

Studien zum Physik- und Chemielernen

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

346

Fabian Sterzing

Zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos in der Physik

Eine Untersuchung in Abhängigkeit
von ihrer fachdidaktischen Qualität
und ihrem Einbettungsformat



λογος

Studien zum Physik- und Chemielernen

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

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

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

Martin Hopf, Hans Niedderer, Mathias Ropohl und Elke Sumfleth

Studien zum Physik- und Chemielernen

Band 346

Fabian Sterzing

Zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos in der Physik

Eine Untersuchung in Abhängigkeit von ihrer
fachdidaktischen Qualität und ihrem Einbettungsformat

Logos Verlag Berlin



Studien zum Physik- und Chemielernen

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

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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



© Copyright Logos Verlag Berlin GmbH 2022

Alle Rechte vorbehalten.

ISBN 978-3-8325-5576-4

ISSN 1614-8967

Logos Verlag Berlin GmbH
Georg-Knorr-Str. 4, Geb. 10
D-12681 Berlin

Tel.: +49 (0)30 / 42 85 10 90

Fax: +49 (0)30 / 42 85 10 92

<https://www.logos-verlag.de>

Zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos in der Physik

Eine Untersuchung in Abhängigkeit von ihrer fachdidaktischen Qualität und
ihrem Einbettungsformat

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat.) an der
Fakultät für Naturwissenschaften an der Universität Paderborn

Vorgelegt von

Fabian Gabriel Sterzing

Abgabe: 14.07.2022

Tag der Disputation: 26.09.2022

Gutachter dieser Arbeit:

Erstgutachter: Prof. a. D. Dr. Peter Reinhold (Universität Paderborn)

Zweitgutachter: Prof. Dr. Christoph Kulgemeyer (Universität Bremen)

Kurzfassung

Erklärvideos stellen für Studierende und Schüler*innen eine immer wichtiger werdende Lerngelegenheit dar. Während der Pandemie haben auf der einen Seite bis zu 60 % der 12- bis 19-Jährigen mit Erklärvideos gelernt und diese häufig genutzt. Auf der anderen Seite stellt die Politik Forderungen an die Digitalisierung in Schule und Universitäten. Digitale Medien sollen demnach hinsichtlich ihrer Qualität ausgewählt und in lernwirksamer Weise in Lehr-Lernprozesse eingebunden werden. Die Literaturlage zum Thema Erklärvideos lässt zum Teil noch offen, welchen Einfluss die Qualität eines Erklärvideos und die Form der Einbettung in Lehr-Lernprozesse auf den Lernzuwachs bei der Nutzung von Erklärvideos haben. Weiterhin ist unklar, welche Personengruppen von Erklärvideos besonders profitieren können.

Ziel der Arbeit „Zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos in der Physik - Eine Untersuchung in Abhängigkeit von ihrer fachdidaktischen Qualität und ihrem Einbettungsformat“ ist es daher, einen theoriebasierten Kategorienkatalog zur Gestaltung möglichst lernwirksamer Erklärvideos auf der Basis der Theorie der Qualität von Erklärungen, der Elementarisierung und den Kriterien zur Gestaltung multimedialer Lernumgebungen zu entwickeln und ihre Lernwirksamkeit empirisch zu prüfen. Für die Studie wurden zwei Erklärvideos aus dem Themenfeld Elektrizitätslehre entwickelt: eines mit einer möglichst hohen Qualität und eines mit einer geringen. Die Qualität der Videos wurde durch Expert*innen validiert. Beide Videos wurden in zwei verschiedenen Lehr-Lernsettings, zeitlich synchron und asynchron zu einer Aufgabe, eingebettet und geprüft, welchen Einfluss die Qualität des Videos und die Einbettungsform haben. Auf Grund der Corona-Pandemie fand die gesamte Erhebung in einem Online-Format mit $N = 146$ Studierenden des ersten und zweiten Semesters des Sachunterrichts statt.

Die Erhebung zeigt über alle Treatmentgruppen große Lernzuwächse im Bereich des Konzept- und deklarativen Handlungswissen. Aus den Ergebnissen folgt, dass die Qualität und auch das Einbettungsformat in dieser Erhebung keinen direkten Einfluss auf den Lernzuwachs haben. Aus der Betrachtung der Nutzungsdaten der Erklärvideos folgt als eine mögliche Erklärung, dass die Studierenden auch in schlechteren Erklärvideos relevante Inhalte identifizieren können. Der nicht signifikante Einfluss des Einbettungsformates kann auf die Idealisierungen durch die Laborbedingungen zurückgeführt werden. Es konnte beobachtet werden, dass besonders im Vorwissen schwache Studierende überproportional von Erklärvideos profitieren. Dieser Effekt ist auch bei klassischen Erklärungen in Unterricht und Hochschullehre zu beobachten. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass das generelle Interesse an und Nutzungsverhalten von Erklärvideos einen positiven Einfluss auf den Lernzuwachs haben.

Abstract

Explanation videos are an increasingly important learning opportunity for students. On the one hand, during the pandemic, up to 60% of 12 – 19-year-olds frequently used explanation videos. On the other hand, politicians are making demands on digitalisation in schools and universities. Accordingly, digital media should be selected for their quality and integrated into teaching and learning processes in a way that is effective for learning. The literature on the topic of explanation videos still leaves open what influence the quality of an explanation video and the format of embedding in teaching-learning processes has on learning gains when using explanation videos. Furthermore, it is unclear which groups of people can particularly benefit from explanation videos.

The aim of the study "Learning-effective explanatory videos in physics education" is therefore to develop a theory-based catalogue of categories for designing explanatory videos that are as effective as possible for learning on the basis of the theory of the quality of explanations, elementarisation and the criteria for designing multimedia learning environments. For the study, two explanatory videos from the subject area of electricity were developed: one with a as high as possible quality and one with a low quality. The quality of the videos was validated by experts. Both videos were embedded in two different teaching-learning settings, synchronously and asynchronously to a task, and tested for the influence of video quality and embedding format on learning outcomes. Due to the Corona pandemic, the entire survey took place in an online format with $N = 146$ students.

Through the survey, large learning gains in the area of conceptual knowledge and declarative action knowledge can be observed across all treatment groups. It follows from the results that the quality and also the embedding format in this survey have no direct influence on the learning gains. Looking at the usage data of the explanation videos an explanation may be that students are able to identify relevant content even in explanation videos of poorer quality. The non-significant influence of the embedding format can be attributed to the idealisations due to the laboratory conditions. It could be that students who are particularly weak in prior knowledge benefit disproportionately high from explanatory videos. This effect is also reported for classical explanations while teaching. Furthermore, it could be shown that general interest and experience in use of explanatory videos have a positive influence on the learning gains.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei all denen bedanken, die mich während meiner Promotionszeit begleitet und unterstützt haben. Besonders unter den Eindrücken der Corona-Pandemie mussten Instrumente, Erhebungen und Auswertungen häufig umgeplant und neu gestaltet werden. Zunächst gilt mein Dank meinem Doktorvater Prof. Dr. Peter Reinhold, der mir während meiner ganzen Promotionsphase mit Rat und Tat zur Seite stand und mir mit vielen Diskussionen über das Thema Erklärvideos, aber auch über die Didaktik der Physik insgesamt weitergeholfen hat. Ein großer Dank gilt auch Prof. Dr. Christoph Kulgemeyer, der mir die Möglichkeiten, Hilfestellungen und Freiheiten gegeben hat, mitten in einer Pandemie-Welle eine Online-Erhebung durchzuführen und meine Ergebnisse aufzuschreiben.

Eine weitere wichtige Stütze während meiner Promotion war die AG Didaktik der Physik der Universität Paderborn. Daher möchte ich mich recht herzlich bei allen aktuellen, aber auch ehemaligen Mitgliedern und studentischen Hilfskräften bedanken. In Diskussionen oder auch bei einem Kaffee habt ihr mir geholfen, mein Projekt stetig weiterzuentwickeln.

Ein besonderer Dank gebührt Prof. Dr. Martin Hopf, der mir sein Testinstrument zur Elektrizitätslehre gerne bereitgestellt hat.

Ein weiterer Dank gilt meinen Studienteilnehmer*innen aus dem Studiengang Sachunterricht. Sie haben sich trotz der Herausforderungen des Starts in ein Studium inmitten der Corona-Pandemie bereit erklärt, an meiner Studie teilzunehmen und die vielen Fragebögen und Aufgabenstellungen gewissenhaft bearbeitet. Ohne diese Bereitschaft wäre es mir nicht möglich gewesen, Daten zu erheben.

Schlussendlich möchte ich mich für die Unterstützung während meiner Promotionszeit durch Camille, meine Familie und meine Freunde bedanken, die mich stets motiviert haben, auch bei Unwegsamkeiten einen Weg durch meine Promotion zu finden, und bei denen ich auch manchmal meinen Frust über mein Projekt abladen durfte oder die meine Dissertation Korrektur gelesen haben.

In einer kurzen Danksagung kann man leider nicht allen Personen, die an diesem Projekt in irgendeiner Weise beteiligt waren, persönlich danken. Deswegen möchte ich mich bei allen entschuldigen, die ich an dieser Stelle vergessen habe. Auch bei Ihnen und Euch möchte ich mich bedanken.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG UND AUSGANGSLAGE	1
1.1	Bildungspolitische Forderungen an die Digitalisierung	1
1.2	Aktualität des Mediums Erklärvideo	3
1.3	Grundzüge der Argumentation dieser Arbeit	5
2	LEHREN UND LERNEN MIT ERKLÄRVIDEOS	7
2.1	Einordnung des Medium Erklärvideo	7
2.2	Qualität von Erklärvideos	12
2.3	Einbettung von Erklärvideos in Lehr-Lernumgebungen	31
3	EMPIRISCHE BEFUNDE ZUR WIRKUNG UND ZUM EINSATZ VON ERKLÄRVIDEOS	43
3.1	Forschung an Erklärvideos	43
3.2	Forschung zur Einbettung von Erklärvideos in Lehr-Lerndesigns	48
3.3	Forderungen an zukünftige Forschung	53
4	FORSCHUNGSFRAGEN	57
5	DESIGN	59
5.1	Studiendesign und Variablen	59
5.2	Auswahl des Themas der Erhebung	60
5.3	Auswahl der Stichprobe unter Corona-Bedingungen	62
5.4	Ablauf der Studie unter Corona-Bedingungen	63
6	INSTRUMENTE	67
6.1	Entwicklung der Instrumente	67
6.2	Studien zur Validierung der Instrumente	93
6.3	Methodik der Auswertung	104
6.4	Zwischenzusammenfassung	105
7	DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE	106
7.1	Beschreibung der Stichprobe	106
7.2	Reliabilität der Testinstrumente	108
7.3	Vergleich des Vorwissens	109
7.4	Gesamtbetrachtung der Ergebnisse der Wissenstests	109
7.5	Lernzuwachs in Abhängigkeit von der Videoqualität	111
7.6	Lernzuwachs in Abhängigkeit vom Einbettungsformat	113
7.7	Lernzuwächse in Abhängigkeit von den Treatmentgruppen	114
7.8	Extremgruppenvergleiche	114
7.9	Einfluss des Interesses und Nutzungsverhaltens	119
7.10	Regressionsmodell zum Lernzuwachs	123

7.11	Analyse des Nutzungsverhaltens	126
8	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	153
8.1	Gesamtergebnisse der Erhebung	153
8.2	Diskussion der Ergebnisse zu den einzelnen Forschungsfragen	153
8.3	Diskussion des Nutzungsverhaltens	158
8.4	Diskussion des Einflusses der Durchführung der Studie als Online-Erhebung	160
8.5	Grenzen der Arbeit	162
9	FAZIT UND AUSBLICK	165
10	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	169
11	TABELLENVERZEICHNIS	173
12	LITERATURVERZEICHNIS	175
13	ANHANGVERZEICHNIS	187

1 Einleitung und Ausgangslage

Erste Studien und Forderungen zur Digitalisierung beim Lehren und Lernen in der Physik wurden bereits Ende des 20. Jh. und zu Beginn des 21. Jh. verfasst (u. a. Huckle, 2000; Brell, 2008; Maier-Richter, 2005). Hierbei ging es besonders um die Nutzung von Computern und verschiedener Software im Unterricht. Durch eine immer weitere Verbreitung des Internets und verschiedenen Medienplattformen, wie z. B. YouTube ist das Thema Digitalisierung für die verschiedenen Bildungsbereiche Schule, Hochschule und Weiterbildung noch relevanter geworden. Im Jahr 2013 zeigte die Studie *International Computer and Information Literacy Studies* (Fraillon, Schulz & Ainley, 2013), dass deutsche Schüler*innen sowie Lehrer*innen eine unter OECD Durchschnitt befindliche *Digitalkompetenz* besitzen (Scheiter & Gogolin, 2021). *Digitalkompetenz* ist im Rahmen der Studie die Fähigkeit, Informationen zu sammeln, zu generieren, zu kommunizieren und digitale Hilfsmittel sicher zu nutzen (Bos et al., 2014). Diese mangelnde *Digitalkompetenz* zeigt sich ebenfalls in der PISA-Studie 2015. Hierbei wurden die Kompetenzbereiche: *Lesekompetenz* und *mathematisch naturwissenschaftliche Kompetenz* erstmals digital erfasst. In Folge der digitalen Erfassung dieser Kompetenzbereiche sanken die deutschen Schüler*innen im OECD-Vergleich auf ein unterdurchschnittliches Niveau (Scheiter & Gogolin, 2021).

1.1 Bildungspolitische Forderungen an die Digitalisierung

Angeichts dieser Ergebnisse und der weiter fortschreitenden Digitalisierung von Lehr- und Lernangeboten für Schüler*innen und Studierende hat die Kultusministerkonferenz Ende 2016 die „Strategie für die Bildung in der digitalen Welt“ (Sekretariat der Kultusministerkonferenz, 2016) verfasst. Damit will die Kultusministerkonferenz Rahmenbedingungen für den Einsatz digitaler Medien in Schule, Hochschule und Weiterbildung schaffen. Auf der einen Seite werden Kompetenzen formuliert, die erreicht werden sollen, und auf der anderen Seite werden Anforderungen an die Gestaltung digitaler Lehr- und Lernformate gestellt. Eine aus der empirischen Bildungsforschung stammende Erkenntnis ist, dass die Nutzung von Elementen der Digitalisierung aus sich heraus nicht lernwirksam ist (Herzig, 2014). Eine Forderung der Kultusministerkonferenz lautet daher, „[...] dass digitale Technologien und Didaktik miteinander verknüpft werden.“ (Sekretariat der Kultusministerkonferenz, 2016, S. 43). Es ist somit notwendig, eine didaktische Rahmung für digitale Lernumgebungen zu schaffen, die einen lernwirksamen Einsatz in Unterricht und Lehre gewährleisten kann. Ideen und Konzepte der Digitalisierung müssen so eingesetzt werden, dass sie sich auf die Bedürfnisse der Lernenden beziehen. Um dies zu erreichen, ist auch eine Weiterbildung der Lehrenden notwendig. Zukünftigen Lehrer*innen muss klar sein, welche Aspekte für eine hohe Qualität des Einsatzes digitaler Werkzeuge, z. B. von Erklärvideos, sprechen und wie Aspekte der Digitalisierung im Unterricht einzubinden sind (Sekre-

tariat der Kultusministerkonferenz, 2018). Um auch aufseiten der Lehrenden die Fähigkeit zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht zu schulen, wird daher eine feste Verankerung digitaler Kompetenzen in den Curricula der Lehramtsausbildung angestrebt (Sekretariat der Kultusministerkonferenz, 2019).

Es zeigte sich jedoch noch im Jahr 2018, dass die digitalen Kompetenzen von Lehrkräften und Schüler*innen unter dem OECD Durchschnitt liegen und Schüler*innen weiterhin Probleme haben, während des PISA Tests Aufgaben digital zu bearbeiten (Scheiter & Gogolin, 2021).

Der Umgang mit der Corona-Pandemie offenbarte erneut die Dringlichkeit des Themas Digitalisierung im Bildungssektor. Hierbei zeigte sich, dass neben einer mangelnden Ausstattung von Hochschulen und Schulen nach wie vor auch Konzepte zum Gelingen digitalen Unterrichts und digitaler Lehre fehlen. Besonders offenbarte sich dies darin, dass Schüler*innen wie auch Studierende aus sozialschwachen Schichten größere Probleme hatten, digitalen Formaten zu folgen als solche aus anderen (Ständige wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz [SWK], 2021). Insgesamt konnte während der Pandemie, besonders zu Beginn, ein Verlust an Unterrichts- und hochschulischer Lehrqualität festgestellt werden (SWK, 2021).

Im Lichte der Corona-Pandemie wurde das Strategiepapier „Bildung in der Digitalen Welt“ im Jahr 2021 durch die ständige wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz erneut bewertet. Die Autoren stellen dabei in einer Bestandsaufnahme fest:

*Im Vergleich zu anderen Ländern wies das deutsche Bildungssystem vor Ausbruch der Corona-Pandemie in der Nutzung digitaler Technologien im Bildungsbereich sowie in den digitalisierungsbezogenen Kompetenzen der Schüler*innen einen erheblichen Rückstand auf (SWK, 2021, S. 4).*

Die Bewertung der Strategie „Bildung in der digitalen Welt“ zeigt in Bezug auf die Corona-Pandemie weitere Defizite des Bildungssystems auf. Zwar haben im Vergleich zu der ersten Schulschließung im Frühjahr 2020 bei der zweiten Schulschließung Ende 2020 erhebliche Verbesserungen in der Ausstattung für digitalen Unterricht stattgefunden, dennoch zeigen sich weiterhin Probleme in Lehre und Aufgabenverteilung, die sich insbesondere auf leistungsschwächere Schüler*innen auswirken (SWK, 2021). Betont wird dabei, dass digitale Werkzeuge das fachliche Lernen und den Fachunterricht unterstützen sollen und keinen Selbstzweck darstellen. Durch eine solche Unterstützung könnten alle Lernenden von digitalen Instrumenten profitieren, indem eine weitere Individualisierung von qualitativ hochwertigen Lernangeboten stattfindet (SWK, 2021). Diese Überlegungen betonen, dass die eingesetzten digitalen Medien Qualitätskriterien entsprechen müssen (SWK, 2021). Dies ist vor allem durch die Besonderheit des Internets relevant. Die Grenze zwischen Konsumenten und Produzenten verschwimmt je nach Situation. Z. B. kann ein Konsument von Erklärvideos auch damit beginnen, Erklärvideos zu produzieren. Diese Demokratisierung von Informatio-

nen bedeutet aber auch, dass im Gegensatz zu z. B. Schulbüchern keine Qualitätssicherung stattfindet (Rummler & Wolf, 2012; Wolf, 2015b). Daraus resultiert, dass Lehrende die Fähigkeit entwickeln müssen, qualitativ hochwertige Angebote herauszufiltern und diese in der Lehre zu nutzen. Im Rahmen des Selbstlernens müssen jedoch auch Schüler*innen und Studierende in diesen Kompetenzen geschult werden, für sich zur Vor- und Nachbereitung des Unterrichts fachlich korrekte und didaktisch hochwertige Angebote auswählen zu können (SWK, 2021). Weiterhin zeigt sich, dass digitale Medien, insbesondere auch Erklärvideos, nur für hierarchisch niedrige Lernziele genutzt werden, wie z. B. zum Wiederholen oder Üben. Dabei kann sich das volle Potenzial digitaler Medien nicht entfalten. Es besteht also weiterhin ein Nachholbedarf darin, qualitativ hochwertige digitale Medien und Lernmethoden zu erkennen, geeignet auszuwählen, mit diesen auch höherwertige Lernziele zu verfolgen und sie gewinnbringend in Unterricht und Lehre einzusetzen (SWK, 2021).

Um diesen Problemen entgegenzuwirken, bedarf es geeigneter Strategien zur Implementierung digitaler Medien in Unterricht und Hochschullehre, im Rahmen der Lehrerbildung soll z. B. verpflichtend in allen Phasen der Ausbildung das Thema Digitalisierung und Einsatz digitaler Werkzeuge eingeführt werden (SWK, 2021). Dabei sollen nicht nur Strategien der Implementierung, sondern auch Qualitätskriterien kennengelernt werden.

Ein beliebtes und weit verbreitetes digitales Werkzeug zum Lehren und Lernen sind in diesem Zusammenhang Erklärvideos. Betrachtet man allerdings die Angebote auf YouTube oder von anderen öffentlich zugänglichen Plattformen, so ist die Qualität der dort verfügbaren Erklärvideos sehr heterogen (Kulgemeyer & Wolf, 2016). Bevor die Qualität von Erklärvideos genauer diskutiert wird, soll im Folgenden zunächst die Aktualität dieses Mediums betrachtet werden.

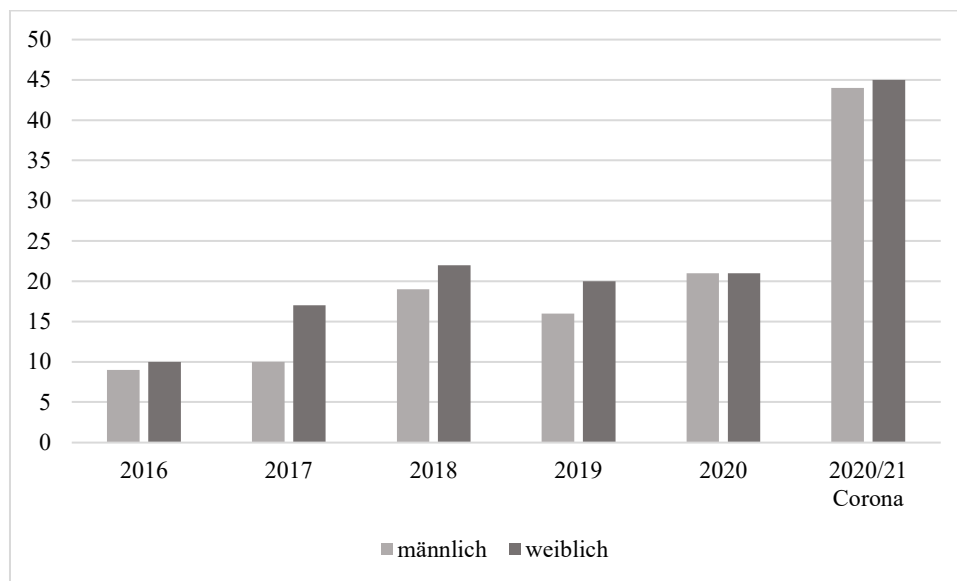
1.2 Aktualität des Mediums Erklärvideo

Erklärvideos werden für Schüler*innen und Studierende zu einem immer wichtigeren Medium. Diese Videos werden nicht mehr nur als Tutorials für Spiele, Make-up und ähnliches verwendet, sondern auch alltäglich als Lerngelegenheit genutzt. Betrachtet man die Google-Trends, so wird deutlich, dass die Covid-19-Pandemie die Relevanz von Erklärvideos noch verstärkt hat.¹ So ist der Begriff *Erklärvideo* in den Jahren 2020 und 2021 einer der meistgegoogelten Begriffe in Deutschland. Besonders hoch war die Relevanz des Ausdrucks *Erklärvideo* im Januar 2021, also einem der Hochpunkte der Corona-Krise als es zu flächendeckenden Schulschließungen kam. Die langfristige Relevanz von Erklärvideos verdeutlichen groß angelegte Befragungen von Jugendlichen. Der medienpädagogische Forschungsverbund Südwest führt jährlich eine reprä-

¹ Vgl: <https://trends.google.de/trends/explore?q=Erkl%C3%A4rvideo&geo=DE>, zuletzt geprüft am 20.02.2022

sentative Umfrage zur Mediennutzung von Kindern und Jugendlichen (12 – 19 Jahre, $N = 1200$) durch (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest; Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2016; Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2017; Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2018; Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2020b). In Tabelle 1 ist die Entwicklung der Angabe von Schüler*innen, regelmäßig Erklärvideos zu nutzen, aufgetragen. Angegeben ist der Prozentsatz der Befragten, die regelmäßig Erklärvideos für die Schule nutzen:

Tabelle 1 Prozent der Befragten, die Angaben Erklärvideos für die Schule zu nutzen im zeitlichen Verlauf (Jm 2016 – 2021).



Im Jahr 2016 haben ca. 10 % der befragten Schüler*innen Erklärvideos genutzt, während es im Jahr 2020 bereits 21 % sind (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2020b). In einem kurzen Zeitraum hat sich also die Nutzung von Erklärvideos verdoppelt. Ähnliche Beobachtungen konnten in anderen Befragungen gemacht werden, in denen bis zu 65 % der Schüler*innen angeben, Erklärvideos zu nutzen (Jebe, Konietzko, Lichtschlag & Liebau, 2019). Durch die Corona-Pandemie hat sich diese Entwicklung noch einmal beschleunigt. Während des flächendeckenden Distanzunterrichts nutzten ca. 45 % der Kinder und Jugendlichen Erklärvideos als schulische Unterstützung (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2020a). Somit sind Erklärvideos in der Corona-Pandemie zu einem der wichtigsten Bildungsmedien geworden. Um die Relevanz von Erklärvideos im deutschsprachigen Raum weiter zu verdeutlichen, kann man auf die beliebtesten YouTube Kanäle Deutschlands blicken: Auf Platz eins der beliebtesten Kanäle steht *Kurzgesagt – in a Nutshell*². Dieser Kanal behandelt einerseits populärwissenschaftliche Fragestellungen und andererseits für Schule und Universität relevante Themen wie „Kernenergie: Wie funktioniert sie?“, oder „Der Golfstrom erklärt“. Auch international sind Erklärvideos eine beliebte Me-

² Vgl: <https://www.youtube.com/channel/UCsXVvk37bltHxD1rDPwtNM8Q>, zuletzt geprüft am 06.07.2022

dienform. Die auf englischer Sprache erstellten Videos der *Khan Academy* haben regelmäßig mehr als eine Millionen Views³. YouTube Kanalbetreiber selbst interessieren sich für die Nutzung ihrer Erklärvideos. Eine Analyse eines englischsprachigen Kanals durch den Betreiber hat folgende Ergebnisse geliefert:

Die *Views per Day* variieren periodisch (Saurabh & Gautam, 2019). Im Frühjahr und im Herbst steigen die *Views* jeweils extrem. Dies korreliert mit den üblichen Prüfungszeiten an Schulen und besonders Universitäten. Es kann somit vermutet werden, dass in dieser Zeit eine große Anzahl der *Views* durch Klausurvorbereitungen erzeugt wird. Dies kann durch die hohe Verbreitung von Smartphones - über 90 % der Schüler*innen und Studierenden verfügen über ein solches (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2020b) - und das niedrigschwellige Angebot über *YouTube* erklärt werden. Der Zugriff auf die Videos findet zu 91 % direkt über die YouTube-Seite statt. (Saurabh & Gautam, 2019) Dies verdeutlicht die aktuelle Monopolstellung der Videoplattform *YouTube*, während 2012 noch verschiedene Konkurrenten, z. B. *MyVideo*, ähnlich beliebt waren (Rummler & Wolf, 2012).

Auch unter Studierenden sind Erklärvideos beliebt, das zeigt die Studie „Lernen mit digitalen Medien aus Studierendenperspektive“ (Persike & Friedrich, 2016). Im Jahr 2016 wurde die Nutzung digitaler Medien deutscher Studierender erfasst (Persike & Friedrich, 2016). Dazu wurden 27.473 Studierende aus elf Studiengängen befragt. In der Studie gaben 72 % der Studierenden an, *Videos* für die Universität zu nutzen (Persike & Friedrich, 2016). Eine Auswertung mittels Clusteranalyse ergab unter den Studierenden vier Lerntypen: PDF-Nutzende, E-Prüflinge, Videolernende und digitale Allrounder. In der Gruppe der Videolernenden ist das Medium *Erklärvideo* das beliebteste vor *Podcasts* und (Web Based) *Tutorials* (Persike & Friedrich, 2016). Eine weitere Aufschlüsselung nach Studiengang, -ort und Geschlecht war trotz vieler Studienteilnehmer*innen aufgrund der geringen Besetzungen bestimmter Kombinationen nicht möglich. Einschränkend ist auch hervorzuheben, dass es sich um eine rein freiwillige Umfrage im Rahmen des CHE-Hochschulrankings handelt (Persike & Friedrich, 2016). Es liegt also keine repräsentative Stichprobe für alle Studierenden in Deutschland vor. Trotz möglicher Verzerrungen im Ergebnis deuten die Daten darauf hin, dass auch im Bildungsbereich Universität Erklärvideos eine hohe Relevanz haben.

1.3 Grundzüge der Argumentation dieser Arbeit

Aufgrund der institutionellen Vorgaben und der empirischen Befunde zur Verbreitung von Erklärvideos sind Erklärvideos ein beliebtes Lernangebot. Durch ihre große Beliebtheit kann ihnen eine gewisse Lernwirksamkeit unterstellt werden. Es kann angenommen werden, dass diese Lernwirksamkeit von zwei Aspekten abhängt: der fach-

³ Vgl.: <https://www.youtube.com/user/khanacademy>, zuletzt geprüft am 02.07.2022

didaktischen Qualität des Erklärvideos selbst und der Art wie es im Lehr-Lernprozess eingebunden wird. Um diese Annahme genauer zu untersuchen, ergibt sich als Herausforderung zunächst festzulegen, was Qualität in diesem Zusammenhang meint, und wie Erklärvideos lernwirksam in den Unterricht eingebunden werden können. Aus diesem Grund wird in einem ersten Schritt ein Modell für die fachdidaktische Qualität eines Erklärvideos entwickelt und die Lernwirksamkeit von Erklärvideos theoretisch begründet. Hierzu unterscheidet das Modell zwischen einer fachinhaltlich erklärenden Komponente und der multimedialen Gestaltung des Erklärvideos. In einem zweiten Schritt werden Formate einer lernwirksamen Einbindung von Erklärvideos in den Lernprozess diskutiert. Hierbei werden verschiedene Nutzungsmöglichkeiten aufgezeigt und deren theoretische Begründungen untersucht. Im Anschluss werden die bisher vorliegenden empirischen Befunde unter dieser Betrachtung zusammengefasst, eingeordnet und inhaltliche wie methodische Desiderate aufgezeigt. Vor dem Hintergrund der theoretischen Überlegungen und Entwicklungen werden hieraus die Forschungsfragen, Hypothesen und das Studiendesign dieser Arbeit entwickelt. Anschließend wird die Entwicklung geeigneter Untersuchungsinstrumente aufgezeigt. Zentral ist in diesem Zusammenhang insbesondere die Entwicklung der eingesetzten Erklärvideos. Dazu werden verschiedene Validierungsschritte vorgestellt. Die Daten werden in einer Kohorte von Studierenden des Sachunterrichts des ersten und zweitens Semesters erhoben. Die Ergebnisse der Studie werden zunächst deskriptiv berichtet und nachfolgend unter Rückbezug auf die Forschungsfragen und Hypothesen ausgewertet. Den Abschluss dieser Arbeit bildet eine Reflexion des Forschungsprozesses, der Einfluss der Corona-Pandemie auf diese Studie und die Darlegung offengebliebener Fragen sowie die Beschreibung von möglichen Anschlussprojekten.

Um die Merkmale einer hohen Qualität von Erklärvideos genauer beschreiben zu können, und wie mit diesen Videos gelernt werden kann, wird in einem ersten Schritt das Medium *Erklärvideo* spezifiziert.

2 Lehren und Lernen mit Erklärvideos

Bevor typische Merkmale dargestellt und eine Einordnung des Mediums Erklärvideo gegeben wird, wird zunächst die Begrifflichkeit *Erklärvideo* festgelegt. In den meisten Kontexten werden die Begriffe *Erklärvideo* (Anders, 2019; Wolf, 2015a, 2015b; Zander, Behrens & Mehlhorn, 2020) und *Lernvideo* (Frei, Asen-Molz, Hilbert, Schilcher & Krauss, 2020; Schön & Ebner, 2013) synonym verwendet. Dabei ergibt sich das Problem, dass mit den verschiedenen Bezeichnungen u. U. auch verschiedene Wirkungen unterstellt werden. Die Nutzung des Begriffs *Lernvideo* impliziert, dass allein durch die Betrachtung eines Videos ein Lernprozess stattfindet. Der Begriff *Erklärvideo* konzentriert sich mehr auf den Inhalt des Videos, auf die Erklärung. Im Rahmen dieser Dissertation soll der Begriff *Erklärvideo* genutzt werden, da das Lernen mit Videos ein komplexer Vorgang ist, der nicht allein durch die einzelne Betrachtung eines Videos ausgelöst werden kann. Durch den Produzenten des Erklärvideos wird vielmehr nur ein möglicher Erklärungsansatz für ein Phänomen oder eine Handlung angeboten.

2.1 Einordnung des Medium Erklärvideo

Erklärungen im Videoformat werden schon lange im Unterricht verwendet. Diese Erklärungen waren meistens längere Videos, in denen ein bestimmtes Phänomen oder eine Handlung erklärt wird. Dabei waren diese *Lehrfilme* professionell produziert. Der Einsatz von Videos im Unterricht ist also keine neuere Entwicklung (Wolf, 2015b).

Der Unterschied zwischen Erklärvideos und Lehrfilmen liegt in den Ansätzen der Erstellung: Erklärvideos werden von einer heterogenen Autorenschaft entwickelt. Es sind sowohl professionelle als auch von Amateuren erstellte Erklärvideos (Rummler & Wolf, 2012; Wolf, 2015a, 2015b). Gemeinsam haben Erklärvideos und Lehrfilme, dass sie ein komplexes Phänomen erklären oder eine Handlung beschreiben. Erklärvideos sind dabei jedoch knapp verfasst. Die typische Länge beträgt fünf bis zehn Minuten, kann jedoch auch kürzer ausfallen. Eine grafische Einordnung des Mediums *Erklärvideo* zwischen *Lehrfilmen*, *Dokumentationen* und *Performanzvideos* kann nach Wolf (2015b) gegeben werden (Abbildung 1):

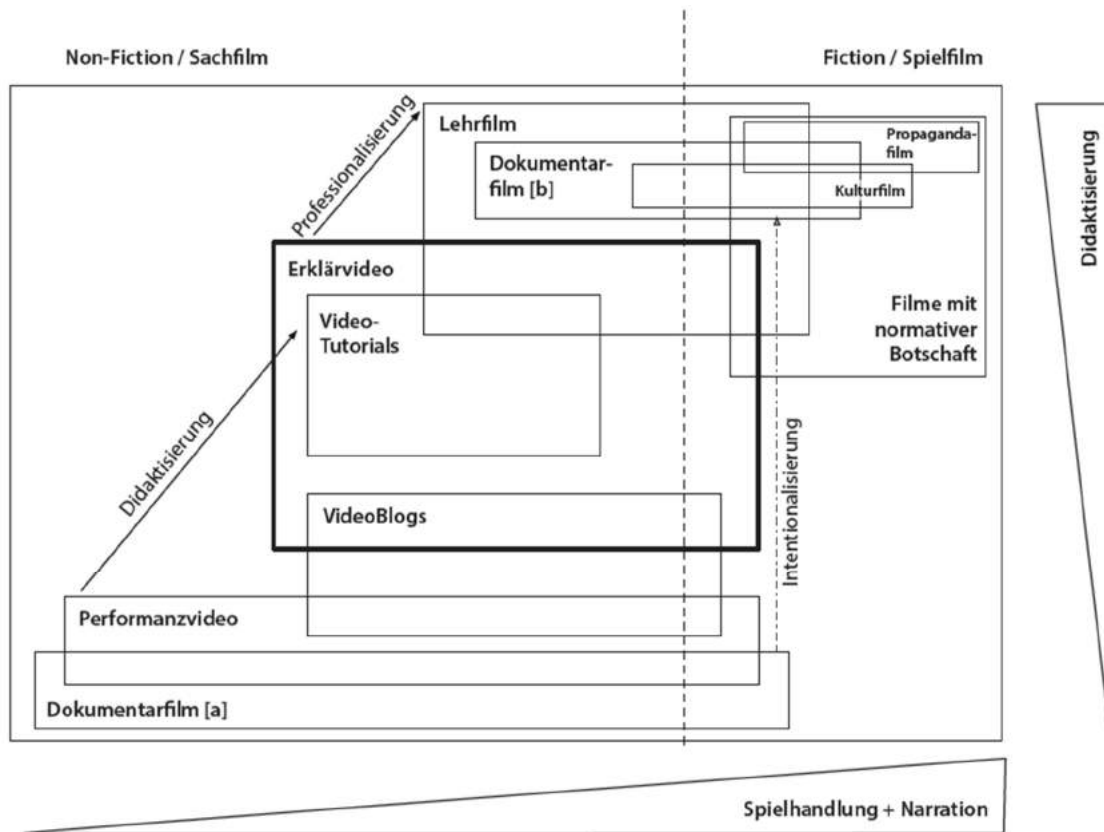


Abbildung 1 Systematik von Lehr-Lernvideos nach Wolf (2015b, S. 132)

In dieser Abbildung nach Wolf (2015b) ist auf der x-Achse der Anteil an Spielhandlung bzw. Narration und auf der y-Achse der Anteil der Didaktisierung der Medien aufgetragen. Anhand dieser Aufteilung lassen sich verschiedene Medienformen mit einem Bildungsziel einordnen. *Dokumentarfilme* zeigen ge- oder erfundene Handlungen mit einer geringen Didaktisierung. Der Ablauf der gezeigten Handlung kann durch das Ziel, dass diese Dokumentation erreichen will, verändert werden oder es können auch Teile ausgelassen werden. Durch eine Intentionalisierung, also das Vorhandensein eines bestimmten Ziels der Dokumentation, nimmt der Grad der Didaktisierung zu (Wolf, 2015b).

Durch eine massive Verbreitung von Geräten zur Videoaufzeichnung ist das Genre des *Performanzvideos* entstanden: Hier wird eine bestimmte Handlung ohne Intention des Nachmachens gezeigt. Dies können Aufnahmen von Handlungen sein, bei denen nicht erklärt wird, wie sie genau durchgeführt werden. Ein Beispiel ist die Präsentation von sportlichen Handlungen. *Erklärvideos* sind dagegen „eigenproduzierte Filme, in denen erläutert wird, wie man etwas macht oder wie etwas funktioniert bzw. in denen abstrakte Konzepte erklärt werden“ (Wolf, 2015b, S. 123). Das heißt, Erklärvideos können sowohl theoretische Konzepte erläutern als auch zu Handlungen anleiten. Ein performanzbezogenes Subgenre von Erklärvideos sind *Video-Tutorials*. Hier liegt der Fokus besonders auf der Erklärung einer Handlung, die so dargestellt wird, dass sie nachahmbar ist. Eine Kombination von Performanzvideos und Erklärvideos stellen

Videoblogs dar. Hierbei filmen die Protagonisten ihren Tagesablauf, dabei kann es vorkommen, dass bestimmte Handlungen erklärt werden. Gemeinsam ist den verschiedenen Videoarten Performanzvideo, Erklärvideo und Videoblog, dass sie von einer meist nicht professionellen Autorenschaft erstellt werden. Typisch ist dabei ein experimenteller Charakter des Erklärvideos, dadurch dass neue Möglichkeiten der Erklärung und Darstellungsform genutzt werden. Werden Methoden und Inhalte von Erklärvideos aufgegriffen und durch professionelle Studios genutzt, entwickeln sich daraus Lehrfilme.

Wolf (2015a) leitet aus diesen Überlegungen vier relevante Merkmale von Erklärvideos ab: Erklärvideos beschäftigen sich mit einer großen *thematischen Vielfalt* (Wolf, 2015a). Während professionelle Lehrfilmproduzenten sich auf bestimmte, z. B. für den Schulunterricht besonders relevante Themen fokussieren, gibt es bei Erklärvideos eine große Bandbreite an Themen, die behandelt werden. Daraus ergibt sich eine *gestalterische Vielfalt* (Wolf, 2015a). Erklärvideos werden von einer *diversen Autorenschaft* erstellt, die unterschiedliche Rahmen an Budget, Medienkompetenz und Inhaltskompetenz besitzen. Daraus resultieren verschiedene Möglichkeiten der Gestaltung. Auf diese Gestaltungsmöglichkeiten von Erklärvideos wird in Kapitel 2.1.1 genauer eingegangen. Allen Gestaltungsformen gemein ist jedoch ein stets *informeller Kommunikationsstil* (Wolf, 2015a). Dies ist für die Internetkultur üblich. Im Gegensatz zur personellen Kommunikation ist es in sozialen Medien üblich, jede Person zu duzen (Bernauer, 2019). In Erklärvideos wird häufig versucht, eine flache Hierarchie zu erzeugen. Dabei stellt sich der Erklärende auf eine Stufe mit den Adressat*innen. Dadurch soll eine möglichst offene Atmosphäre mit einer positiven Fehlerkultur entstehen (Wolf, 2015a). Beispiele für diesen Kommunikationsstil sind die YouTube Erklärvideokanäle „Kurz gesagt – In a Nutshell“ oder auch die Videos des „Simple Clubs“.

2.1.1 Arten von Erklärvideos

Im Folgenden soll ein Einblick in die verschiedenen Gestaltungsmöglichkeiten von Erklärvideos gegeben werden. Dabei werden die Charakteristika verschiedener Stile und auch deren Vor- und Nachteilen aufgeführt.

Eine der gestalterisch einfacheren Varianten ist die *Aufzeichnung eines Vortrags mittels (Web-)Cam*. Dabei sitzt der Erklärende allein vor dem PC oder einer Kamera und trägt den zu erklärenden Inhalt vor (Zander et al., 2020). Bei dieser Variante des Erklärvideos ist es möglich, ortsunabhängig ein Erklärvideo aufzuzeichnen. Optional kann eine Präsentation eingeblendet werden (Schön & Ebner, 2013). Diese Art des Erklärvideos ist besonders bei Onlinekursen an Hochschulen oder in *MOOCs* (Massive Online Open Source Course) beliebt (Laaser & Toloza, 2017). Eine dazu ähnliche Form des Erklärvideos ist die Aufzeichnung eines Vortrags. Dabei ist die Produktion

eines Erklärvideos nur nebensächliches Ziel. Auf diese Weise kann ein Rezipient*in an Vorträgen teilnehmen, die er verpasst hat (Schön & Ebner, 2013; Zander et al., 2020). Allerdings ergibt sich durch die Nebensächlichkeit des Ziels, ein Erklärvideo zu produzieren, auch der größte Nachteil dieser Form: Der Vortrag wird nur einmal gehalten und eine Nachbearbeitung ist nicht üblich. Etwaige Fehler oder Versprecher des Vortragenden können nicht korrigiert werden und es entsteht möglicherweise ein Erklärvideo mit fachlichen Fehlern (Zander et al., 2020).

Eine aufwendigere Variante ist die Produktion von *Schiebe- und Legetechnik Videos* (Anders, 2019). Dabei werden vorher ausgeschnittene Formen, Figuren oder andere Objekte von einer Person auf eine Oberfläche gelegt oder verschoben (Schön & Ebner, 2013). Dabei werden meist die Hände der Person gezeigt. Damit können einerseits Prozesse gezeigt werden, indem man den Händen der Person oder den Gegenständen folgt (Anders, 2019). Andererseits können statische Bilder gezeigt werden. Zur Betonung bestimmter Situation können auch hier wieder die Hände eingesetzt werden. In der Planung eines solchen Videos sollte darauf geachtet werden, dass sich statische und dynamische Passagen abwechseln, um sowohl genügend Spannung aufzubauen, als auch dass genügend Zeit zum Reflektieren von Handlungen verbleibt (Zander et al., 2020). Durch die einfache Art der Produktion und Darstellung können besonders gut einfache Themeninhalte oder z. B. experimentelle Anordnungen gezeigt werden. Abbildung 2, in der es um den Aufbau eines Stromkreises geht, ist ein Beispiel für diesen Aspekt.

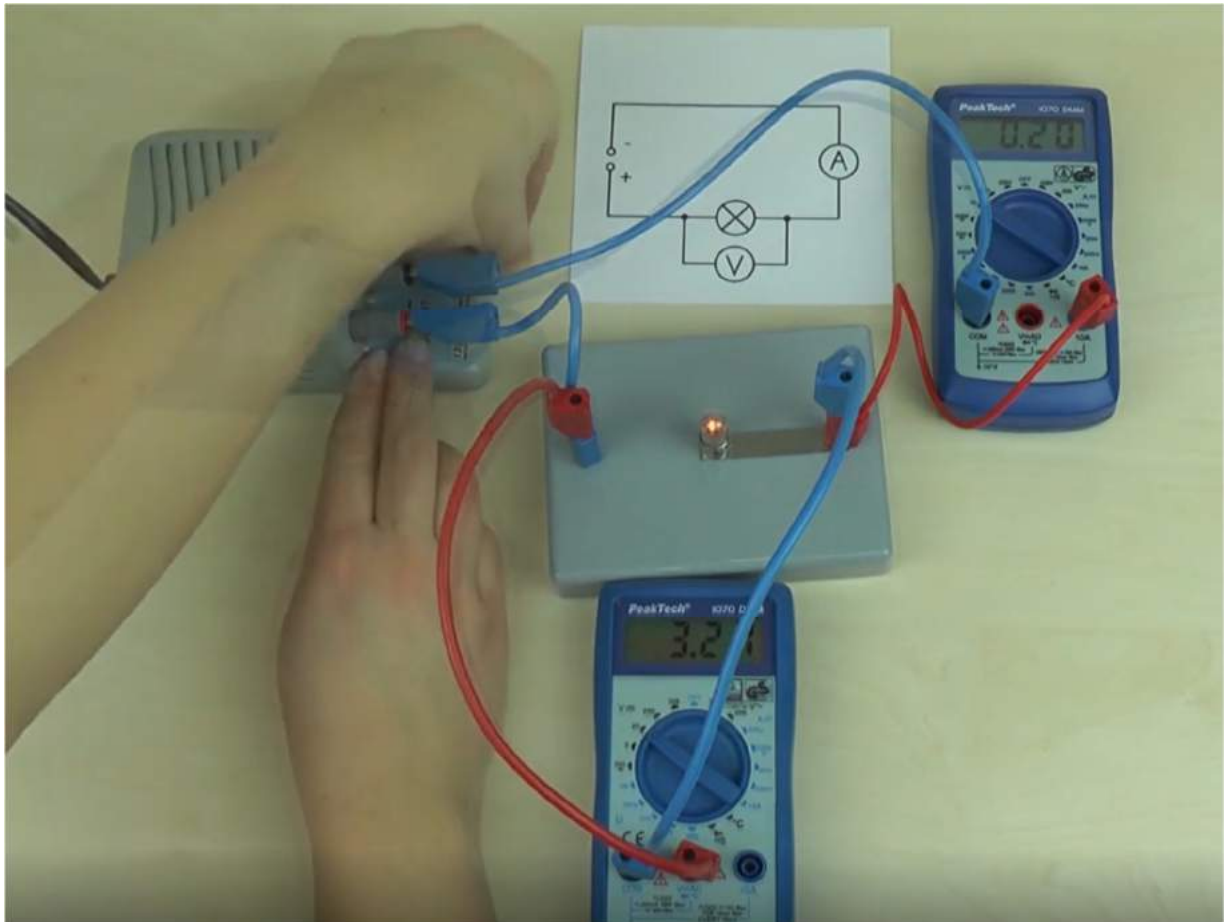


Abbildung 2 Beispielbild eines Experiments aus der Egoperspektive

Ähnlich den Legetechniken ist die *Aufzeichnung von Whiteboards*, die digital oder analog erfolgen kann (Anders, 2019). Gezeigt wird die Entwicklung des zu erklärenden Inhalts. Der Vorteil dieser Variante des Erklärvideos liegt darin, dass die Rezipient*innen direkt in die Denk- und Entwicklungsprozesse des Vortragenden mit eingebunden werden können. Der Nachteil an dieser Methode ist, dass wenig bis keine dynamischen Darstellungen genutzt werden können (Zander et al., 2020).

Die aufwendigste Form der Erklärvideoproduktion ist die Nutzung von *Animationen*. Diese Animationen können z. B. comicartige Erklärungen, mikroskopische Darstellungen oder einfache Grafiken beinhalten. Die Möglichkeiten der Darstellung durch Animationen ist nur durch den ihr zu Grunde liegenden Aufwand begrenzt (Zander et al., 2020). Durch Animationen können sowohl einfache als auch komplexe Inhalte dynamisch dargestellt werden. Sie eignen sich, sofern genügend Ressourcen vorhanden sind, für fast jedes Thema. Weniger aufwendig sind sogenannte Flat Motion Technologien (Anders, 2019), bei denen mit einfacher Software aus vorgefertigten Animationsbaukästen Filme zusammengestellt werden.

Einen Überblick über mögliche Gestaltungsformen von Erklärvideos, sortiert nach Komplexität und Aufwand sowie Vor- und Nachteilen, gibt Abbildung 3:



Abbildung 3 Systematik der Arten von Erklärvideos

Je nach Ziel und Zielgruppe des Erklärvideos ist es häufig sinnvoll verschiedene Techniken miteinander zu verbinden und Mischformen zu erzeugen. So können Legetechniken durch Aufzeichnung eines Einstiegsvortrags anmoderiert werden oder Animationen durch Realaufnahmen motiviert werden (Anders, 2019). Hierbei folgen dann zur Erklärung von Realaufnahmen (vereinfachte) Animationen.

2.2 Qualität von Erklärvideos

Im Rahmen des Projektes soll die Lernwirksamkeit von Erklärvideos untersucht werden. Dazu müssen kriteriengeleitet Erklärvideos erstellt werden, die eine bestimmte didaktische Qualität besitzen. Um einen Kriterienkatalog für die Erstellung dieser Videos zu entwickeln, wird im Folgenden zwischen der Qualität der Erklärung, der Elementarisierung des Inhalts und der multimedialen Gestaltung des Videos unterschieden. Zur Bestimmung der Erklärqualität wird der kommunikationstheoretische Ansatz von Kulgemeyer und Schecker (2013) zum Erklärprozess aufgegriffen. Der Aspekt der Elementarisierung fokussiert auf den zu erklärenden Gegenstand aus einer fachinhaltlichen und unterrichtlichen Perspektive (Bleichroth et al., 1999; Reinhold, 2010). Was die multimediale Gestaltung des Videos betrifft, so wurde die Theorie des multimedialen Lernens herangezogen (Mayer, 2009). Im Folgenden werden diese Perspektiven dargestellt und konkret auf die Entwicklung eines Erklärvideos bezogen. Die Überlegungen münden in ein Modell zur Gestaltung lernwirksamer Erklärvideos.

2.2.1 Qualität einer Erklärung

Zur Entwicklung von Qualitätskriterien, die theoretisch begründet eine hohe Lernwirksamkeit einer Erklärung in einem Erklärvideo erwarten lassen, soll zunächst auf die Eigenschaften einer Erklärung an sich eingegangen werden. Erklärungen sind einer der Hauptbestandteile eines Erklärvideos und können mit darüber entscheiden, was und wie mit einem Video gelernt werden kann. Um die Qualität einer Erklärung genauer zu beschreiben, wird in einem ersten Schritt, aufbauend auf Kulgemeyer und Schecker

(2013), der Erklärprozess dargestellt. Daran anschließend werden die von Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015) entwickelten Kriterien für eine gelungene Erklärung, besonders in den Naturwissenschaften, aufgegriffen.

Kulgemeyer unterscheidet zwischen verschiedenen Arten von Erklärungen: Eine wissenschaftliche Erklärung bedarf anderer Merkmale als eine unterrichtliche, vermittelnde Erklärung. Wissenschaftliche Erklärungen können so verstanden werden, dass ein bestimmtes Phänomen auf die ihm zugrunde liegenden Prinzipien zurückgeführt wird. Die Zielgruppe solcher Erklärungen ist dabei eine wissenschaftliche Fachcommunity (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Dagegen versucht eine vermittelnde Erklärung einen gewissen Inhalt einer bestimmten Person oder Gruppe so zu erklären, dass sie die Möglichkeit besitzt, den Inhalt der Erklärung zu verstehen. Dabei wird der zu erklärende Gegenstand, das Explanandum, so aufbereitet, dass es von einer Zielperson verstanden werden kann (Kulgemeyer & Schecker, 2013). Eine vermittelnde Erklärung soll somit in einem konstruktivistischen Sinne verstehen helfen. Um die Qualität einer solchen Erklärung in einem naturwissenschaftlichen, lehrenden Kontext zu bestimmen, greifen Kulgemeyer und Schecker (2013) die Kommunikationstheorie nach Merten (1995) und Rusch (1999) auf. Eine Erklärung ist demnach eine kommunikative Handlung zwischen Erklärenden und Zuhörenden. Basierend auf den Überlegungen von Ogborn, Kress, Martins und McGillicuddy (2008) zum Prozess des Erklärens, entwickeln Kulgemeyer und Schecker (2013) daraus ein Modell zur Qualität einer Erklärung im Unterricht. Die zentralen Fragen der Erklärung sind dabei: *Wem soll etwas erklärt werden? Und was soll dieser Person erklärt werden?* (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015; Kulgemeyer & Wolf, 2016) Um diese Fragen genauer zu beleuchten, wurde zunächst empirisch untersucht, welche Aspekte eine gute Erklärung ausmachen. Dazu wurden Experten-Novizen Dialoge durchgeführt. Sowohl Expert*innen als auch Noviz*innen waren Schüler*innen. Die Expert*innen waren zwischen 14 und 16 Jahren alt und die Noviz*innen zwischen 12 und 13 Jahren. Die Noviz*innen waren so trainiert, dass Sie den Expert*innen verschiedene Möglichkeiten gegeben haben, einen Inhalt zu erklären. Mittels qualitativer Inhaltsanalyse haben Kulgemeyer & Schecker (2013) 16 Kategorien gewinnen können. Dabei konnten sechs Kategorien als besonders relevant für eine aus Adressatensicht gelungene Erklärung gefunden werden (Kulgemeyer & Schecker, 2013).

Zu Beginn muss eine adressatengerechte Erklärung gut vorbereitet werden. Das heißt, dass der Erklärende Überlegungen anstellt, welches Vorwissen vorhanden ist, und er das zu erklärende Thema analysiert. Dabei ist es für eine adressatengerechte Erklärung besonders relevant, auf das Vorwissen der Adressat*innen einzugehen (Kulgemeyer & Schecker, 2009). Im Rahmen der Vorbereitung soll weiterhin ein roter Faden für die Erklärung entworfen werden, sodass sich sachlogische Zusammenhänge besser erschließen und ein Raum für Zusammenfassungen gegeben wird (Kulgemeyer & Schecker, 2013). Durch die Erhebung konnten Kulgemeyer und Schecker (2013) feststel-

len, dass eine Erklärung besonders gelungen ist, wenn mit Darstellungen und Grafiken gearbeitet wird. Diese Darstellungen unterstützen dabei den Lernprozess. Auf eine Parallele zur Theorie des multimedialen Lernens nach Mayer (2009) soll später eingegangen werden. Außerdem sollen die Adressat*innen aus kommunikationstheoretischer Sicht in die Erklärung einbezogen werden. Es kann sich um eine direkte Ansprache oder um eine konkrete Handlungsaufforderung handeln (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Dazu gehört, dass der Erklärende sich nach kurzen Erklärpassagen rückversichert, ob der Inhalt bisher verstanden wurde oder ob eine Adaption der Erklärung notwendig ist. Das beinhaltet, dass die Möglichkeit für Rückfragen gegeben wird, die kurz und prägnant beantwortet werden (Kulgemeyer & Schecker, 2013). Diese Aussagen decken sich mit empirischen Befunden zu lernwirksamen Aspekten einer Erklärung (Wittwer & Renkl, 2008).

Aufbauend auf den Aussagen über die Qualität von Erklärungen zwischen Schüler*innen (Kulgemeyer und Schecker, 2013), entwickelten Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015) ein objektives Qualitätsmaß für die Qualität einer Erklärung, die von Lehrer*innen gegeben wird. Dazu stellen Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015) weitere Überlegungen an: Aus einer kommunikationstheoretischen Perspektive kann analysiert werden, inwieweit eine Erklärung adressatengerecht verfasst ist. Hierbei wird das Ziel einer solchen Erklärung, einen *common ground* zwischen Erklärenden und Adressat*innen zu finden, also einen Punkt an dem die Erklärung möglichst an Vorwissen, Erfahrungen und Lebensumständen der Adressat*innen ansetzt, bewertet (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Dies geschieht schrittweise und ist oft nicht mit einer einzelnen Adaption abgeschlossen (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Eine Erklärung ist demnach ein flüchtiges Produkt eines sich wiederholenden Prozesses. Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015) gehen davon aus, dass eine solche Erklärung dem Angebot-Nutzen-Modell unterliegt und eine passgenaue Erklärung nur dann gegeben werden kann, wenn die Adressat*in die Möglichkeit der Adaption durch eine Rückmeldung gibt. Eine gelungene Erklärung wird sich daher in der Anpassung verschiedener Kriterien für eine bestimmte Zielgruppe von einer nicht gelungenen Erklärung unterscheiden. Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015) unterscheiden in diesem Zusammenhang vier Oberkategorien: *Darstellungsformen*, *Mathematisierung*, *Beispiele und Analogien* sowie *sprachlicher Code*. Diese Kategorien wurden aus Novizen-Experten Dialogen zwischen Physikstudierenden aus dem ersten und dritten Semester sowie aus Masterabsolventen als Experten und Schüler*innen als Novizen gewonnen.

Darstellungsformen beschreiben hier konkrete *Darstellungen*, um eine Erklärung zu unterstützen (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Dies kann beispielsweise die Nutzung von Skizzen oder Bildern sein, aber auch die Nutzung eines Gegenstandes.

Der *Mathematisierung* kommt im Rahmen des Physikunterrichts eine besondere Stellung zu. Mathematik ist die Sprache der Physik, sodass die Wahl eines geeigneten

Abstraktionsniveaus die Verständlichkeit einer Erklärung für eine bestimmte Gruppe direkt beeinflussen kann (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Bei geringerem Vorwissen kann man sich beispielsweise auf qualitative Beschreibungen von Phänomenen zurückziehen und in einem nächsten Schritt halb quantitative „je-desto“ Zusammenhänge formulieren, bevor man eine algebraische Darstellungsform wählt (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015).

Daran schließt sich die *Auswahl des sprachlichen Codes* einer Erklärung an. Dieser Code kann entweder alltagssprachlich als auch fachwissenschaftlich sein. Auch hier entscheidet wieder das Vorwissen der Adressat*innen über das Abstraktionsniveau der Erklärung (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Je geringer das Vorwissen zu einem bestimmten Thema ist, desto stärker muss sich eine Erklärung an einer Alltagssprache orientieren. Hier zeigen sich Gemeinsamkeiten einer gelungenen Erklärung mit einem sprachsensiblen Unterricht nach Leisen (2017), der ebenfalls eine für die Zielgruppe geeignete mathematische und sprachliche Abstraktion einfordert.

Schlussendlich müssen für eine gelungene Erklärung geeignete *Beispiele und Modelle* gewählt werden, die dem Vorwissen der Adressat*innen entsprechen (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Diese Beispiele können bei einer Erklärung variiert werden, falls dies von den Adressat*innen gewünscht wird.

Die Qualität einer unterrichtlichen Erklärung macht nun aus, dass der Erklärende diese vier Variablen aufgrund der Rückmeldung des Adressat*innen zur Erklärung variieren und auf dessen Bedürfnisse anpassen kann. Durch eine Erhebung der Erklärqualität von Studierenden konnten Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015) zeigen, dass sich diese Kategorien in verschiedenen konkreten Handlungen einer Erklärung wiederfinden lassen und als Qualitätsmerkmal einer gelungenen Erklärhandlung dienen können. Insgesamt werden die Oberkategorien von Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015) zu drei Aspekten zusammengefasst: *Variablen einer Erklärung*, *Perspektive* und *Verknüpfung von Erklärungen*. Zum Aspekt *Variablen einer Erklärung* zählen die genutzte Sprache mit den Unterkategorien Umschreibung des Sachverhaltes, Beispiele/Analogien, Grad der Mathematisierung und die Auswahl geeigneter Darstellungsformen, wie die Nutzung von Gegenständen zur Unterstützung einer Erklärung, Gegenstände mit Erklärungen verknüpfen, nonverbale Darstellungen, z. B. Grafiken miteinander zu verknüpfen oder die Nutzung von Ad-hoc Experimenten (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Unter den Aspekt *Perspektive* fällt, die Adressatengemäßheit zu diagnostizieren. Dies kann anhand von Rückfragen oder Aufforderungen zu Handlungen erfolgen. Der Aspekt *Verknüpfung von Erklärungen* setzt sich vor allem aus sprachlichen Mitteln wie dem Einsatz von Zusammenfassungen, strukturierten Rückblicken und der Nutzung von Lob zusammen (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015).

	Oberkategorie	Kategorie	Erläuterung
Variablen einer Erklärung	Sprache Beispiele/Analogien Mathematisierung	1. Umschreibung von Fachbegriffen	1. Meint die direkte Erläuterung eines Fachbegriffs in Alltagssprache
		2. Unangemessenes Beispiel	2. Meint Beispiele, die ein falsches Bild der Realität vermitteln
		3. Zahlenbeispiel	3. Meint z. B. physikalische Größen, die durch einen Wert veranschaulicht werden
	Graphische Darstellungsform	4. Verknüpfen von nonverbalen Elementen	4. Meint z. B. das Aufeinanderbeziehen verschiedener Graphiken („Hier sieht man... und da sieht man...“)
		5. Gegenständliche Hilfsmittel verwenden	5. Meint das Einbeziehen von Gegenständen (z. B. Wasserflasche) in die Erklärung zur Nachstellung von Situationen oder Bewegungen
		6. Gegenstände mit Erklärung verknüpfen	6. Meint das Einbeziehen von Gegenständen durch Benennung, was diese repräsentieren („Das bist du...“)
		7. Ad-hoc Experimente	7. Meint das spontane Durchführen von „Experimenten“, z. B. Werfen eines Papierknäuels zur Veranschaulichung der Wurfparabel
Perspektive	Adressatengemäßheit diagnostizieren	8. Diagnostizierende Verständnisversicherung	8. Meint das Diagnostizieren des Erklärungserfolgs durch Wissensfragen oder Aufgaben – NICHT: „Hast du das verstanden?“
		9. Aufforderung des Adressaten zur Handlung	9. Meint die Aufforderung, eine Handlung wie z. B. zeichnen zu vollführen
Verknüpfung von Erklärungen	Strukturelle Elemente	10. Strukturierender Rückblick	10. Meint, dass der Erklärer explizit darauf verweist, dass etwas bereits erklärt wurde und jetzt eine Rolle spielt („Du hast ja gerade von der Zentrifugalkraft gesprochen...“)
		11. Zusammenfassung/ Wiederholung	11. Meint das Zusammenfassen eines bereits erklärten Sachverhalts
		12. Ermunterung und Lob	12. Meint Lob bei erfolgreichem Handeln des Schülers oder Verständnis für etwaige Schwierigkeiten

Abbildung 4 Qualität einer Erklärung nach Kulgemeyer & Tomczyszyn (2015, S. 121)

Es zeigt sich also, dass eine gelungene Erklärung von diversen Faktoren abhängt. Dabei werden Anforderungen an die Erklärung sowohl aus einer Adressatenperspektive als auch aus Überlegungen zur Lernwirksamkeit von Erklärungen gestellt. Eine wesentliche Prämisse für eine gelungene Erklärhandlung ist dabei, dass die Erklärung auch fachlich korrekt ist (Kulgemeyer & Schecker, 2013). Bei der Bewertung der Qualität von Erklärhandlungen haben Kulgemeyer & Tomczyszyn (2015) diesen Aspekt nicht weiter expliziert. Eine Erklärung sollte zunächst vor allem adressatengerecht sein. Die Frage nach der Sachgerechtigkeit einer Erklärung führt zur fachinhaltlichen Betrachtung einer Erklärung. Einer solchen Betrachtung wird im Folgenden unter dem Aspekt Elementarisierung nachgegangen.

2.2.2 Elementarisierung

Elementarisierung zielt auf die Vermittlung eines Inhalts, verfolgt also ein ähnliches Ziel wie eine gelingende Erklärung: Jeder Inhalt kann bzw. soll so aufgearbeitet werden, dass ihn jede Person verstehen kann (Reinhold, 2010). Dabei verortet sich Elementarisierung anders als die bisher diskutierte Erklärqualität im Kontext der Unterrichtsplanung. In der fachdidaktischen Literatur wird zwischen Elementarisierung als Bestimmung des Elementaren⁴, d.h. der Rechtfertigung des Bildungsgehalts (Klafki, 1964), Elementarisierung als Vereinfachung und Elementarisierung als Zerlegung in

⁴ Dies ist die Auswahl eines exemplarischen Gegenstandes, der sowohl relevant für die Physik als auch für den Bildungsprozess des Lernenden ist. Diese Auswahl ist laut Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek und Parchmann (2012) besonders relevant in der Planung von Unterricht und Lehrplänen. Für die Gestaltung von Erklärvideos zu einem bestimmten Thema ist diese Bestimmung des Elementaren nicht von einer größeren Relevanz, sodass für eine genauere Betrachtung auf z. B. Reinhold (2010) und Bleichroth et al. (1999) verwiesen wird.

methodische Elemente (Muckenfuß, 1991) unterschieden. Die beiden letztgenannten Aspekte sollen im Folgenden zur Differenzierung der Erklärqualität herangezogen werden. Elementarisierungen sollen in diesem Zusammenhang adressatengerecht, an-schluss- bzw. entwicklungsfähig und sachgerecht sein, damit Unterricht gelingen kann. In Weiterführung der bisher diskutierten Erklärqualität soll im Folgenden dabei insbesondere die Sachgerechtheit einer Elementarisierung genauer betrachtet werden.

Nach Bleichroth et al. (1999) ist das Ziel der Elementarisierung, einen Sachverhalt an die Leistungsfähigkeit der Schüler*innen anzupassen. Notwendig wird dies, da physikalische Theorien, Konzepte oder Modelle in fachwissenschaftlichen Darstellungen der Physik sehr komplex und abstrakt formuliert sind, sodass sie auf ganze Klassen von konkreten Situationen oder Einzelfällen anwendbar sind (Reinhold, 2010). Dabei ranken sich physikalischen Theorien häufig um paradigmatische Beispiele oder zentrale Experimente.

Elementarisierung als Vereinfachung zielt auf die Reduktion von Abstraktheit und Komplexität. In der fachdidaktischen Literatur (u. a. Duit, Häußler und Kircher, (1981); Reinhold, (2010); Kircher, (2014)) werden dazu eine Reihe von Heuristiken vorgeschlagen. So ist eine Möglichkeit der Vereinfachung, dass eine konkrete experimentelle Situation als *Phänomen beschrieben* wird, ohne zunächst zu diskutieren, auf welche anderen Situationen das Beobachtete auch verallgemeinert werden könnte und welchen Grenzen die Verallgemeinerung unterliegt. Eine andere Strategie ist es, nicht relevante Teile von *Theorien anfangs auszublenden* (z. B. keine Differenzierung von Träger und schwerer Masse) (Kircher, 2014; Reinhold, 2010). Eine weitere Heuristik zur Vereinfachung ist die Wahl einer *geeigneten Mathematisierung*. In einem ersten Schritt können oft qualitative Aussagen ausreichen, die danach zu halbquantitativen Je-Desto Sätzen erweitert werden (Muckenfuß, 1991). Erst wenn ein großer Teil des zu elementarisierenden Zusammenhangs von den Adressat*innen verstanden ist, ergibt es Sinn, eine erste mathematische Abstraktion vorzunehmen. Um einen Inhalt zu vereinfachen, kann man sich auf wenige Musterbeispiele beschränken (*Partikularisierung*) und von diesen Beispielen auf den gesamten Sachverhalt schließen (*Generalisierung*) (Reinhold, 2010). Hierbei können gewisse Einflussgrößen vernachlässigt werden. Im Falle der Mechanik wird z. B. oft die Reibung vernachlässigt. Eine weitere Möglichkeit komplexe Inhalte zu vereinfachen, ist der *Rückgriff auf historisch frühere Entwicklungsstufen* physikalischer Theorien (Duit et al., 1981; Reinhold, 2010). Schließlich können grafische oder symbolische Darstellungen zur Reduktion der Komplexität und zur kognitiven Entlastung genutzt werden (Kircher, 2014). Dies wird weiter unten unter dem Aspekt der multimedialen Gestaltung von Erklärvideos genauer betrachtet.

Von größerer Relevanz für Erklärvideos ist jedoch die Zerlegung eines Inhaltes in *Sinneinheiten* (Muckenfuß, 1991). Das Modell der Elementarisierung geht davon aus,

dass Lernen ein konstruktivistischer Prozess ist, bei dem eine Entwicklung vom Vorwissen der Lernenden hin zum angestrebten Wissen stattfindet. Zunächst wird dazu genauer analysiert, welche Lernvoraussetzungen bei den Schüler*innen vorhanden sind (Reinhold, 2010). Dazu zählen eine Analyse der Interessen der Lerngruppe, das Vorhandensein von bekannten Präkonzepten und die Einstellung zu bestimmten Themen des Physikunterrichts (Reinhold, 2010). Nachdem eine Entscheidung für eine bestimmte Elementarisierung in Form von Adressat*innen, Interessen und kognitiven Fähigkeiten stattgefunden hat, muss überlegt werden, wie ein Verständnis des Elementaren bei den Lernenden aufgebaut werden kann (Muckenfuß, 1991). Hierbei ist es für das Verständnis relevant, dass die Strukturierung des Inhaltes konsistent ist und einer logischen Abfolge von Argumenten folgt (Reinhold, 2010).

Es wurde bereits erwähnt, dass eine Elementarisierung sowohl *fachlich* als auch für *die Zielgruppe angemessen* sein sollte. Das beinhaltet das Problem, dass eine aufgrund von Auswahl und Vereinfachungen von Modellen für Lernende angemessene Elementarisierung aus fachwissenschaftlicher Sicht nicht immer komplett korrekt sein kann. Die Entscheidung, ob eine Elementarisierung noch fachlich angemessen oder falsch ist, kann nur im Einzelfall getroffen werden, da die Auswahl der vereinfachten Elemente abhängig von der Zielgruppe ist (Reinhold, 2010). Eine fachlich angemessene Elementarisierung sollte jedoch stets anschlussfähig sein (Reinhold, 2010). Das heißt, dass auf sie an einer späteren Stelle im Lernprozess differenzierend aufgebaut werden kann, um nach und nach ein komplexeres Bild der Physik aufzubauen. Zentral für eine Elementarisierung ist, dass sie angemessen an die kognitiven Strukturen und Präkonzepte der Zielgruppe anknüpfen kann. Dieser Aspekt ist allerdings im Kontext der Unterrichtsplanung schwierig zu beurteilen. Inwieweit dies gelungen ist, lässt sich oft erst im Nachhinein feststellen. Dies ist ein Unterschied zur Erklärqualität aus kommunikationstheoretischer Sicht. Diese stellt die Adaption des Produktes im Prozess in den Mittelpunkt, während eine Elementarisierung zunächst ein feststehendes Produkt erzeugt.

Im Vergleich zur Bestimmung der Qualität einer Erklärung nach Kulgemeyer (2018a) ergeben sich bei Erklärvideos einige Gemeinsamkeiten aber auch Unterschiede zur Elementarisierung, die im Folgenden genauer beschrieben werden. Zunächst verfolgen sowohl eine Erklärung als auch eine Elementarisierung ein ähnliches Ziel: eine bestimmte Person soll unterstützt werden, etwas zu verstehen. Der Unterschied ist jedoch, dass eine Erklärung ein ganz konkretes Angebot im Prozess des Erklärens ist, bei dem durch Feedbackschleifen das Produkt verändert werden kann und soll (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Eine Elementarisierung hingegen schafft zunächst nur die Voraussetzungen für das Angebot. Die Elementarisierung eines Inhaltes an sich bietet noch keine Lerngelegenheit und ist eine reine Planung (Bleichroth et al., 1999; Reinhold, 2010). Erst durch konkreten Einsatz der angestellten Überlegungen, z. B. durch eine Erklärung wird ein Lernangebot erschaffen. Ein weiterer Unterschied zwi-

schen der Elementarisierung und der Bestimmung der Qualität einer Erklärung ist der unterschiedliche Fokus der Überlegungen. Nach Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015) soll bei der Qualität der Erklärung besonders auf die Adressatengerechtigkeit eingegangen werden. Der Fokus der Erklärung aus einer kommunikationswissenschaftlichen Sicht ist die starke Adaption an den Adressat*innen. Die Erklärung wird immer aus Sicht der Adressat*innen gedacht, geplant und ggf. revidiert. Eine Elementarisierung ist zwar auch in dem Sinne adaptiv, indem sie aufgrund von angenommenem Vorwissen und unterstellten Präkonzepten entwickelt wird. Eine mögliche oder notwendige Modifikation ist nicht Thema des Unterrichts, sondern höchstens Gegenstand einer Reflexion nach der Durchführung.

Der Unterschied zwischen der Adressatengerechtigkeit der Erklärung und der Sachgerechtigkeit der Elementarisierung wird besonders anhand der Frage nach der „fachlichen Korrektheit“ deutlich. Auch wenn im Rahmen der Erklärqualität stets betont wird, dass eine Erklärung fachlich korrekt sein muss (Kulgemeyer & Schecker, 2013; Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015), so gehen die Überlegungen nicht analog zu denen, die die Elementarisierung macht. Die Bezeichnung „fachlich korrekt“ wird im Rahmen der Elementarisierung weitergefasst als „fachlich angemessen“. Der Unterschied zwischen diesen Bezeichnungen ist ähnlich zur Unterscheidung von wissenschaftlicher und vermittelnder Erklärung. Eine wissenschaftliche Erklärung versucht das konkrete Prinzip hinter einem Phänomen zu erläutern (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015) und hat damit das Ziel der größtmöglichen fachlichen Korrektheit, während eine vermittelnde Erklärung versucht, einer Person beim Verstehen eines Prinzips zu helfen (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Dafür ist es nicht immer notwendig, ein Phänomen „fachlich korrekt“, also bis zum grundlegenden Prinzip, zu verstehen. Es reicht vielmehr für die Zielgruppe etwas fachlich angemessen zu verstehen (Reinhold, 2010), da eine Vereinfachung von Inhalten immer auch ein Verlust fachlicher Genauigkeit beinhaltet. Die Aufgabe bei der Erstellung ist es, durch die geeignete Auswahl des Modells und der Vereinfachung, eine Entwicklungsfähigkeit für spätere komplexere Darstellungen zu gewährleisten.

Jedoch können die Perspektive der Elementarisierung und die Bestimmung der Erklärqualität auch verbunden werden. Das Ziel der Elementarisierung fachlich angemessenen die Vorstellungen von Lernenden aufzugreifen und eine entwicklungsfähige Elementarisierung zu entwickeln, kann der Startpunkt einer lernwirksamen Erklärung aus kommunikationswissenschaftlicher Sicht sein. Dabei ergänzt die Elementarisierung die Erklärung um eine Betrachtung der fachlichen Angemessenheit und einer Methode der Planung der Erklärung. Die Elementarisierung von Inhalten hilft somit dabei, dem im Erklärprozess so wichtigen *common ground* schneller zu finden und von diesem aus, anschlussfähige Angebote an Lernende zu machen.

In beiden Perspektiven auf die Gestaltung von Erklärvideos wurde auf geeignete Darstellungsformate hingewiesen. Sie werden im nächsten Schritt im Rahmen der Perspektive der multimedialen Gestaltung von Lernumgebungen genauer betrachtet.

2.2.3 Multimediale Gestaltung von Erklärvideos

Nachdem die für die inhaltliche Gestaltung von Erklärvideos relevanten Aspekte diskutiert wurden, wird in einem nächsten Schritt genauer auf ihre multimediale Gestaltung eingegangen. Erklärvideos werden dazu als multimediale Lernumgebung aufgefasst und es wird dargelegt, wie sie möglichst lernwirksam gestaltet werden können.

Der Ursprung von Gestaltungskriterien digitaler Lernumgebungen ist die *Dual Coding theory* nach Paivio (1990). Paivio (1990) geht von zwei verschiedenen Informationskanälen aus: einem verbalen und einem non-verbalen, vor allem grafischen, Kanal. Wird nun ein verbaler oder non-verbaler Reiz wahrgenommen, so wird er durch den entsprechenden Kanal verarbeitet. Dabei werden neue Informationen mit schon vorhandenen Informationen verbunden, wodurch ein Lernprozess stattfindet. Die Besonderheit ist nun, dass bei Informationen, die sowohl verbal als auch non-verbal auftauchen, eine Interaktion zwischen den Kanälen stattfindet. Nach Paivio (1990) ist eine solche Darbietung von Informationen besonders lernwirksam, da mehr als ein Kanal stimuliert wird und dadurch mehr Möglichkeiten des Lernens gegeben werden.

Eine andere Theorie, die die Verarbeitung von multimedialen Informationen betrachtet, ist die *Cognitive Load Theory* nach Chandler und Sweller (1991). Diese Theorie stellt die Begrenztheit der Informationsverarbeitung beim Menschen in den Mittelpunkt. Zunächst werden dazu zwei Grundannahmen getroffen. Es wird festgelegt, dass neue Informationen zunächst vom Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden, welches eine bestimmte Kapazität hat (Chandler & Sweller, 1991). Nachdem diese neuen Informationen verarbeitet wurden, werden sie ins Langzeitgedächtnis übertragen. Das Langzeitgedächtnis hat eine nahezu unbegrenzte Kapazität. Der einschränkende Faktor beim Verarbeiten neuer Informationen ist also stets die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses. Die zweite Grundannahme ist, dass jeder Lernprozess das Ziel hat, dass aus Noviz*innen Expert*innen werden (Chandler & Sweller, 1991). Der Unterschied zwischen Noviz*innen und Expert*innen ist dabei das Vorhandensein von Schemata, mit denen Probleme gelöst oder Handlungen durchgeführt werden können (Chandler & Sweller, 1991). Eine Informationsverarbeitung ist demnach mit einer Erstellung von Schemata im Arbeitsgedächtnis verbunden. Auf Grundlage der Begrenztheit des Arbeitsgedächtnis werden drei verschiedene Arten des *Cognitive Load* eingeführt (Chandler & Sweller, 1991). Der Umfang, der für die Verarbeitung der Informationen relevant ist, bestimmt den *Germane Cognitive Load*. Das sind die Informationen, die benötigt werden, um neue Schemata zu bilden und in bestehende kognitive Strukturen einzubinden (Cooper, 1990). Der *Intrinsic Cognitive Load* beschreibt die Komplexität

des neuen Lerngegenstandes selbst. Also die kognitive Leistung, die benötigt wird, um das zu lernende Prinzip zu verstehen. Die Größe des *Intrinsic Load* wird festgelegt vom Vorwissen im neuen Wissensbereich (Chandler & Sweller, 1991). Besteht bereits ein großes Vorwissen kann davon ausgegangen werden, dass das Arbeitsgedächtnis weniger belastet wird, da bereits viele Informationen im Langzeitgedächtnis abgelegt sind. Der für das Lernen hinderliche *Load* ist der *Extraneous Cognitive Load*. Dieser entsteht durch die Gestaltung von Lernumgebung und Informationen. Der *Extraneous Cognitive Load* entsteht durch die Bereitstellung von für den Lerninhalt unwichtigen Informationen (Cooper, 1990). Dies kann bspw. durch eine sehr aufwendige Gestaltung von Arbeitsblättern, Videos oder anderen Lernumgebungen geschehen. Durch diese aufwendige Gestaltung wird das Arbeitsgedächtnis mit unnötigen Informationen belastet und kann den Lerninhalt nicht mehr aufnehmen. Für einen möglichst großen Lernzuwachs, also die Möglichkeit, neue Schemata zu bilden, ist es nach Chandler und Sweller (1991) damit wichtig, einen möglichst großen *Germane Cognitive Load* bei der Bereitstellung von Informationen zu erhalten und den *Extraneous Cognitive Load* möglichst gering zu halten, d. h. Lernumgebungen nicht zu aufwendig zu gestalten. Der *Intrinsic Load* ist durch den Lerninhalt selbst determiniert und abhängig von der Komplexität und dem Vorwissen zum Thema.

Auf Grundlage dieser Überlegungen entwickelt Mayer (2009) seine Theorie des multimedialen Lernens. Er geht dabei von drei Grundannahmen aus. Zunächst stellt er mit Blick auf Paivio (1990) fest, dass Informationen durch zwei getrennte Sinneskanäle aufgenommen werden können. Mit Bezug auf Chandler und Sweller (1991) legt Mayer (2009) fest, dass beide Informationskanäle eine begrenzte Kapazität haben. Die dritte Annahme von Mayer (2009) ist, dass eine aktive Weiterverarbeitung von Informationen zu einem erhöhten Lernzuwachs führt. Dies führt zu seiner Theorie des multimedialen Lernens. Diese ist in Abbildung 5 dargestellt und wird im Folgenden erläutert.

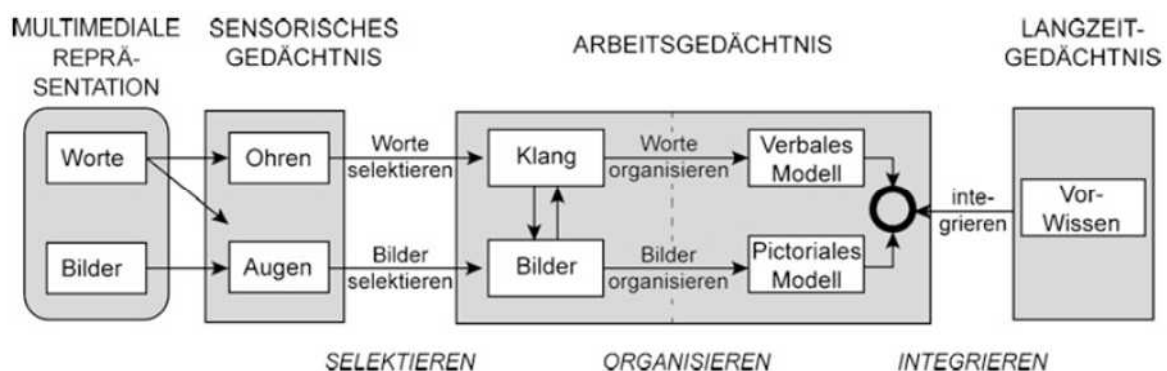


Abbildung 5 Zweikanaltheorie nach Mayer (2009) zitiert nach Schanze & Girwidz (2018, S. 179)

Multimediale Informationen, bestehend aus Worten und Bildern, werden vom sensorischen Gedächtnis aufgenommen. Dabei werden Bilder ausschließlich von den Augen verarbeitet und Wörter je nach Darstellungsform von Ohren oder Augen (Mayer, 2009). Wörter werden von den Augen verarbeitet, sollte es sich um geschriebenen Text

handeln. Gesprochene Wörter werden vom sensorischen Kanal der Ohren aufgenommen. Anschließend werden die aufgenommenen Informationen entsprechend ihres Aufnahmekanals selektiert. Selektion in diesem Zusammenhang bedeutet, dass die relevanten Informationen, also der *Germane Cognitive Load* aus dem *Extraneous Load* herausgefiltert werden (Mayer, 2009). Die selektierten Informationen werden im Arbeitsgedächtnis weiterverarbeitet. Dabei findet eine erste Abgleichung von Wort- und Bildinformationen statt. Passen diese zueinander, werden die Informationen weiter in ihren entsprechenden Kanälen verarbeitet. Die Informationen werden zu einem mentalen Modell weiterverarbeitet (Schanze & Girwidz, 2018). Dieses Modell ist zunächst noch für Wörter und Bilder getrennt. Erst danach werden bildliches und verbales Modell miteinander verbunden und mit Informationen aus dem Langzeitgedächtnis angereichert (Mayer, 2007). Diese Informationen aus dem Langzeitgedächtnis sind das Vorwissen der Person. Im Idealfall wird dieses neue Modell in das Langzeitgedächtnis integriert und steht der Person nun zur Verfügung. Um diesen Prozess möglichst effizient zu gestalten, formuliert Mayer (2009) auf Grundlage empirischer Untersuchungen zwölf verschiedene Gestaltungsprinzipien für multimediale Lernumgebungen (Schanze & Girwidz, 2018):

In Anlehnung an die *Cognitive Load Theory* besagt das *Kohärenzprinzip*, dass für den Lernprozess nicht notwendige Informationen nicht präsentiert werden sollten, um die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses weniger zu beanspruchen (Schanze & Girwidz, 2018). Das *Signalisierungsprinzip* besagt, dass wichtige Informationen durch Hervorhebungen verdeutlicht werden sollen (Schanze & Girwidz, 2018). Im *Redundanzprinzip* wird festgelegt, dass die doppelte Darbietung von Informationen unnötig belastend sein kann. Das heißt, dass gesprochener Text nicht noch zusätzlich in einem Video angezeigt werden sollte. Das *Kontiguitätsprinzip* kann in einen *räumlichen* und einen *zeitlichen* Teil aufgespalten werden (Schanze & Girwidz, 2018). Das *räumliche Kontiguitätsprinzip* besagt, dass Texte und Bilder, die aufeinander verweisen, auch räumlich beieinander präsentiert werden sollten. Das *zeitliche Kontiguitätsprinzip* legt dies für eine zeitliche Auflösung fest. Zusammenhängende Informationen sollten auch zeitlich beieinander präsentiert werden. Lerninhalte sollten außerdem nach dem *Segmentierungsprinzip* in für den Lernenden passende Sinneinheiten aufgeteilt werden (Schanze & Girwidz, 2018). Mayer (2009) legt im *Vortrainingsprinzip* fest, dass es für den Lernverlauf günstiger ist, dass vor Nutzung multimedialer Angebote die wichtigsten Begriffe bereits bekannt sind (Schanze & Girwidz, 2018). Das *Modalitätsprinzip* besagt, dass für Darstellungen mit hoher Informationsdichte zusätzlich ein gesprochener Text hilfreicher ist als zusätzliche Erklärungen in Textform (Schanze & Girwidz, 2018). Daran schließt sich das *Multimediaprinzip* an, was besagt, dass es für den Lernprozess hilfreicher ist, wenn stets beide Kanäle angesprochen werden. Das *Personalisationsprinzip* legt fest, dass es für Lernende einfacher ist, wenn sie durch multimediale Lernumgebungen direkt angesprochen werden und kein formeller Stil genutzt wird

(Schanze & Girwidz, 2018). Die letzten beiden Prinzipien vertiefen diesen Punkt. Zunächst soll, vor allem bei Videos, *kein Sprecherbild* vorhanden sein und die *Stimme freundlich* und nicht maschinell klingen (Schanze & Girwidz, 2018).

Vergleicht man diese verschiedenen Prinzipien mit den bereits in den Kapiteln 2.2.2 und 2.2.3 vorgestellten Qualitätskriterien für eine lernwirksame Erklärung und eine gelungene Elementarisierung, so fallen einige Gemeinsamkeiten auf. In allen drei Perspektiven sind eine geeignete Segmentierung von Inhalten und ein passendes Vorwissen relevant. Im Vergleich zu einer lernwirksamen Erklärung zeigen sich insbesondere in der sprachlichen Gestaltung Gemeinsamkeiten, wie die direkte Ansprache der Zuhörenden. Ergänzend zur Elementarisierung und der Qualität der Erklärung ist die genauere Beschreibung möglicher Darstellungsformen. Während sowohl in der Theorie einer lernwirksamen Erklärung nach Kulgemeyer (u. a. Kulgemeyer & Schecker, 2013) als auch unter der Perspektive der Elementarisierung die Nutzung grafischer Darstellungsformen gefordert wird, werden diese nicht genauer charakterisiert. Die multimediale Perspektive liefert dazu eine Möglichkeit der Differenzierung. Diese Perspektive liefert konkrete Gestaltungshinweise, die in einem Erklärvideo umgesetzt werden können.

Im nächsten Schritt sollen diese Theorien nun auf Erklärvideos übertragen werden und ein Modell der Qualität von Erklärvideos vorgestellt werden, mit dem sich möglichst lernwirksame Erklärvideos erstellen lassen.

2.2.4 Modell der Qualität eines Erklärvideos

Im Folgenden soll ein Modell zur Erstellung lernwirksamer Erklärvideos entworfen werden. Dabei soll sich auf die gerade vorgestellten Theorien bezogen und diese als Grundlage genutzt werden. Alle drei vorgestellten Perspektiven, Bestimmung der Qualität der Erklärung, Elementarisierung und Prinzipien des Multimedialen Lernens verfolgen das gleiche Ziel: einer Person einen Sachverhalt verstehen zu helfen. Dabei wird jedoch der Fokus jeweils auf andere Elemente gelegt. Während in der Bestimmung der Erklärqualität nach Kulgemeyer (u. a. Kulgemeyer, 2018a, 2020) die adressatengerechte Kommunikation und Adaption im Mittelpunkt steht, konzentriert sich die Elementarisierung besonders auf eine fachliche, inhaltliche Anpassung von Inhalten an eine Zielgruppe. Die Theorie des Multimedialen Lernens legt den Fokus auf die mediale Gestaltung und Darstellung von Inhalten für eine bestimmte Zielgruppe. Diese drei Perspektiven auf ein gemeinsames Ziel sollen im Folgenden zusammengeführt werden. Auf Grundlage der Bestimmung der Qualität einer Erklärung wurde von Kulgemeyer (2018a) bereits ein Kriterienkatalog zur Entwicklung von Erklärvideos vorgestellt. Dieser Kriterienkatalog wird durch Kriterien aus der Perspektive der Elementarisierung und der Theorie des Multimedialen Lernens ergänzt, da diese Aspekte bei Kulgemeyer (2018a) bisher nicht explizit genutzt werden. Es existieren zudem noch

weitere Kriterienkataloge nach z. B. Schmidt-McCormack, Muniz, Keuter, Shaw und Cole (2017), Brame (2016), van der Meij und van der Meij (2013). Diese Kriterienkataloge sind jedoch entweder zum Großteil ähnlich zu Kulgemeyer (2018a) und wurden von diesem bereits berücksichtigt oder sie basieren vornehmlich auf der Theorie des Multimedialen Lernens nach Mayer (2009) und werden im Rahmen des hier vorgestellten Modells durch entsprechende Ergänzungen berücksichtigt. Für den Katalog von Kulgemeyer (2018a) als Ausgangspunkt spricht auch, dass er bereits empirisch erprobt wurde. Hinzu kommt, dass dieser Katalog für physikdidaktische Fragestellungen entwickelt wurde und sich auch aus diesem Grund als Bezugspunkt für die Entwicklung eines Modells der Qualität von Erklärvideos eignet.

Kulgemeyer (2018a) formuliert auf Grundlage seiner Überlegungen zur Erklärfähigkeit einen Kriterienkatalog zur Gestaltung von Erklärvideos (vgl. auch: Kulgemeyer, 2019, 2020). Er stellt dabei fest, dass sich zwischen vermittelnder Erklärung in direkter Kommunikation und einem Erklärvideo gewisse Unterschiede ausbilden. Wie erwähnt ist die ständige Adaption der Erklärung, die Suche nach einem *common ground*, ein Qualitätsmerkmal eben dieser. Eine gelungene Erklärung ist dadurch ein flüchtiges Produkt, welches in jedem Erklärvorgang neu angepasst werden kann. Diese Möglichkeit besteht bei einem Erklärvideo nicht. Ein Erklärvideo ist ein an sich feststehendes Produkt, welches nicht ohne erheblichen Aufwand verändert werden kann. Eine genaue Planung der zu gebenden Erklärung ist daher unumgänglich. Somit verlangt ein lernwirksames Erklärvideo eine größere Vorbereitung als eine Erklärung im Rahmen eines Kommunikationsprozesses. Ausgehend von diesen Überlegungen formuliert Kulgemeyer (2018a) 14 Kategorien für die Gestaltung eines Erklärvideos. In einer empirischen Erhebung zeigte sich (Kuglemeyer, 2018a), dass ein Video, welches mit Hilfe dieses Kataloges entwickelt wurde, einen höheren Lernzuwachs bei Studierenden erzielt als ein Video, welches die Kriterien nicht beachtet.

Die Kriterien sind in Tabelle 2 dargestellt:

Tabelle 2 Frameworks eines gelungen Erklärvideos nach Kulgemeyer (2018a, S.11)

Factors	Feature	Description
Structure	1. Rule-example, example-rule	If the learning goal is factual knowledge, the video follows the rule-example structure If the learning goal is a routine or procedural knowledge, the video follows the example-rule structure
Adaptation	2. Summarising 3. Adaptation to prior knowledge, misconceptions and interest	The video summarises the explanation The video adapts the explanation to a well-described group of addresses and their potential knowledge, misconceptions or interests. To do so, it uses the 'tools for adaptation'
Tools for adaptation	4. Examples 5. Analogies and models 6. Representation forms and demonstrations	The video uses examples to illustrate a principle The video uses analogies and models that connect the new information with a familiar area The video uses representation forms or demonstrations
Minimal explanation	7. Level of language 8. Level of mathematization 9. Avoiding digressions	The video uses a familiar level of language The video uses a familiar level of mathematization The video focuses on the core idea, avoids digressions and keeps the cognitive load low. In particular, it avoids using too many 'tools for adaptation' or summaries
	10. High coherence	The video connects sentences with connectors, especially 'because'
Highlighting relevancy	11. Highlighting relevancy 12. Direct addressing	The video highlights explicitly why the explained topic is relevant to the explainee The explainee is getting addressed directly, e.g. by using the second-person singular instead of the passive voice
Follow-up learning tasks	13. Follow-up learning tasks	The video describes learning tasks the explainees can engage with to actively use the new information after the video
New, complex principles	14. New, complex principle	The video focuses on a new science principle that is too complex to understand by self-explaining, e.g., because there are frequent misconceptions

Zunächst legt Kulgemeyer (2018a) fest, dass analog zu einer Erklärung zunächst eine Struktur des Erklärvideos festgelegt wird. Dabei soll bei einem Erklärvideo, das auf Faktenwissen zielt, zuerst eine Regel gesetzt und dann ein Beispiel gezeigt werden. Bei dem Fokus auf eine Handlung dreht sich die Reihenfolge um. In Anlehnung an die Qualität einer Erklärung sollen in einem Erklärvideo Zusammenfassungen gegeben werden. Unter dem Punkt Adaption legt Kulgemeyer (2018a) fest, dass ein Erklärvideo an das Vorwissen, an Prä-Konzepte und das Interesse der Adressat*innen angepasst werden muss. Dazu werden verschiedene Möglichkeiten zur Adaption vorgestellt, wie: *Die Nutzung von Beispielen, Analogien und Modellen* und die Wahl geeigneter Formen von *Repräsentationen und Demonstrationen* z. B. in Experimenten. Zur Anpassung gehört auch die Nutzung einer geeigneten, *an die Zielgruppe angepassten Sprache* und *Mathematisierung*. Im Rahmen der Erklärung sollen weiterhin *unnötige Ausführungen vermieden werden* und in der Erklärung eine *hohe sprachliche*

Kohärenz erreicht werden. Wie ebenfalls schon im Kapitel zur Qualität der Erklärung (vgl. Kapitel 2.2.1) erwähnt, ist die *direkte Ansprache* der Adressat*innen und die *Nutzung weiterführender Aufgaben* auf Grundlage der Erklärung für ein lernwirksames Erklärvideo relevant. Darüber hinaus sollte ein Erklärvideo nach Kulgemeyer (2018a) die Erklärung *eines neuen komplexen Prinzips* für die Zielgruppe beinhalten.

Wie schon in den Erläuterungen zur Qualität einer Erklärung festgestellt, liegt der Fokus dieser Gestaltungsprinzipien stark auf der adressatengerechten Kommunikation. Dies wird im Folgenden durch Gestaltungskriterien aus der Perspektive der Elementarisierung um den Fokus auf eine insbesondere sachgerechte Gestaltung von Erklärvideos ergänzt.

Zunächst ist festzuhalten, dass ein Erklärvideo *fachlich angemessen* sein muss. Dies folgt aus den Kriterien einer gelungenen Elementarisierung, da ein Video fachlich so vereinfacht sein sollte, dass es noch korrekt und gleichzeitig angemessen für die Zielgruppe ist. Daneben müssen die getroffenen Vereinfachungen eine fachliche Anschlussfähigkeit bieten. Um diesen Aspekt zu berücksichtigen, wird als Gestaltungskriterium *Das Video ist inhaltlich angemessen elementarisiert* in das Modell aufgenommen. Hierdurch wird, wie bereits erwähnt, verdeutlicht, dass der Fokus auf einer fachlichen Perspektive auf das Video liegt. Der im Video vorgestellte Inhalt sollte fachlich vereinfacht, aber nicht komplett inkorrekt sein.

Aus der Perspektive der Elementarisierung folgt für die Struktur des Erklärvideos, dass es dabei auch auf eine inhaltliche Strukturierung ankommt. Nach Muckenfuß (1991) ist damit gemeint, dass eine entwickelte Elementarisierung nicht als Ganzes präsentiert werden sollte, sondern im Lehr-Lernprozess schrittweise aufzubauen ist. Ein lernwirksames Erklärvideo sollte eine solche inhaltliche Sequenzierung aufgreifen. Zu dieser Sequenzierung gehört aus Perspektive der Elementarisierung auch die Nutzung von Zusammenfassungen, wie es auch im Katalog von Kulgemeyer (2018a) aufgeführt wird. Um diesen Überlegungen aus der Perspektive der Elementarisierung gerecht zu werden, wird das Gestaltungskriterium *inhaltliche Strukturierung* im Modell aufgenommen. Damit soll in Anlehnung an Muckenfuß (1991) die sachlogische Strukturierung des Inhalts bei der Gestaltung des Videos bedacht werden. Dabei soll die Frage beantwortet werden, ob das Video so strukturiert ist, dass die Informationen schrittweise und aufeinander aufbauend präsentiert werden, sodass ein erfolgreicher Lernweg ermöglicht werden kann.

Das Kriterium *Adaption an Vorwissen, Prä-Konzepten und Interesse* aus der Liste von Kulgemeyer (2018a) wird der Perspektive der Elementarisierung folgend weiter differenziert: Prä-Konzepte spielen bei einer Elementarisierung als einer Zerlegung in methodische Elemente, also bei ihrem schrittweisen Aufbau, eine wichtige Rolle. Wie jeweils mit ihnen umgegangen werden kann, dazu werden in der Physikdidaktik verschiedene Methoden vorgeschlagen (z. B. Aufgreifen und schrittweise in Richtung

fachlich angemessener Vorstellungen entwickeln, Vermeiden und erst später kontrastieren) (Schecker, Wilhelm, Hopf & Duit, 2018). Um die Relevanz dieses Punktes besonders zu betonen, wurde aus der Oberkategorie *Adaption, Unterpunkt inhaltliche Anpassung* von Kulgemeyer (2018a) daher das *Aufgreifen typischer Prä-Konzepte* herausgelöst und im Modell als eigenes Kriterium aufgeführt.

Die Werkzeuge der Adaption wurden vor allem auf der Ebene der Beschreibung im Gegensatz zu Kulgemeyer (2018a) ergänzt und verändert. Dazu wird der Punkt *Analogien und Modelle* durch die Elementarisierung noch einmal anders betrachtet: Die Betrachtung von Analogien und Modellen aus der Perspektive der Adressatengerechtigkeit wird durch einen fachlichen Blick erweitert: Analogien und Modelle sollen nicht nur genutzt werden, sondern auch inhaltlich so ausgewählt werden, dass sie ausbaufähig und weiter nutzbar sind. Im Framework von Kulgemeyer (2018a), wird dieser Aspekt der Anschlussfähigkeit an weitere Themenfelder weniger stark betont. Diese Überlegungen beziehen sich auch auf die Nutzung von Repräsentationen und Demonstrationen. Ergänzend soll dabei als Heuristik einer Vereinfachung noch auf die Möglichkeiten der Generalisierung und Partikularisierung durch Experimente hingewiesen werden, um den Inhalt für eine bestimmte Zielgruppe zu elementarisieren. Dies wird bei Kulgemeyer (2018a) implizit in der Qualität einer Erklärung vorgegeben, soll hier aber noch einmal einzeln aufgeführt werden, um diese Möglichkeit zu betonen. Dazu wird das Gestaltungskriterium *Darstellungsformen und Demonstrationen* ergänzt. Insgesamt ähneln die Punkte der Werkzeuge der Adaption aus den Gestaltungskriterien nach Kulgemeyer (2018a) den Heuristiken einer gelungenen Elementarisierung, z. B. nach Kircher (2014), Reinhold (2010) und Bleichroth et al. (1999). Unterschiede und Ergänzungen entstehen besonders durch die Verschiebung der Perspektive. Alle Kriterien aus diesem Punkt können einerseits aus einer Perspektive der adressatengerechten Kommunikation betrachtet werden, aber auch aus der Perspektive einer fachlichen Angemessenheit. Die Qualität eines Erklärvideos wird in diesen Kriterien zunächst in der Abwägung zwischen Adressaten- und Sachgerechtigkeit entschieden. Daher sind vor allem die Beschreibungen der Gestaltungskriterien verändert worden.

Fragen der angemessenen medialen Gestaltung des Erklärvideos liegen nicht im Fokus der Gestaltungskriterien nach Kulgemeyer (2018a), sodass einige Ergänzungen vorgenommen werden. Zunächst wird unter dem Oberkriterium der minimalen Erklärung die Beschreibung des Kriteriums *unnötige Exkurse vermeiden* um das Kontiguitätsprinzip nach Mayer (2009) ergänzt.

In den Gestaltungskriterien von Kulgemeyer (2018a) ist bereits festgehalten, was auch Mayer (2009) betont, nämlich eine direkte Ansprache der Zuschauer. Durch Überlegungen aus der Elementarisierung ist entsprechend auch das von Mayer (2009) geforderte Multimediale Prinzip der Segmentierung eines Videos bereits berücksichtigt. Die weiteren Gestaltungsprinzipien der Theorie des multimedialen Lernens nach Mayer

(2009) müssen ergänzt werden. Hierzu wird ein neues Oberkriterium „Mediale Gestaltung“ in das Modell eingeführt. Zunächst wird der von Kulgemeyer (2018a) geforderte Punkt der *direkten Ansprache* übernommen. Ergänzt wird der Punkt durch das in den Gestaltungskriterien nach Mayer (2009) enthaltene Kriterium der *Freundlichen Stimme*. Ein Erklärvideo sollte nach Mayer (2009) auch *Optisch ansprechend* gestaltet sein. Dies bedeutet, dass es zumindest in groben Zügen ästhetischen Anforderungen einer Gestaltung entspricht, wie z. B. symmetrische Bilder und geeignete Auflösung und Komposition der Farben (Plag & Riempp, 2006). Wie von Mayer (2009) gefordert, sollen im Video *Wichtige Informationen werden hervorgehoben* werden. Dies kann im Video durch Einblendungen geschehen. Weiter hinzugefügt werden ausgehend von der Theorie des Multimedialen Lernens, dass *Text und Bild passen zusammen* und das *Gesprochener Text statt geschriebener* angeboten werden, um stets den visuellen und den auditiven Kanal anzusprechen. Dies wird noch einmal explizit betont durch Aufnehmen des Kriteriums: *Angebot verschiedener Wahrnehmungskanäle*. Dieses Kriterium bezieht sich nicht nur auf das Angebot von geschriebenen Texten, sondern auf alle im Erklärvideo präsentierten Informationen. Analog zu den Hinweisen von Mayer (2009) soll *Kein Sprecherbild* vorhanden sein, um den Cognitive Load gering zu halten.

Darüber hinaus wurden die Erläuterungen zu einigen Kriterien ergänzt.

Jede der Perspektiven auf ein lernwirksames Erklärvideo Elementarisierung, Erklärqualität und Theorie der Multimedialen Gestaltung betont, dass die Adressat*innen ein gewisses Maß an Vorwissen besitzen müssen, und dass nur für eine konkrete Gruppe geplant werden kann. Dieser Aspekt wird nicht als eigenes Kriterium im Modell aufgenommen. Es muss vielmehr vorher benannt sein, an welche Gruppe mit welchem Vorwissen sich ein Erklärvideo wenden soll, um es unter Bezug auf das hier entwickelte Modell der Qualität eines Erklärvideos gestalten zu können.

Durch diese Überlegungen wurden die Gestaltungskriterien nach Kulgemeyer (2018) unter Bezug auf die Theorie des Multimedialen Lernens nach Mayer (2009) und der Elementarisierung nach u. a. Bleichroth et al. (1999), Kircher (2014) und Reinhold (2010) wie folgt erweitert:

Tabelle 3 Gestaltungskriterien eines lernwirksamen Erklärvideos

Oberkriterium	Kriterium	Erläuterung
<i>Struktur</i>	Regel-Beispiel oder Beispiel-Regel	Wenn das Lernziel im Bereich des Fachwissens liegt, folgt das Video einer Regel-Beispiel-Struktur. Wenn das Lernziel bei Routinen oder prozeduralen Wissens liegt, folgt das Video einer Beispiel-Regel-Struktur

Oberkriterium	Kriterium	Erläuterung
	Inhaltliche Angemessenheit	Die im Video getätigten Vereinfachungen sind inhaltlich angemessen
	Angemessene Elementarisierung	Die im Video vorgenommenen Elementarisierungen entsprechen den Kriterien einer gelungenen Elementarisierung (Anschlussfähigkeit etc.)
	Inhaltliche Strukturierung	Das Video ist dem Ziel entsprechend inhaltlich strukturiert und segmentiert
	Zusammenfassung	Im Video werden an geeigneten Stellen Zusammenfassungen gegeben
<i>Adaption</i>	Inhaltliche Anpassung an Zielgruppe	Das Video ist an eine bestimmte Zielgruppe angepasst. Dazu gehören angenommener Vorwissensstand, Interesse und unterstellte Prä-Konzepte
	Aufgreifen typischer Prä-Konzepte	Für die angenommene Zielgruppe werden Prä-Konzepte sinnvoll aufgegriffen
<i>Werkzeuge der Adaption</i>	Nutzung von Beispielen	Im Video werden Beispiele zur Verdeutlichung genutzt
	Analogien und Modelle werden angemessen eingeführt und verwendet	Analogien und Modelle werden geeignet ausgewählt. A) Entsprechend der Zielgruppe B) Entsprechend einer inhaltlichen Abwägung
	Darstellungsformen und Demonstrationen	Im Video werden geeignete Darstellungsformen und Experimente genutzt. Dabei können diese das Phänomen generalisieren oder partikularisieren
	Sprachliche Anpassung an die Zielgruppe	Das Video ist sprachlich an die Zielgruppe angepasst
	Schrittweise Einführung einer Mathematisierung	Eine Mathematisierung findet schrittweise statt und wird zuerst durch qualitative und halb-quantitative Aussagen vorbereitet
<i>Minimale Erklärung</i>	Exkurse werden vermieden	Es werden A) keine unnötigen Informationen gegeben, B) keine unnötigen Informationen dargestellt
	Hohe Kohäsion	Die Erklärung weist eine hohe sprachliche Kohäsion auf, z. B. durch den Einsatz von

Oberkriterium	Kriterium	Erläuterung
		Konnektoren
<i>Nachfolgende Lernaufgabe</i>	Nachfolgende Lernaufgabe	Im Video wird eine nachfolgende Aufgabe formuliert, bei der das Gelernte vertieft wird
<i>Neues Prinzip</i>	Neues komplexes Prinzip	Im Video wird ein für die Zielgruppe unbekanntes Phänomen erklärt, welches sie sich nicht selbst erklären können
<i>Relevanz verdeutlichen</i>	Relevanz verdeutlichen	Die Relevanz des Inhalts wird für die Zielgruppe verdeutlicht, z. B. Lebensweltbezug
<i>Multimediale Gestaltung</i>	Direkte Ansprache	Die Zuschauer werden direkt angesprochen, z. B. kein Passiv, sondern die Verwendung von „du“
	Freundliche Stimme	Das Video ist mit einer freundlichen Stimme gesprochen
	Optisch ansprechend	Analogien, Modelle und Animationen im Video sind optisch ansprechend dargestellt
	Wichtige Informationen werden hervorgehoben	Wichtige Informationen im Video werden optisch, z. B. durch Einblendungen, hervorgehoben
	Text und Bild passen zusammen	Text und Bild sind räumlich und zeitlich kohärent
	Gesprochener Text statt geschriebener	Es wird bei komplexen Informationen gesprochener und kein geschriebener Text angeboten
	Angebot verschiedener Wahrnehmungskanäle	Es wird stets mehr als ein Wahrnehmungskanal angesprochen
	Kein Sprecherbild	Es ist kein Sprecherbild vorhanden

Insgesamt wurden so 25 Kriterien zu Erstellung von lernwirksamen Erklärvideos formuliert. Verglichen mit anderen Kategoriensystemen zur Erstellung lernwirksamer Erklärvideos (Brame, 2016; Kulgemeyer, 2018a; Zander et al., 2020), die auf Prinzipien multimedialen Lernens bzw. kommunikationstheoretischen Ansätzen einer lern-

wirksamen Erklärung basieren, liegt die Besonderheit des hier vorgestellten Kategoriensystems in der Zusammenführung dieser Theorien und einer Ergänzung um eine aus dem Konzept Elementarisierung stammenden sachgerechten Perspektive.

2.2.5 Zwischenzusammenfassung

Im Rahmen des Projektes soll die Lernwirksamkeit von Erklärvideos untersucht werden. Hierfür müssen kriteriengeleitet Erklärvideos erstellt werden, die eine bestimmte didaktische Qualität besitzen. Dazu wurde ein Modell mit Gestaltungskriterien für ein solches lernwirksames Erklärvideo entwickelt. Die Besonderheit an diesem Modell ist, dass es verschiedene Perspektiven auf ein Video vereint: die der adressatengerechten Erklärung, der sachgerechten Elementarisierung und die Theorie des Multimedialen Lernens. Diese verschiedenen Perspektiven auf ein Video zeigen dabei insofern Gemeinsamkeiten, als dass es einer bestimmten Zielgruppe ermöglicht werden soll, etwas zu lernen. Sie unterscheiden sich dabei jedoch im Fokus auf das Medium. So rückt die Erklärqualität die adressatengerechte Adaption an eine Zielgruppe in den Mittelpunkt (vgl. 2.2.1). Die Elementarisierung beschäftigt sich vornehmlich mit der sachgerechten Vermittlung von Inhalten (vgl. 2.2.2) und die Theorie des Multimedialen Lernens legt den Fokus auf die multimediale Gestaltung des Videos (vgl. 2.2.3). Im hier vorgestellten Kriterienkatalog (vgl. 2.2.4) wurden diese drei Perspektiven vereint und wechselseitig ergänzt. Die Oberkategorien der Gestaltungskriterien sind: Struktur des Videos, Adaption, Werkzeuge der Adaption, minimale Erklärung, nachfolgende Lernaufgaben, neue Prinzipien, Relevanz verdeutlichen und multimediale Gestaltung. Im Gestaltungsprozess können diese Gestaltungskriterien helfen, die Darstellung des Inhalts und ihre mediale Gestaltung für eine konkrete Zielgruppe festzulegen. Der Erstellungsprozess des in der vorliegenden Studie verwendeten Erklärvideos mithilfe des Modells wird im Kapitel 6.1 konkret beschrieben. Der Prozess orientiert sich an der Erstellung eines professionellen Films (Connelly, 2005; Gilardi, Holroyd, Brownbridge, Waten & Obrist, 2016).

2.3 Einbettung von Erklärvideos in Lehr-Lernumgebungen

Nachdem zunächst beschrieben wurde, wie ein lernwirksames Video gestaltet werden kann, soll nun genauer betrachtet werden, wie mit einem solchen Video lernwirksamer Unterricht geplant und durchgeführt werden kann. Dies schließt sich direkt an die Forderung der Kultusministerkonferenz in ihrem Strategiepapier aus dem Jahr 2016 und die Bewertung dieser Strategie durch die ständige wissenschaftliche Kommission (2021) an: Die Strategie soll neben Qualitätskriterien für digitale Werkzeuge auch ihre mögliche Einbringung in Lehr-Lernprozesse beinhalten und untersuchen. Dazu wird im Folgenden genauer beschrieben, wie mit Erklärvideos Unterricht gestaltet werden kann, aber auch, welche Problemstellen es dabei gibt. Anschließend wird beschrieben,

wie eine Einbringung von Erklärvideos in den Lernprozess ausgehend von Überlegungen zum Flipped Classroom erfolgen kann.

2.3.1 Unterrichten mit Erklärvideos

Von großem Interesse für die pädagogisch didaktische Forschung ist, wie gelungener Unterricht mit digitalen Medien und Werkzeugen geschehen kann (Leutner, Opfermann & Schmeck, 2014). Im Forschungsfeld der Unterrichtsforschung wurden bereits diverse Modelle gelingenden Unterrichts entwickelt. Viel rezipiert werden dabei die Qualitätskriterien nach Meyer (2021) und Helmke (2021). In beiden Modellen spielen neben Klassemanagement und äußeren Umständen vor allem folgende Punkte eine relevante Rolle:

Unterricht soll zunächst kognitiv aktivierend sein. Das heißt, nach Minnameier, Hermkes und Mach (2015) und Helmke (2021), dass Unterricht einem Angebots-Nutzungs-Modell unterliegt und dass nur, wenn das durch die Lehrperson gegebene Angebot den Lernvoraussetzungen und Interessen der Schüler*innen anspricht, durch Unterricht Lernprozesse angeregt werden können (Helmke, 2021). Dieses Angebot ist bei der Nutzung von Erklärvideos das Erklärvideo selbst. Wie ein solches Video gestaltet werden kann, wurde bereits im Kapitel 2.2.4 genauer erläutert. Neben der kognitiven Aktivierung durch das Produkt selbst kann eine kognitive Aktivierung aber auch durch die Einbettung von digitalen Werkzeugen in den Unterricht erfolgen. Möglichkeiten zur Einbettung von Erklärvideos werden in Kapitel 2.3.2 und 2.3.4 beschrieben.

Andere Punkte der Unterrichtsqualität sind insbesondere die Adaptivität an eine Lerngruppe und sogar an einzelne Lernende und die Interaktivität von Unterricht (Helmke, 2021; Meyer, 2021). Dies sind Aspekte, die nach Leutner et al. (2014) besonders digitale Medien und Werkzeuge ausmachen. Diese beiden Aspekte sollen im Folgenden genauer auf Erklärvideos bezogen werden.

Adaptivität von Unterricht bedeutet nach Helmke (2021) zunächst, Unterricht in Hinblick auf eine homogene Lerngruppe so zu planen, dass er möglichst auf individuelle Bedürfnisse der Schüler*innen eingeht. Dies kann z. B. durch Binnendifferenzierungen gelingen. Durch die Möglichkeiten von digitalen Medien können diese dabei unterstützend wirken. Das Ziel der Adaption ist es, ein *Flow*-Erleben für jeden Lernenden zu erreichen. Nach Csikszentmihalyi (1985) gibt es eine Ebene der Motivation, an der ein Lernerlebnis in sich selbst aufgeht. Dieses *Flow*-Erleben wird erreicht, wenn neue Lerninhalte und Aufgaben genau in der Zone der nächsten Entwicklung des Lernenden liegen (Csikszentmihalyi, 1985). Wird diese Ebene erreicht, steigt beim Lernenden die intrinsische Motivation, sich mit den neuen Herausforderungen zu beschäftigen (Csikszentmihalyi, 1985).

Gelungene digitale Medien ermöglichen nach Leutner et al. (2014) eben diese Adaptivität. Diese kann durch unterschiedliche Möglichkeiten erreicht werden: Einerseits gibt es Medien, wie H5P Präsentationen, die auf der Grundlage von Rückmeldungen der Schüler*innen den Inhalt anpassen (Singleton & Charlton, 2019) und auf der anderen Seite gibt es Erklärvideos, die in sich weitgehend festgelegt sind. Die Adaptivität von Erklärvideos im Unterricht macht nun aus, dass die Schüler*innen die Wiedergabe des Inhalts an ihre Bedürfnisse anpassen können. Die Schüler*innen können durch Anhalten bzw. Vor- und Zurückspulen selbst entscheiden, welche Aspekte des Erklärvideos für sie relevant sind und wie (oft) sie diese im Unterricht rezipieren wollen. Dies soll im Folgenden unter dem Aspekt der Interaktivität genauer betrachtet werden. Dabei wird zunächst vorausgesetzt, dass ein Erklärvideo in einer idealtypischen Situation eingesetzt wird, bei der jede Rezipient*in über ein eigenes Endgerät verfügt.

Der zweite, für digitale Medien und Werkzeuge nach Leutner et al. (2014) relevante Aspekt ist die Interaktionsmöglichkeit mit diesen Medien. Interaktionsmöglichkeiten sind zunächst nach Meyer (2021) und Helmke (2021) ein relevantes Merkmal eines gelungenen Unterrichts. Durch Interaktion mit anderen Schüler*innen, Lehrer*innen und Medien können Lernprozesse angeregt werden. Klassische Medien wie (Schul-)Bücher bieten nur eine geringe Möglichkeit zur Interaktion. Mit entsprechend gestalteten digitalen Werkzeugen können verschiedene Arten der Interaktion erreicht werden. Zunächst ist es in bestimmten Anwendungen möglich, das Medium an sich zu manipulieren. Ein Beispiel hierfür sind Simulationen, bei denen die Schüler*innen durch ihre Einstellungen und ihr Handeln das Ergebnis verändern können. Erklärvideos ermöglichen eine andere Art der Interaktion. So können Rezipient*innen von Erklärvideos typische Handlungen durchführen, wie Vor- und Zurückspulen, Pausieren und Wiederfortsetzen. Durch diese Interaktionsmöglichkeiten mit Erklärvideos können Inhalte wiederholt geschaut oder übersprungen werden. Somit haben die Adressat*innen eines Erklärvideos selbst die Möglichkeit festzulegen, welchen Aspekt eines Video sie fokussieren wollen.

Nach diesen Überlegungen zur Adaptivität und Interaktivität soll nun diskutiert werden, wie Erklärvideos konkret im Unterricht eingesetzt werden können. In den bisherigen Überlegungen wird ein Erklärvideo von einer Expert*in erstellt und von den Lernenden rezipiert. Eine weitere Möglichkeit nach Kulgemeyer und Wolf (2016) ist die Produktion von Erklärvideos durch Schüler*innen. Produzieren Lernende Erklärvideos für andere Lernende, können nach Kulgemeyer und Wolf (2016) zwei Lernziele verfolgt werden. Einerseits kann Erlerntes als Peer-Tutorial an andere Lernende weitergegeben und andererseits kann bei der Erstellung von Erklärvideos auch die Kommunikationskompetenz dieser Lernenden gesteigert werden. Die Erstellung digitaler Werkzeuge durch Schüler*innen kann für Lehrer*innen aber auch eine diagnostische Funktion einnehmen. Auf diese Weise können Lehrer*innen erfassen, welche Inhalte

von den Schüler*innen hinreichend gut erklärt und damit auch verstanden worden sind (Kulgemeyer & Wolf, 2016).

Nachdem der Einsatz digitaler Werkzeuge und Medien aus Perspektive der Unterrichtsqualität betrachtet wurde, sollen nun exemplarisch drei problematische Aspekte des Einsatzes von digitalen Medien, insbesondere von Erklärvideos, im Unterricht beschrieben werden. Dabei werden für die einzelnen Aspekte auch Lösungsvorschläge skizziert.

Zunächst sind Erklärvideos eine neue Lernform. Bei neuen Medien und Methoden kann es stets zu einem Neuigkeitseffekt beim Lernen kommen (Mandl & Aemilian, 1989). Das heißt, dass etwaige positive Effekte auf Motivation und Lernzuwachs bei der Nutzung von Erklärvideos nicht durch das Medium selbst erklärt werden können, sondern hauptsächlich durch die Neuigkeit des Mediums an sich entstehen (Mandl & Aemilian, 1989). Im Rahmen von Erklärvideos kann dieser Effekt von zwei Seiten diskutiert werden. Einerseits sind Erklärvideos ein zunächst neues Medium, dessen Nutzung in Unterricht und Lehre noch nicht lange vorherrscht, andererseits sind nach Schwartz (2014) viele Lernende an das Medium gewöhnt und nutzen es zur eigenen Vor- und Nachbereitung von Unterricht und Lehrveranstaltungen.

Ein weiteres, bei Kulgemeyer (2018b), Kulgemeyer und Wittwer (2022) und Schwartz (2014) beschriebenes Problem von Erklärvideos ist die Verstehensillusion. Die Adressat*innen eines Erklärvideos schauen sich dieses an und entwickeln das Gefühl, den Inhalt verstanden zu haben, und beenden daraufhin die Auseinandersetzung mit dem Erklärvideo (Kulgemeyer & Wittwer, 2022). Jedoch zeigt sich im Nachhinein, dass die Erklärung nur vordergründig verstanden und ein tiefes Verständnis des Erklärten nicht erreicht wurde (Kulgemeyer, 2018b). Dies kann erst durch eine aktive Beschäftigung mit den erklärten Inhalten erreicht werden (Kulgemeyer, 2018b). Dem kann durch eine kognitiv aktivierende Gestaltung des Videos, aber auch durch eine aktivierende Einbettung in den Unterricht, entgegengewirkt werden. Somit kann sowohl durch die Gestaltung als auch durch die Einbettung in den Unterricht das Auftreten einer Verstehensillusion verhindert werden.

Bei der Nutzung von Erklärvideos kann es nach Wolf (2015a) weiterhin zu einer sogenannten *Lean-Back-Mentalität* kommen. Informationen werden durch Erklärvideos so aufbereitet, dass zunächst keine aktive Handlung bei den Lernenden erforderlich ist. Erst durch eine Einbindung von Erklärvideos in einen Lernprozess werden Lernende aufgefordert, aktiv mit den neuen Informationen umzugehen (Wolf, 2015a). Dazu sollen im nächsten Kapitel Überlegungen zur Einbindung von Erklärvideos in den konkreten Unterrichtshergang angestellt werden.

2.3.2 Gestaltung von Unterricht mit Erklärvideos

Nachdem beschrieben wurde, welche Vorteile, Herausforderungen und Möglichkeiten ein Unterricht mit Erklärvideos bieten kann, soll im Folgenden konkreter auf die Einbettung von Erklärvideos in eine Unterrichtsstruktur eingegangen werden. Dazu wird exemplarisch beschrieben, wie Lernprozesse z. B. nach Oser und Patry (1994) ablaufen können. Anschließend werden verschiedene Einbindungsformen, die in der Literatur unter dem Sammelbegriff *Blended Learning* diskutiert werden, betrachtet. Dazu zählen zeitlich synchrone und asynchrone Ansätze, wie z. B. *Flipped Classroom*.

Zunächst soll zur Einbindung von Erklärvideos in den Unterricht ausgehend von Oser und Patry (1994) zwischen einer Tiefenstruktur und einer Sichtstruktur unterschieden werden.

Die Tiefenstruktur ist der unsichtbare Teil des Lernens. Es sind die Prozesse, die bei einem Lernenden durchlaufen werden müssen, um zu lernen. Oser und Patry (1994) formulieren dazu zwölf typische Abläufe. Die Abläufe sind abhängig vom geplanten Lernziel. Das Lernziel legt somit die Auswahl des Ablaufs fest. Die einzelnen Abläufe werden Basismodelle genannt und unterteilen sich nach Oser und Patry (1994) in sogenannte Handlungskettenschritte. Die Basismodelle mit ihren Handlungskettenschritten müssen den Autoren zufolge im Lernprozess stets vollständig und in der vorgegebenen Reihenfolge durchlaufen werden. Diese Tiefenstruktur muss – im Kopf des Lernenden – realisiert werden, um Lernen zu ermöglichen (Oser & Patry, 1994). Mit welchen methodischen Werkzeugen die Handlungskettenschritte realisiert werden, ist die freie Wahl der Lehrkraft. Hier zeigt sich durch Methoden, Sozialformen und Medien dem Beobachter eine Struktur, die sogenannte Sichtstruktur. Oser und Patry (1994) erläutern dies anhand der Analogie eines Tänzers. Ein Tänzer kann den ihm gegebenen Raum (Sichtstruktur) frei nutzen, muss sich jedoch an den Takt der Musik (Tiefenstruktur) halten.

Erklärvideos können auf verschiedene Weise in Basismodelle eingebunden werden. Zunächst können Erklärvideos, die ein bestimmtes Lernziel verfolgen, nach einem bestimmten Basismodell gestaltet werden. Diese Möglichkeit ist bereits im vorgestellten Modell der Qualität eines Erklärvideos (vgl. Kapitel 2.2.4) angelegt. Bei der Gestaltung eines Erklärvideos soll eine inhaltliche Sequenzierung angelegt werden. Diese Sequenzierung kann sich an ein Basismodell anlehnen. Eine Alternative dazu bildet die Möglichkeit, ein Erklärvideo in ein bestimmtes Basismodell einzubinden. Dabei kann mit einem Erklärvideo im Unterricht ein Handlungskettenschritt gestaltet werden. Zusätzlich dazu sind auch verschiedene Mischformen denkbar.

Nach Krabbe, Zander und Fischer (2015) sind für den Physikunterricht drei Basismodelle besonders relevant: Lernen durch Eigenerfahrung, Konzeptbildung und Problemlösen. Dabei ist die Auswahl des geeigneten Basismodells von der Auswahl des Lernziels abhängig (Oser & Patry, 1994). Im Folgenden werden diese drei Basismodelle

kurz vorgestellt und Möglichkeiten, wie Erklärvideos als Unterstützung einzelner Handlungskettenschritte genutzt werden können, kurz erläutert.

Steht ein entdeckendes Lernen im Mittelpunkt des Physikunterrichts, so bietet sich nach Wiesner, Schecker und Hopf (2011) die Auswahl des Basismodells *Lernen durch Eigenerfahrung* an. Das Ziel dieses Basismodells ist die Möglichkeit des Erfahrungslernens. Dabei werden folgende Schritte durchlaufen (Wiesner et al., 2011):

Tabelle 4 Basismodell Lernen durch Eigenerfahrung (Wiesner et al., 2011)

Handlungskettenschritte – Lernen durch Eigenerfahrung
Klärung des Untersuchungsziels
Planung der Aktivität
Durchführung
Austausch ähnlicher Erfahrungen
Vergleich mit dem physikalischen Erkenntnisstand

Erklärvideos können im Rahmen dieses Basismodells den Unterricht besonders im letzten Handlungskettenschritt unterstützen. Ein Erklärvideo kann für den Vergleich den *physikalischen Erkenntnisstand* liefern, beispielsweise indem das durchgeführte Experiment und sein Ergebnis aus fachlicher Sicht in einem Erklärvideo dargestellt werden. In den anderen Handlungskettenschritten steht vor allem die eigene Erfahrung des Lernenden im Mittelpunkt (Wiesner et al., 2011). Diese Erfahrungen sollten nicht durch ein Erklärvideo vorweggenommen werden.

Das Basismodell *Konzeptbildung* soll nach Krabbe et al. (2015), Wackermann (2008) und Oser und Patry (1994) insbesondere neue kognitive Strukturen bilden und helfen, komplexe Ideen zu verstehen. Das Minimalziel dieses Basismodells ist es, Wissen über ein Konzept aufzubauen und das Maximalziel ist es, ein Konzept flexibel anzuwenden. Im Rahmen des Basismodells werden folgende Handlungskettenschritte durchlaufen (Krabbe et al., 2015):

Tabelle 5 Basismodell Konzeptbilden (Krabbe et al., 2015)

Handlungskettenschritte - Konzeptbildung
Bewusstmachen des Vorwissens
Durcharbeiten eines Prototyps
Beschreibung der wichtigen Merkmale des neuen Konzepts
Aktiver Umgang mit dem Konzept
Anwendung des Konzepts in anderen Kontexten

Betrachtet man die Ziele und Handlungskettenschritte des Basismodells Konzeptbildung, so ergibt sich eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Ziel eines Erklärvideos, dass eine Person befähigt werden soll, ein Konzept zu verstehen (Wolf, 2015). Eine Mög-

lichkeit eine geeignete Sequenzierung eines Erklärvideos zu erreichen, ist damit die Nutzung des Basismodells Konzeptbildung. Die Handlungskettenschritte *Aktiver Umgang mit dem Konzept* und *Anwendung des Konzepts in anderen Kontexten* kann dabei durch im Erklärvideo vorgegebene Aufgaben erreicht werden.

Möchte man ein Erklärvideo in einem Unterrichtsverlauf innerhalb des Basismodells Konzeptbildung nutzen, so eignen sich insbesondere die Handlungskettenschritten *Durcharbeiten eines Prototyps* und *Beschreibung der wichtigen Merkmale des neuen Konzepts*. Da der Aufbau neuer Begriffe und Eigenschaften des Prototyps nach Krabbe et al. (2015) häufig durch eine Lehrkraft als Mitglied der *Scientific Community* mit einer bestimmten Autorität erfolgt, kann dies durch ein Erklärvideo übernommen werden. Der Vorteil des Erklärvideos ist, dass dieser Schritt stärker individualisiert stattfinden kann. Die bei Krabbe et al. (2015) vorgeschlagenen schriftlichen oder mündlichen Anleitungen zur Durcharbeitung von Prototypen und der Beschreibung der wichtigen Merkmale des neuen Konzepts können dabei sehr gut durch ein Erklärvideo ersetzt werden. Auch bei der *Bewusstmachung des Vorwissens* kann ein Erklärvideo unterstützend, als Form der Wiederholung, wirken. Die beiden letzten Handlungskettenschritte erfordern einen aktiven Umgang mit einem Thema, bei der ein Erklärvideo eher als Hilfestellung angeboten werden könnte und nicht als immanenter Teil der Verlaufsplanung. Das Basismodell Problemlösen hat nach Krabbe et al. (2015) das Ziel, bereits vorhandenes Wissen miteinander zu verknüpfen und von einem Startzustand zu einem Zielzustand zu gelangen. Die passenden Handlungskettenschritte nach Oser und Patry (1994) sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6 Basismodell Problemlösen (Krabbe et al., 2015)

Handlungskettenschritte - Problemlösen
Problem verstehen
Entwicklung von Lösungswegen
Testen von Lösungswegen
Evaluation und Anwendung der Lösungen

Insbesondere beim Handlungskettenschritt *Problem verstehen* kann ein Erklärvideo unterstützend im Unterricht wirken. Ein Erklärvideo kann helfen, ein Problem noch einmal anders darzustellen und das Problem zu verdeutlichen. Die Lernenden erhalten so einen anderen Blickwinkel auf das Problem. Auch kann es bei fehlendem Wissen, wenn das Video nach dem Basismodell Konzeptbilden gestaltet ist, in den Verlauf eingebracht werden, um etwaige Wissenslücken zu schließen. In den nachfolgenden Handlungskettenschritten sind kreative Leistungen und die Verknüpfung von Wissen besonders relevant. Hier können Erklärvideos nur als Hilfestellung dienen. Die Schritte der drei vorgestellten Basismodelle sind noch einmal in Tabelle 7 dargestellt. In rot sind die Stellen markiert, an denen eine Unterstützung durch Erklärvideos möglich ist:

Tabelle 7 Zusammenfassung der Handlungskettenschritte der Basismodelle, schwarz: Möglichkeiten des Einsatzes von Erklärvideos

Lernen durch Eigenerfahrung	Konzeptbildung	Problemlösen
Klärung des Untersuchungsziels	Bewusstmachen des Vorwissens	
Planung der Aktivität	Durcharbeiten eines Prototyps	Problem verstehen
Durchführung	Beschreibung der wichtigen Merkmale des neuen Konzepts	Entwicklung von Lösungswegen
Austausch ähnlicher Erfahrungen	Aktiver Umgang mit dem Konzept	Testen von Lösungswegen.
Vergleich mit dem physikalischen Erkenntnisstand	Anwendung des Konzepts in anderen Kontexten	Evaluation und Anwendung der Lösung

2.3.3 Synchrone und asynchrone Einbettung von Erklärvideos

Zunächst wurde aus einer klassischen Unterrichtsplanungsperspektive die Einbettung von Erklärvideos in den Unterricht, z. B. Unterricht anhand der Basismodelltheorie nach Osers, beschrieben. Nun sollen diese fachdidaktischen Überlegungen durch medienpädagogische Überlegungen zur Nutzung digitaler Werkzeuge im Unterricht ergänzt werden. Dafür werden zunächst zwei verschiedene Möglichkeiten vorgestellt, Erklärvideos für den Unterricht zu nutzen. Anschließend soll ein Rückbezug auf die Basismodelle stattfinden und eine Verknüpfung ermöglicht werden.

Die aktuelle Diskussion, wie mit digitalen Medien im Unterrichtsverlauf umgegangen werden kann, bezieht sich vor allem auf ihre zeitliche Nutzung in Bezug auf den Präsenzunterricht. Nach Hrastinski (2019) haben sich im Groben unter dem Begriff *Blended Learning* zwei Möglichkeiten herauskristallisiert: der zeitliche synchrone Einsatz als Unterstützung zur Bearbeitung von Aufgaben und der zeitlich asynchrone Einsatz zur Vorbereitung des Unterrichts als Element des *Flipped Classrooms*. Durch diese Überlegungen lassen sich die historisch als Gegenpol betrachteten klassischen Medien und die digitalen Werkzeuge miteinander verbinden.

Zunächst soll das Konzept des *Flipped Classrooms* nach Awidi und Paynter (2019) Finkenberg (2018) und auch Lo, Hew und Chen (2017) vorgestellt werden.

Bevor dieses Konzept vorgestellt wird, wird zunächst der Begriff des Unterrichts im *Flipped Classroom* genauer beschrieben. In der Theorie des *Flipped Classrooms* besitzt Unterricht zwei Teile: Einen selbstlernenden, dem Unterricht vorgelagerten Teil und einen in Präsenz stattfindenden Unterrichtsteil (Awidi & Paynter, 2019; Finkenberg, 2018; Lo et al., 2017). Ein Erklärvideo kann den Part der Instruktion vor der Prä-

senszeit übernehmen. Die Idee des *Flipped Classrooms* geht nach Finkenberg (2018) auf das Jahr 1999 zurück. Nach Weiß und Friege (2021) erfreut sich der *Flipped Classroom*, einer Analyse der Google Trends nach zu urteilen, einer steigenden Beliebtheit. Auch in der Forschung stieg die Anzahl der Publikationen von 18 im Jahr 2012 auf 844 im Jahr 2020 (Weiß & Friege, 2021). Ursprünglich wurde der *Flipped Classroom* für die Hochschullehre entwickelt. Die Idee besagt, dass die Schritte der Instruktion, die nicht in aktiver Handlung durchgeführt werden, aus dem Unterricht ausgelagert werden (Finkenberg, 2018). Im Unterricht selbst sollen die Lernenden dann insbesondere Aufgaben bearbeiten, Experimente durchführen und die Möglichkeit zum Transfer des Wissens erhalten. Dadurch, dass die Instruktion, häufig eine Erklärung (Awidi & Paynter, 2019), aus dem Präsenzunterricht herausgenommen wurde, kann die Lehrer*in in den Präsenzphasen des Unterrichts selbst mehr auf individuelle Lernpfade eingehen und den Lernprozess der Schüler*innen durch Hilfestellungen begleiten (Lo et al., 2017).

Als besonders relevant für das Gelingen von *Flipped Classrooms* ist u. a. nach Awidi und Paynter (2019), Finkenberg (2018), Frei et al. (2020), Lo und Hew (2017) und Weiß und Friege (2021) die Umsetzung der Instruktionsphase. Hier stellen sich für die Gestaltung eines Unterrichtsverlaufs im Sinne des *Flipped Classrooms* auch die größten Herausforderungen (Finkenberg, 2018). Zunächst muss es den Lehrer*innen gelingen, dass sich die Schüler*innen intensiv mit der Vorbereitung auf die Präsenzphasen beschäftigen. Es reicht in den meisten Situationen nicht, sich z. B. das Erklärvideo einmalig anzuschauen. Um dies sicherzustellen, nutzen einige *Flipped Classroom* Designs ein Assessment mittels Klassenraum Quiz (Finkenberg, 2018; Lo et al., 2017). Darauf aufbauend muss für die Schüler*innen klarwerden, was der relevante Inhalt des Erklärvideos ist. Dies kann durch Betrachtungsaufträge durch die Lehrer*in geschehen (Finkenberg, 2018). Ohne diese Aufträge müssten die Lernenden die Inhalte der nächsten Präsenzphase antizipieren (Weiß & Friege, 2021). Weiterhin haben die Lernenden keine Möglichkeit direkt Nachfragen zum Thema zu stellen. Diese müssen notiert werden und können erst in der Präsenzphase besprochen werden. Dies überfordert die Lernenden möglicherweise (Weiß & Friege, 2021). Zusätzlich kann die Auswahl und Gestaltung von Erklärvideos oder anderen digitalen Medien für die Lehrkraft zeitintensiv sein und nicht alle Lernenden verfügen zu Hause über entsprechende Endgeräte zum Nutzen des Angebots (Weiß & Friege, 2021).

Zusammenfassend ist der zeitliche Ablauf eines solchen *Flipped Classrooms* in Abbildung 6 dargestellt:

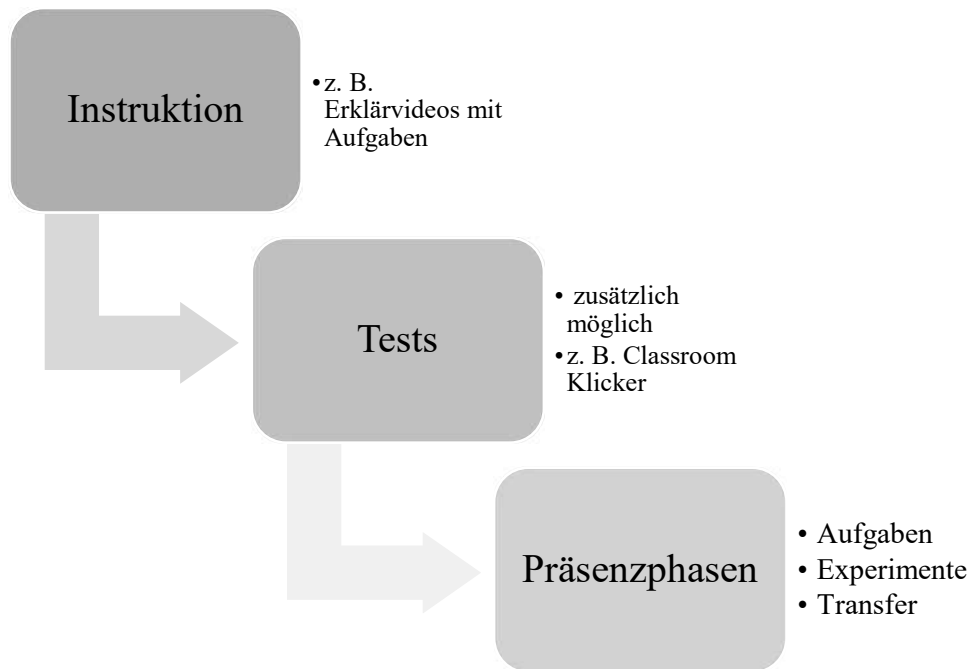


Abbildung 6 Ablauf des Flippedclassrooms nach Finkenberg (2018)

Eine ebenfalls aus der aktuellen Forschung (Hrastinski, 2019; Köhne, 2006) stammende Alternative dazu ist die Nutzung digitaler Werkzeuge während der Präsenzzeit, also ein zeitlich synchroner Einsatz digitaler Werkzeuge.

Der zeitliche synchrone Einsatz z. B. eines Erklärvideos schließt sich direkt an die Erläuterung der Nachteile des *Flipped Classroom* an. Zunächst ist ein Erklärvideo, wenn es im Unterricht synchron zu einer Aufgabe oder einem Experiment genutzt wird, konkret mit einem Inhalt verknüpft. Das heißt, die Lernenden können sofort erkennen, was die relevanten Aspekte des Videos sind und können diese direkt auf ihre Aufgaben etc. übertragen. Weiterhin haben die Lernenden die Möglichkeit, direkt Fragen zum Video zu stellen und mit der Lehrer*in auf konkrete Szenen einzugehen. Durch die direkte Anbindung an einen Lerninhalt müssen nicht zwangsläufig Betrachtungsaufträge für ein Video formuliert werden. Häufig sind diese bereits in der im Unterricht zu bearbeitenden Fragestellung erhalten. Im Idealfall werden dabei die Erklärvideos für jeden Lernenden individuell zur Verfügung gestellt. Damit ist gesichert, dass die Lernenden sich ein Video nach individuellen Bedürfnissen anschauen können. Der Einsatz des Erklärvideos verläuft hier analog zum Einsatz von Hilfekarten. Der Vorteil eines Erklärvideos gegenüber anderen Hilfestellungen liegt in den bereits beschriebenen Interaktionsmöglichkeiten, der Möglichkeit eine differenziertere Auswahl von Erklärvideos zu treffen und der Ansprache mehrerer Sinneskanäle.

Jedoch ist auch die synchrone Einbindung von Erklärvideos in den Unterricht mit Problemen verbunden. Zunächst sind viele Schulen und Universitäten nicht für den anfallenden technischen Bedarf an Endgeräten und Internetempfang ausgerüstet. Damit ein flächendeckender Einsatz von digitalen Medien in synchronen Umgebungen

funktionieren kann, muss für die meisten Lernenden ein Gerät und Internetempfang vorhanden sein. Eine Präsentation von Erklärvideos vor dem Klassenverbund raubt dem Video oder anderen digitalen Werkzeugen eben jenen Vorteil, dass sie individuell auf die Bedürfnisse des Lernenden zugeschnitten genutzt werden können. Weiterhin ermöglicht ein synchroner Einsatz von Erklärvideos im Präsenzunterricht im Vergleich zum *Flipped Classroom* weniger aktive Unterrichtszeit. Eine synchrone Darbietungsform orientiert sich eher an klassischen Unterrichtsverläufen.

Nachdem nun zwei neue Möglichkeiten der Unterrichtsgestaltung mit digitalen Medien vorgestellt wurden, sollen diese beiden Möglichkeiten aus der Sicht der Basismodelltheorie nach Oser betrachtet werden. Dies soll exemplarisch am Basismodell *Konzeptbildung* erfolgen, da in der Diskussion der Basismodelle aufgezeigt wurde, dass hier die meisten Möglichkeiten der Anbindung von digitalen Medien, insbesondere Erklärvideos bestehen.

In einem *Flipped Classroom* Ansatz würde das Basismodell *Konzeptbildung* in zwei Phasen aufgeteilt werden: Einer Instruktionsphase vor dem Präsenzunterricht und dem Präsenzunterricht selbst. Die Handlungskettenschritte *Bewusstmachen des Vorwissens*, *Vorstellen des Prototyps* und *Durcharbeiten des Prototyps* würden mithilfe eines Videos, welches nach diesen Handlungskettenschritten gestaltet wurde, vor dem Unterricht erfolgen. Dabei wäre es notwendig, entsprechende Betrachtungsaufträge vorzugeben, um die Lernenden auf das Ziel und die spätere Anwendung des Konzepts zu fokussieren. Im Unterricht selbst würde dann der *aktive Umgang mit dem neuen Konzept* und der *Transfer auf andere Situationen* im Mittelpunkt stehen.

Bei einem synchronen Einsatz von Erklärvideos, strukturiert im Sinne des Basismodells *Konzeptbildung*, stellt ein Erklärvideo entweder eine Hilfestellung dar, die in den einzelnen Handlungskettenschritten des Basismodells eingesetzt werden kann, oder es wird ebenfalls in Anlehnung an die Handlungskettenschritte geplant und übernimmt die gleiche Aufgabe wie im *Flipped Classroom*. Der Unterschied in beiden Einsatzformen liegt demnach vornehmlich in der zeitlichen Auflösung: In einem asynchronen Einsatz werden bestimmte Handlungskettenschritte aus dem Präsenzunterricht herausgezogen, so dass die Lernenden während der Kontaktzeit mit der Lehrer*in die Möglichkeit haben, in Begleitung den aktiven Umgang mit dem Konzept weiter einzuüben. Dabei muss den Lernenden schon im Vorhinein klar sein, welche Informationen besonders relevant sind. Im Falle des synchronen Einsatzes kann ein Erklärvideo entweder eine Hilfestellung in einem Handlungskettenschritt darstellen oder auch Handlungskettenschritte übernehmen. Dies geschieht jeweils im Präsenzunterricht selbst. Somit wird, anders als im Setting *Flipped Classroom* nicht mehr Zeit für den aktiven Umgang mit dem neuen Konzept während der Kontaktphasen mit der Lehrer*in geschaffen.

2.3.4 Zwischenzusammenfassung

Im Zuge der Bewertung der Strategie „Bildung in einer digitalen Welt“ durch die ständige wissenschaftliche Kommission (2021) wurde formuliert, dass neben Qualitätskriterien für digitale Werkzeuge auch eine mögliche Einbringung in Lehr-Lernprozesse untersucht und beachtet werden sollte. Zunächst wurde für weitere Überlegungen angenommen, dass ein qualitativ hochwertiges Erklärvideo mit einer entsprechenden kognitiven Aktivierung vorliegt. Ausgehend von Merkmalen der Unterrichtsqualität nach Meyer (2021) und Helmke (2021) kann festgestellt werden, dass digitalen Medien, wenn sie Möglichkeiten der Interaktion und Adaption beinhalten, zur Unterrichtsqualität beitragen. Eine solche Möglichkeit stellt bei Erklärvideos das gezielte Abspielen von Videosequenzen durch Vor- und Zurückspulen oder Pausieren dar. Dadurch kann ein Video ganz nach individuellen Bedürfnissen des Lernenden angeschaut werden.

Zur Einbettung von Erklärvideos und anderen digitalen Medien in den Unterricht und die Lehre wurde die Basismodelltheorie nach Oser herangezogen. Es wurde dargelegt, dass Erklärvideos mehrere zusammenhängende Handlungskettenschritte eines Basismodells oder einzelne Handlungskettenschritten erzeugen können.

In der Forschung zu Erklärvideos und anderen digitalen Werkzeugen werden zusätzlich synchrone und asynchrone Formen der Einbettung in Unterricht diskutiert. Hierbei wird ein Erklärvideo entweder vor (asynchron) dem Präsenzunterricht oder während des Präsenzunterrichts (synchron) genutzt. Eine asynchrone Nutzung, im *Flipped Classroom*, wird damit begründet, dass die Instruktion oder nach Oser die Vorstellung und Durcharbeitung eines Prototyps in Heimlehre geschehen kann und die Kontaktzeit mit der Lehrer*in für einen besonders aktiven Umgang mit dem neu gelernten Inhalt eingesetzt wird. Damit ist das Problem verbunden, dass den Lernenden im Vorfeld klar sein muss, welche Informationen für den anschließenden Präsenzunterricht relevant sind. Daraus ergibt sich der Vorteil des synchronen Einsatzes von Erklärvideos. Zwar wird dadurch keine weitere aktive Unterrichtszeit geschaffen, allerdings brauchen die Lernenden auch nicht die relevanten Inhalte zu antizipieren, da Erklärvideos oder andere digitale Werkzeuge unmittelbar auf die konkreten Aufgaben oder Fragestellungen des Unterrichts bezogen werden können.

3 Empirische Befunde zur Wirkung und zum Einsatz von Erklärvideos

Erklärvideos sind bereits häufiger direkt oder indirekt Gegenstand der empirischen Lehr-Lernforschung gewesen. Direkt bedeutet in diesem Zusammenhang, dass explizit die Wirkung von Erklärvideos auf Lernzuwachs, Motivation und ähnliches untersucht wurde. Indirekt wurden Erklärvideos bei der Erforschung von z. B. *Flipped Classroom* Umgebungen genutzt. Hierbei übernahmen Erklärvideos häufig den Part der Instruktion im Vorlauf des Unterrichts. Das nachfolgende Kapitel gibt einen Überblick über den aktuellen Stand zur Forschung an und mit Erklärvideos und der Forschung an *Flipped Classroom*, also zu asynchronen und synchronen Einsatzformen. Dazu wird zunächst ein Blick auf die Forschung an Erklärvideos geworfen und anschließend die Forschung z. B. zum *Flipped Classroom* beschrieben. Daraufgehend werden aus den Überlegungen zur Qualität eines Erklärvideos (siehe Kapitel 2.2), den möglichen Einsatzformen (siehe Kapitel 2.3) und dem aktuellen Stand der Forschung die Forschungsfragen für diese Arbeit formuliert.

3.1 Forschung an Erklärvideos

Nachfolgend soll ein Überblick zur Forschung an Erklärvideos gegeben werden, der sich an der historischen Entwicklung orientiert. Dazu werden Metastudien genutzt, die sowohl die Anfangsphase der Erklärvideoforschung abdecken (Kay, 2012) als auch die aktuelle Forschungsdiskussion aufgreifen (Findeisen, 2019). Ergänzt wird dies durch Studien, die nicht durch die Metastudien abgebildet sind.

Die Anfänge der Forschung zu Erklärvideos können mit dem Beginn der Verbreitung von Videoplattformen, wie YouTube, zu Beginn des 21. Jhd. gleichgesetzt werden. In einer Metastudie von 2012 untersucht Kay (2012) verschiedene Studien zu Erklärvideos. Die Metastudie besitzt eine große Datenbasis von 53 Studien zu Erklärvideos von 2002 bis 2011. Der Studie liegt dabei ein breites Verständnis von Erklärvideos zugrunde. Erklärvideos werden im Rahmen der Metastudie als *Video Podcasts* bezeichnet und beinhalten eine wie auch immer gestaltete videographierte Erklärung, die in ihrer Länge nicht begrenzt ist. Die Studie greift so auf vier Typen von Videos zurück: Aufnahme von gesamten Lehrveranstaltungen, Erklärvideos, die ein immanenter Teil von Lehr-Lerndesigns sind, zusätzliche Angebote von Erklärvideos zu bestehenden Lehr-Lerndesigns und *Worked Examples*. Insbesondere *Worked Examples* entsprechen der in dieser Arbeit vorliegenden Beschreibung von Erklärvideos, als kurzes Video, in dem ein Konzept oder eine Handlung erklärt werden. Im Folgenden sollen die Datengrundlage und die Ergebnisse der Metastudie genauer beschrieben werden: Aus den $N = 53$ Studien konnten sechs verschiedene Fokuse identifiziert werden: Die allgemeine Nutzung ($N = 30$), Medienvergleiche ($N = 11$), Qualitätsuntersuchungen von Erklärvideos ($N = 5$), Literatur Reviews ($N = 3$), Entwicklung von Vi-

deos ($N = 2$) und Videopädagogik ($N = 1$). In den Studien wurden dabei verschiedene Zielvariablen untersucht: Einstellung gegenüber den Videos ($N = 33$), Verhalten bei der Videobetrachtung ($N = 28$), Lernleistungen und Lernzuwachs ($N = 41$). Von den Studien verfolgten 14 Studien einen quantitativen Ansatz, neun betrachteten qualitative Daten und 21 Studien nutzten einen *Mixed-Methods* Ansatz. Der Fokus der meisten Studien liegt auf dem universitären Bereich ($N = 38$).

Bei den Einstellungen gegenüber den Videos konnte Kay (2012) feststellen, dass in 14 Studien gezeigt werden konnte, dass Lernende grundsätzlich eine positive Haltung gegenüber Erklärvideos besitzen und diese als betrachtenswert einschätzen. Verschiedene Studien konnten positive Auswirkungen auf die Motivation berichten, wenn die Videos kognitiv aktivierend gestaltet und ein für die Lernenden relevantes Thema behandelt wurde. 85 % der Studien berichten dabei positive Einstellungen gegenüber Erklärvideos.

Kay (2012) konnte im Bereich des Verhaltens bei der Videobetrachtung verschiedene Verhaltensmuster auf Grundlage der Studien beschreiben. Zunächst werden Erklärvideos vornehmlich im Privaten, abends und am Wochenende, geschaut. Besonders vor Klausuren nutzen Lernende Erklärvideos. Im Video selbst können verschiedene Betrachtungstypen identifiziert werden. In zwei Studien betrachteten die Lernenden die Videos komplett und ohne Pausen, in einer Studie machten die Lernenden Pausen zum Notieren und in einer Studie konnten vier verschiedene Arten der Betrachtung identifiziert werden, und zwar: Linear und ohne Pausen, zweimaliges Betrachten, Springen zu den wichtigsten Themen und ein ungerichtetes Springen durch das Video.

Bei der Betrachtung des Lernzuwachs muss nach Kay (2012) zunächst grundsätzlich zwischen selbst berichtetem Lernzuwachs und gemessenem Lernzuwachs unterschieden werden. Bei einem selbst berichteten Lernzuwachs berichten die Lernenden, dass ein Erklärvideo positive Auswirkungen auf ihre Kompetenzentwicklung und ihr Wissen hat. Verschiedene Studien berichten jedoch auch gemessene signifikante Lernzuwächse bei Lernenden, die ein Erklärvideo nutzen, gegenüber Lernenden, die in traditioneller Weise unterrichtet wurden ($N = 7$).

Kay (2012) äußert verschiedene Kritikpunkte an den Studien. Zunächst wird kritisiert, dass nur ein Drittel der Studien genaue Angaben zu den eingesetzten Erklärvideos macht. Die restlichen Studien beschreiben nicht genauer, welchen Inhalt oder auch welche Qualitätskriterien hinter einem Erklärvideo stehen. Weiterhin kritisiert Kay (2012), dass in vielen Studien nicht erklärt wird, wie das Design einer Studie entstanden ist, welche Methoden genutzt wurden und wie das Betrachtungsverhalten bei der Nutzung von Erklärvideos aufgezeichnet wurde. Daraus entsteht folgende Forderung (Kay, 2012, S. 827):

Nonetheless, a number of suggestions for future research have emerged from the quality and content of previous studies and can be organized into the following categories: methodology, quality and de-

sign of video podcasts, instructor perspective, pedagogy, viewing patterns, and individual differences (Kay, 2012, S. 827).

Diese Aussagen einer Metastudie vom Beginn der Erklärvideoforschung wird nun durch eine aktuelle Metastudie aus dem Jahr 2019 ergänzt. Die neuere Metastudie nimmt dabei keinen Bezug auf bereits durchgeführte Metastudien. Eine Erklärung hierfür könnten verschiedene Forschungstraditionen und Definitionen von Erklärvideos liefern. Zunächst können in der Forschung zu Erklärvideos zwei verschiedene Forschungstraditionen identifiziert werden: eine eher aus der Medienpädagogik stammende und eine aus den Fachdidaktiken. Beide Forschungsfelder sind in ihren Inhalten nicht deckungsgleich. Eine andere Erklärung kann die weite Definition von Erklärvideos im Jahr 2012 liefern. Nicht alles was damals als Erklärvideo bezeichnet wurde, würde heute noch als Erklärvideo eingeordnet werden, dies zeigt sich insbesondere in Länge und Gestaltung der Videos.

Findeisen, Horn und Seifried (2019) untersuchen 24 Studien zu Erklärvideos hinsichtlich ihrer Ergebnisse. Der Fokus dieser Metastudie liegt auf der Auswahl von Designs, die bestimmte Aspekte von Erklärvideos hinsichtlich verschiedener Zielvariablen wie Lernerfolg oder Motivation untersuchen. Dabei beschäftigen sich die Studien vornehmlich mit folgenden Unterschieden: interaktive Videos, Videodesign und Wirkung der erklärenden Person. Findeisen et al. (2019) legen dabei als Interaktion schon die Möglichkeit des Startens, Stoppens usw. des Videos fest. Weitere interaktive Merkmale sind die Einbindung in Lernumgebungen und das Nutzen nachfolgender Aufgaben. Die Autoren können dabei feststellen, dass in Videoumgebungen, die eine Manipulation wie Start, Stopp etc. zulassen, ein höherer Lernzuwachs stattfindet und die Studienteilnehmer*innen sich intensiver mit den Videos beschäftigen. Dies wird durch weitere Möglichkeiten der Interaktion, wie eine direkte Szenenauswahl zu Beginn des Videos, genannt Inhaltsverzeichnis, weiter unterstützt. Was weitere Designaspekte von Erklärvideos betrifft, so betonen Findeisen et al. (2019), dass die gefilmte Perspektive und das Alter der erklärenden Person einen signifikanten Einfluss auf den Lernzuwachs haben. Soll der Ablauf einer Handlung erklärt werden, werden höhere Lernzuwächse erzielt, wenn aus einer *First Person* Perspektive gefilmt wird. In der Gestaltung von Erklärvideos führen Screencast Videos, also die Aufzeichnung eines Bildschirms bspw. einer Folienpräsentation, im Vergleich zu anderen Erklärvideoformaten zu einem geringeren Lernzuwachs, den die Autoren auf einen höheren *Cognitive Load* zurückführen (Findeisen et al., 2019). Weiterhin werden höhere Lernzuwächse und Motivationen erzielt, wenn zwischen Adressat*innen und Erklärer*innen ein gewisser Altersunterschied vorliegt. Zusätzlich können höhere Lernzuwächse bei nutzerfreundlichen und subjektiv ansprechenderen Erklärvideo erzielt werden (Findeisen et al., 2019). Nach Findeisen et al. (2019) bietet diese Metastudie eine Orientierung bei der Gestaltung von Erklärvideos. Forschungsdesiderate beziehen sich dabei insbesondere auf die Einbettung von Erklärvideos im Unterrichtsgeschehen, auf fehlende

Langzeitstudien zur Nutzung von Erklärvideos und die Möglichkeit ein Video im Betrachtungsprozess zu manipulieren. Dabei ist neben den typischen Interaktionsmöglichkeiten auch die Möglichkeit, ein Video zu kommentieren und zu verändern, gemeint (Findeisen et al., 2019).

Weitere relevante Studien, die nicht Teil der bisherigen Metastudien waren, sollen im Folgenden vorgestellt werden:

Wie bereits in Kapitel 2.2.4 beschrieben, hat Kulgemeyer (2018a) seine Gestaltungskriterien von Erklärvideos empirisch validiert. Dazu hat er ein Erklärvideo anhand seiner Kriterien gestaltet und mit einem Video verglichen, dass diesen Kriterien nicht entspricht. In einem klassischen Pre-Post Design hat er darauffolgend 176 Schüler*innen diese Erklärvideos angeboten. Genutzt wird ein Konzeptwissentest bestehend aus sieben geschlossenen Items zum Thema des Erklärvideos, und ein Test zum deklarativen Wissen mittels einer offenen Frage zum Erklärvideo, in der die Schüler*innen aufgefordert werden, zu beschreiben was sie gelernt haben. Es zeigt sich, dass sowohl bei einem *guten* als auch bei einem *schlechten* Erklärvideo Schüler*innen signifikante Lernzuwächse im deklarativen Wissen und im Konzeptwissen zeigen. Weiterhin konnte Kulgemeyer (2018a) einen signifikanten mittleren Effekt ($d = 0,42$) zwischen den Videogruppen im deklarativen Wissenstest zeigen. Ein signifikanter Effekt zwischen den Gruppen im Konzeptwissen konnte nicht bestimmt werden. Kulgemeyer (2018a) stellt dabei fest, dass ein Wissenszuwachs im Konzeptwissen ohne nachfolgende Lernaufgabe nur schwer zu erreichen sei. Weiterhin stellt Kulgemeyer (2018a) fest, dass die Variation der Qualität eines Erklärvideos anhand eines großen Kriterienkatalogs schwierig umzusetzen ist, jedoch zunächst ein sinnvolles Vorgehen ist, um einen solchen Kriterienkatalog zu untersuchen. Weiterhin stellt der Autor heraus, dass seine Gruppen der Videoqualität nicht zufällig ausgewählt wurden, sondern gesamte Klassen einem Video zugewiesen wurden. Dies sei zwar aus forschungsmethodischer Perspektive unumgänglich, hat jedoch den Nachteil, dass gewisse Gruppeneffekte nicht ausgeschlossen werden können.

Beege, Schneider, Nebel, Häßler und Rey (2018) untersuchen den Einfluss der Stimmung in Erklärvideos auf den Wissenszuwachs. Nach Beege et al. (2018) beinhaltet ein Video nicht nur eine objektive mediale Qualität nach Mayer (2009), sondern auch eine affektive Qualität. Unter dieser affektiven Qualität findet sich auch die Emotion des Sprechers. Um den Einfluss dieser affektiven Qualität zu untersuchen, wurden zwei Erklärvideos entworfen. Ein Erklärvideo ist mit einer positiven Grundstimmung ausgesprochen, während das andere Video eher neutral gestaltet ist. Dazu wurden 162 Schüler*innen in vier Gruppen eingeteilt. Den Schüler*innen werden vor der Erhebung entweder positive oder negative Bilder und danach entweder das positive oder das neutrale Erklärvideo präsentiert. Das Ziel der Studie ist nun den Lernzuwachs unter Einbezug der Stimmung zu bestimmen. Das Vorwissen wurde durch die Stu-

dienteilnehmer*innen selbst berichtet. Der Lernzuwachs wurde durch geschlossene und offene Fragebögen als Post-Test und Transfertest gemessen. Hierbei zeigte sich, dass die Stimmung der Schüler*innen als auch die Stimmung im Video keinen signifikanten Einfluss auf den Lernzuwachs hat. Die Autoren versuchen dies dadurch zu erklären, dass es in so komplexen Medien wie Erklärvideos immer zu kleineren Abweichungen in Aussprache und Betonungen kommt und diese bereits Unterschiede in der Qualität erzeugen können. Weiterhin stellen die Autoren fest, dass die Grundstimmung einer Person ein eher stabiles Konstrukt ist und ein kurzes Erklärvideo nur einen geringen Einfluss auf den Rezipient*innen haben, wird. An der Studie kann kritisiert werden, dass ein selbstberichtetes Vorwissen nicht hinreichend genau ist, um einen Gruppenvergleich anzustellen.

Merkt, Ballmann, Felfeli und Schwan (2018) versuchen, den Einfluss von Pausen in Erklärvideos zu bestimmen. Eine Pause ist in dieser Studie dabei eine Unterbrechung von 150 – 3000 ms, in der das Bild schwarz wird. Die Hypothese, dass eine Pause den Lernzuwachs verändert, ist durch die Struktur und die Vergänglichkeit einer Erklärung, als nicht feststehendes Produkt begründet, da die Lernenden so eine gewisse Zeitspanne erhalten, in der keine neuen Informationen gegeben werden, um bereits erhaltene Informationen zu verarbeiten. Auf Grundlage dieser Überlegungen wird ein Erklärvideo produziert und in Variationen präsentiert: Ohne eine Pause, mit inhaltlich strukturell begründeten Pausen von 150 ms (z. B. nach der Einleitung), Pausen an empirisch motivierten Stellen, die durch die Nutzung der Videos in Pilotstudien bestimmt wurden und alternativ Pausen von jeweils 3000 ms an Stellen, die einer inhaltlich sinnvollen Gliederung entgegenstehen. Um den Einfluss der Pausen zu überprüfen, wurden 72 Studierende einer deutschen Universität befragt. Das Thema der Videos war der akustische Oszillator. Physikstudierende durften an der Studie nicht teilnehmen. Weitergehende Informationen zur Qualität des Videos wurden nicht angegeben. Zur Bestimmung des Lernzuwachs wurde ein Pre-Post Design mit geschlossenen Items genutzt. In dieser Studie konnten keine signifikanten Unterschiede im Lernzuwachs in Abhängigkeit von den Pausen entdeckt werden. Merkt et al. (2018) erklären das Ausbleiben eines Effekts folgendermaßen: Zunächst kann angenommen werden, dass der *Cognitive Load* der Videos so gering ist, dass eine zusätzliche Pause nicht benötigt wird, um die Informationen weiter zu verarbeiten. Weiterhin ist das eingesetzte Video so gestaltet, dass es in typischen Situationen am Ende eines Erklärungsabschnitts, in denen eine Pause notwendig wäre, bereits ein Schnitt vorhanden ist.

Van der Meij (2017) untersucht den Einfluss von Zusammenfassungen am Ende eines Erklärvideos auf den Lernzuwachs. Dazu wurden 73 Schüler*innen entweder nur ein Erklärvideo gezeigt oder ein Erklärvideo mit einer ergänzenden Videozusammenfassung. Obwohl das Zusammenfassungsvideo deutlich weniger geschaut wurde als das Erklärvideo selbst, erzielten die Schüler*innen, die das Zusammenfassungsvideo zusätzlich geschaut haben, höhere Lernzuwächse. Der Unterschied wird nicht mit einer

Effektstärke beschrieben ($U(72) = 801$; $p < 0,035$). Rechnet man die Effektstärke aus, so zeigt sich ein mittlerer Effekt von $d = 0,35$. Zur Qualität der Videos wird gesagt, dass sie nach Gestaltungskriterien des multimedialen Lernens und der Theorie des Lernens am Modell erstellt wurden. Der Autor stellt fest, dass seine Ergebnisse den Rückschluss zulassen, dass Zusammenfassungen für Erklärvideos relevant sind und dies einen Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen von Qualitätsmerkmalen eines Erklärvideos darstellen könne. Zusammenfassungen sind ebenfalls Teil des hier vorgeschlagenen Kriterienkatalogs zur Gestaltung eines Erklärvideos⁵.

Nachdem Forschungsergebnisse direkt zu Erklärvideos vorgestellt wurden, wird in einem nächsten Schritt die Forschung zur Einbindung von Erklärvideos in verschiedene Lehr-Lerndesigns genauer beschrieben. Dabei sind Erklärvideos häufig nur ein kleiner Bestandteil der Forschung, da die Lernumgebung, wie der *Flipped Classroom*, im Mittelpunkt steht. Daher werden die genutzten Erklärvideos häufig nicht genauer beschrieben.

3.2 Forschung zur Einbettung von Erklärvideos in Lehr-Lerndesigns

Der Beginn der Forschung zur Einbettung von Erklärvideos in Lehr-Lerndesigns ist gleichbedeutend mit dem Beginn der Forschung zu sogenannten *Blended-Learning-Designs* und *Flipped Classrooms*, also dem synchronen bzw. asynchronen Einsatz von digitalen Medien.

Zieht man z. B. Hattie (2018) für einen ersten Überblick über die Forschung zurate, so erreichen *Flipped-Classroom-Designs* durchschnittlich eine Effektstärke von $d = 0,29$ für den Lernzuwachs. Die reine asynchrone Nutzung digitaler Medien führt somit nicht zu einem Effekt in der von Hattie (2018) festgelegten *Zone of desired Effect* ($d > 0,40$).

Für die Darstellung der Forschung zur Einbettung von Erklärvideos sollen zunächst eine Metastudie zum *Flipped Classroom* vorgestellt werden und danach weitere Studien aus der MINT Didaktik. Den Abschluss bildet ein Artikel von Hratinski (2019), der eine Forschungsagenda zur Untersuchung der Einbettung digitaler Medien formuliert.

Für die Mathematik wurde von Lo et al. (2017) eine Metastudie zum *Flipped Classroom* verfasst, die 72 Studien zum *Flipped Classroom* zusammenfasst. Eine Mehrzahl dieser Studien ($N = 52$) nutzt selbst gestaltete Erklärvideos für die Instruktionsphase.

⁵ Wie im Kapitel 1.3. Grundzüge der Argumentation dieser Arbeit begründet, soll zunächst ein theoretisch begründeter Kriterienkatalog zur Gestaltung von Erklärvideos erstellt werden. Einige dieser theoretisch begründeten Kriterien sind bereits empirisch bestätigt, besonders im Bereich der Theorie des Multimedialen Lernens, für andere Kriterien, besonders der Elementarisierung, ist das nicht der Fall. Die hier vorgestellten Kriterien sollen jedoch in ihrer Gesamtheit auf eine Lernwirksamkeit überprüft werden.

Der Rest bedient sich beliebter Erklärvideos aus dem Internet ($N = 14$) oder das Erklärvideo ($N = 11$) wird nicht genauer beschrieben. In 13 Designs wurden den Teilnehmer*innen Betrachtungsaufträge erteilt. Die restlichen Studien haben den Teilnehmer*innen frei gelassen, wie sie das Erklärvideo betrachten sollen.

Als Ergebnis stellen die Autoren zunächst fest, dass ein *Flipped-Classroom*-Design einen größeren Lernzuwachs ermöglicht als ein klassisches Lehr-Lerndesign. Weitere, als positiv berichtete Effekte waren der Zeitgewinn in Unterricht bzw. Hochschullehre und eine größere kognitive Aktivierung in den Präsenzphasen.

Als eine Forderung an zukünftige *Flipped-Classroom*-Designs wird von Lo et al. (2017) vorgeschlagen, die genutzten Erklärvideos selbst zu erstellen und diese nach der Theorie des Multimedialen Lernens zu gestalten. Dadurch ist eine weitreichendere Qualitätskontrolle der Videos möglich. Weiterhin fordern Lo et al. (2017) mehr Informationen über die Nutzung der Videos bereitzustellen (z. B. Betrachtungszeit), um ihren Einfluss zu untersuchen. Ein weiterer Kritikpunkt an bisherigen Studien zum *Flipped Classroom* ist, dass sie oft selbst berichtete Lernzuwächse der Lernenden verwenden. Lo et al. (2017) kritisieren an Studien zum *Flipped Classroom*, dass häufig nicht explizit ausgeschlossen wird, dass ein *Teaching to the Test* stattfindet. Es kann somit nicht ausgeschlossen werden, dass etwaige Vorteile des *Flipped Classroom* durch diese Praxis entstehen.

Weiß und Friege (2021) werten in einem Beitrag zur Bewertung der Lernwirksamkeit eines *Flipped Classroom* 26 Artikel aus dem MINT Bildungsbereich aus. Ziel dabei war es, eine erste Einschätzung zu treffen, ob der *Flipped-Classroom*-Ansatz empirisch belegbar zu signifikant höheren Lernzuwächsen im Medienvergleich zu traditionellen Lern-Lehrmethoden führt. 21 Studien wurden an Universitäten und fünf an Schulen durchgeführt. In 18 der untersuchten Studien zeigte sich, dass der *Flipped Classroom* zu einem höheren Lernzuwachs führt. Dabei war der Lernzuwachs in 14 Studien im Medienvergleich signifikant höher. Sieben Studien finden im Medienvergleich keine Unterschiede im Lernzuwachs. Dabei berichtet eine Studie, dass ein *Flipped Classroom* zu geringeren, nicht signifikanten, Lernzuwächsen im Medienvergleich führt. In verschiedenen Studien werden weiterhin im Medienvergleich signifikante Zuwächse in Motivation und Interesse berichtet. Die Autoren merken zu den Studien an, dass „traditionelle“ Lehr-Lernformen häufig nicht genauer beschrieben werden und somit die Medienvergleiche schwierig zu bewerten sind. Weiterhin gibt es laut Weiß und Friege (2021) noch zu wenig Studien im Bereich der Schule, um ein genaueres Bild der positiven Effekte des *Flipped Classroom* in der Schule berichten zu können. Für weitere Forschungsvorhaben fordern Weiß und Friege (2021), dass genauere Definitionen für den *Flipped Classroom* entwickelt und die genutzten Methoden deutlicher beschrieben werden.

Im Rahmen der Dissertation von Weiß (2021) wurde ein *Flipped-Classroom*-Ansatz sowohl an der Universität als auch an der Schule im Bereich der Nuklearphysik implementiert und bewertet. Dabei sollten zwei verschiedene Arten von Forschungsfragen beantwortet werden. Zum einen, ob ein *Flipped Classroom* im schulischen Bereich positive Einflüsse auf den Lernzuwachs hat. Zum anderen, ob ein *Flipped Classroom* positive Effekte auf latente Konstrukte wie ein physikalisches Selbstkonzept oder physikbezogene Motivation im schulischen und universitären Bereich hat. Um diese Forschungsfragen zu bearbeiten, wurden von Weiß (2021) zwei verschiedene empirische Studien entwickelt. Eine wurde an der Universität und die andere an der Schule durchgeführt.

In der universitären Studie wurde eine Veranstaltung der Experimentalphysik in ein *Flipped-Classroom*-Design überführt. Für die Selbstlernphase wurden von den Dozent*innen 53 Videos zu sieben verschiedenen Themen entwickelt (Weiß, 2021). Die Videos sind ähnlich designt und bestehen aus einem Mitschnitt eines Smartboards und einer Aufnahme der erklärenden Person. Die Qualitätskriterien, die die Dozent*innen der universitären Veranstaltungen an diese Videos legen, wurden durch Interviews bestimmt. Dabei wurden folgende Aussagen getroffen: Die Dozent*innen formulieren insbesondere mediengestalterische Anforderungen an Erklärvideos, wie die Tonqualität und die Nutzung von nicht zu vielen Animationen. Weiterhin wünschen sich die Dozent*innen, dass Informationen möglichst neutral dargestellt und nicht bewertet werden.

Weiterhin sollen diese Videos laut Dozent*innen eine Länge von 8 – 10 Minuten nicht überschreiten (Weiß, 2021). Es werden keine weiteren fachdidaktischen Qualitätsmerkmale für die Videos festgelegt. Die Präsenzphasen starten einheitlich mit kurzen Tests zu den Inhalten der Videos, gefolgt von Diskussionen und Aufarbeitungen, falls zu wenig Studierende die richtige Lösung der Fragen wussten (Weiß, 2021). Daran anschließend bearbeiteten die Studierenden vertiefende Aufgaben, insbesondere in kooperativen Sozialformen. Bei einer Stichprobe von $N = 107$ konnten keine signifikanten Verbesserungen im physikbezogenen Selbstkonzept und in der Motivation im Pre-Post Vergleich erzielt werden. Es wird kein Pre-Post Vergleich für die Bestimmung des Lernzuwachs durchgeführt. Durch weitere Auswertungen stellt Weiß (2021) fest, dass insbesondere Studierende mit einem geringen physikbezogenen Selbstkonzept durch ein *Flipped-Classroom*-Design im Pre-Post Vergleich profitieren können, da in Präsenzphasen der Austausch mit Studierenden gleichen Studienziels (Fach oder Lehramt) und Leistungsniveaus im Mittelpunkt steht. Als Limitation der Studie gibt Weiß (2021) an, dass ein Kontrollgruppenvergleich nicht möglich war und so die Einflüsse des *Flipped Classroom* nicht mit klassischen Lehrmethoden verglichen werden konnten. Weiterhin konnte die Vorbereitung in der Distanzphase nicht genau kontrolliert werden. Eine Wiederholung im Rahmen eines coronabedingten Online-Semesters zeigte u. a. aufgrund der kleinen Teilnehmerzahl keine genaueren Effekte.

In der zweiten Studie zur der Implementierung des *Flipped Classrooms* in der Schule verfolgt Weiß (2021) einen quasi experimentellen Ansatz mit Kontrollgruppe im Pre-Post-Design. Das Thema der Erhebung ist ebenfalls die Nuklearphysik. Fünf Klassen wurden der Treatmentgruppe mit *Flipped Classroom* und drei Klassen der Kontrollgruppe mit klassischem Unterricht zugeteilt. Insgesamt haben $N = 131$ Schüler*innen mit vollständigen Daten teilgenommen. Dabei gehören $N_{treatment} = 84$ Schüler*innen zur Treatmentgruppe (Weiß, 2021). Die Videos für die Selbstlernphasen im *Flipped Classroom* werden von der Lernplattform Sofatutor übernommen (Weiß, 2021). Eine weitere Qualitätssicherung und Beschreibung der Videos fanden nicht statt. Ebenfalls werden weitere Lernmaterialien von Sofatutor⁶ übernommen. Die Präsenzphasen verlaufen ähnlich zu denen in der Universität: Nach einem Test und etwaiger Diskussion über Fragen stehen kooperative Lernformen im Mittelpunkt, um mit den Videos Gelerntes zu vertiefen. Untersucht werden sollen Lernzuwächse und affektive Veränderungen bei den Schüler*innen im Vergleich zum klassischen Unterricht (Weiß, 2021). Im Pre-Test zeigen sich hoch signifikante Unterschiede ($d \approx 0,48$) im Fachwissen mit höheren Ergebnissen in der Treatmentgruppe (Weiß, 2021). Im Post-Test sind diese nicht mehr vorhanden. Die Differenz zwischen Pre- und Post-Test ist mit einem mittleren Effekt ($d \approx 0,39$) zwischen Kontroll- und Treatmentgruppe signifikant (Weiß, 2021).

Für weitere Forschungsarbeiten schlägt Weiß (2021) vor, die Logdaten der Videobetrachtung zu nutzen, um Nutzungsmuster und deren Einfluss auf den Lernzuwachs und anderen Merkmalen zu untersuchen. Weiterhin könnten *Cross-Over*-Studien helfen, den Einfluss eines *Flipped-Classroom*-Ansatzes auf die Lernleistung zu bestimmen.

Finkenberg (2018) untersucht den *Flipped Classroom* aus einer physikdidaktischen Sicht. Um den Lernzuwachs und die motivationale Veränderung bei der Nutzung eines *Flipped Classrooms* zu erforschen, wurden 16 Erklärvideos von Lehrer*innen gestaltet. Die Vorgaben für diese Erklärvideos sind eher grob gehalten. Alle Erklärvideos sollen sich einer ähnlichen Struktur aus Einleitung, Hauptteil und Sicherung bedienen. Daneben gibt es einheitliche Folienvorlagen, um möglichst gestalterische Unterschiede zwischen den Videos auszuschließen und den *Cognitive Load* ähnlich zu halten. Die Erklärvideos wurden von vier verschiedenen Lehrer*innen, die an der Studie teilnehmen, gestaltet. Es werden dabei keine weitergehenden Aussagen zur Qualität der Erklärvideos getroffen. Als Ergebnis dieser Studie konnte festgestellt werden, dass Schüler*innen, die einen *Flipped Classroom* als Lehr-Lernformat haben, mit einem mittleren Effekt signifikant mehr lernen als eine Kontrollgruppe im klassischen Unterricht ohne Erklärvideos. Der Effekt zwischen den im klassischen Unterricht ($N = 79$) und im *Flipped Classroom* ($N = 70$) teilnehmenden Schüler*innen liegt umgerechnet

⁶ Sofatutor (<https://www.sofatutor.com/>, zuletzt geprüft am 12.06.2022) ist eine Homepage, die verschiedenen Lernmaterialien zur Selbstlehre bereitstellt.

bei $d = 0,52$. Es liegt also ein mittlerer Effekt im Bereich des Lernzuwachses zwischen beiden Gruppen vor. Auch Motivation ($d = 0,42$) und Selbstkonzept ($d = 0,35$) entwickeln sich in beiden Gruppen signifikant unterschiedlich. Dabei sinkt die Motivation im Laufe der Untersuchung in beiden Gruppen, während das Selbstkonzept in der *Flipped*-Gruppe sich verbessert und es sich in der traditionellen Gruppe verschlechtert. In der Entwicklung des Fachinteresses unterscheiden sich die beiden Gruppen nicht signifikant.

Finkenberg (2018) räumt ein, dass Testungen zwischen den Gruppen nicht zeitlich synchron verlaufen sind, sondern um ein Schuljahr verschoben. Dadurch haben die Lehrkräfte erst die Kontroll- und dann die Treatmentgruppe unterrichtet. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich ihr Unterricht in dieser Zeit verändert hat. Weiter räumt der Autor ein, dass eine weitere Auswertung der Testinstrumente und die Nutzung der Lernvideos weitere Informationen über den erreichten Lernzuwachs hätten ergeben können.

Mohamed und Lamia (2018) untersuchen den Einfluss eines *Flipped-Classroom*-Ansatzes auf Lernzuwachs und Motivation im Rahmen einer universitären Veranstaltung in der Informatik Ausbildung. Dazu wurden 50 Studierende zwei verschiedenen Lehr-Lernsettings zugeteilt. Eine Gruppe erhielt eine klassische Seminarumgebung, die andere einen durch Computersimulationen und Erklärvideos unterstützten *Flipped Classroom*. Die Inhalte des *Flipped Classrooms* waren jeweils durch den Pre-Test auf die Lernenden abgestimmt, für die Kontrollgruppe erfolgte dies nicht. Mohamed und Lamia (2018) konnten feststellen, dass im *Flipped Classroom* ein signifikant höherer Lernzuwachs stattfindet als in der klassischen Umgebung. Auch Motivation und Interesse verbesserten sich im Laufe der Studie im *Flipped Classroom* signifikant. Mohamed und Lamia (2018) kritisieren, dass ihre Studie über einen längeren Zeitraum läuft, jedoch nur an zwei Messpunkten Daten erfasst wurden, sodass nicht alle Einflussfaktoren kontrolliert werden konnten und kein detaillierter Lernprozess aufgezeichnet wurde. Weiterhin problematisieren die Autoren, dass sie die Vergleichbarkeit beider Versuchsgruppen nicht vollständig gewährleisten können, da Hilfestellungen und Inhalte nicht immer identisch waren.

Im Folgenden sollen die hier angesprochenen Kritikpunkte der einzelnen Studien und die von ihnen aufgezeigten Ansätze für mögliche weitere Forschungsprojekte zusammengefasst und dazu bereits vorgeschlagene Forschungsagenden herangezogen werden.

3.3 Forderungen an zukünftige Forschung

Die Forschung an Erklärvideos und ihrer Einbettung in Lehr-Lerndesigns zeigt im bisherigen Verlauf einige Defizite auf. Die Defizite sollen im Folgenden benannt und daran anschließend Ziele zukünftiger Forschung formuliert werden.

Zunächst kann festgehalten werden, dass in der Forschung zu Erklärvideos bisher kein einheitlicher Forschungsrahmen entwickelt wurde. Dies zeigt sich unter anderem durch fehlende Bezüge zwischen größeren Metastudien, die zwar eine Vielzahl an Studien untersuchen, jedoch Erkenntnisse aus vorherigen Studien nicht aufgreifen. Fiorella und Mayer (2018) formulieren in einem Editorial zu einer Sonderausgabe des Journals *Computers in Human Behaviour* Forderungen an eine Forschungsagenda zu Erklärvideos. Dazu zählt die Forderung, dass eine testbare Theorie entwickelt werden sollte, wie und warum mit Erklärvideos gelernt werden kann und diese möglichst verbreitet wird. Erst dadurch wird es möglich, Hypothesen zur Lernwirksamkeit und anderen Variablen zu formulieren und zu testen. Darüber hinaus würde ein solcher Rahmen eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Befunde sichern.

Weiterhin findet die Forschung zu Erklärvideos vor allem im Bereich der Medienpädagogik statt. Zwar gibt es einige, wenige Ansätze aus der Fachdidaktik Physik (Kulgemeyer, 2018a), insbesondere zur Einbettung von Erklärvideos (u. a. Fingkenberg, 2018 & Weiß, 2021), dies stellt jedoch bisher nur eine Minderheit der Studien dar. Studien mit einem fachdidaktischen Forschungsdesign und einem Bezug zu einem von Fiorella und Mayer (2018) geforderten Forschungsrahmen fehlen.

Ein weiterer Kritikpunkt an der vorliegenden Forschung zu Erklärvideos und ihrer Einbettung in Lehr-Lernprozesse ist das Design der Studien. Fiorella und Mayer (2018) stellen fest, dass bereits hinreichend Informationen zur generellen Lernwirksamkeit von Erklärvideos gesammelt wurden, sodass in einem nächsten Schritt in weiteren Studien keine Medienvergleiche mehr angestellt werden sollten, sondern ein Fokus auf spezielle Merkmale von Erklärvideos und ihrer Einbettung in Lehr-Lernprozesse gelegt werden sollte. Die Merkmale der Videos sollen dabei genau beschrieben werden. Hratinski (2019) formuliert eine Forschungsagenda für die Forschung an *Blended-Learning-Designs*, insbesondere im *Flipped Classroom* und im synchronen Einsatz von digitalen Medien. Dabei stellt er fest, dass unter dem Begriff *Blended Learning* und auch *Flipped Classroom* eine Vielzahl von Designs beschrieben werden, es aber für zukünftige Forschung notwendig sei, möglichst genau zu beschreiben, wie die eingesetzten Lehr-Lernumgebungen konkret gestaltet wurden. Entsprechend ist bei der Untersuchung der Wirkung von Erklärvideos in Lehr-Lernprozessen eine genaue Beschreibung der Einsatzform des Videos notwendig.

Fiorella und Mayer (2018) stellen fest, dass in bisherigen Studien zu Erklärvideos das Erklärvideo selbst nur selten genau beschrieben wurde, diese Kritik äußert ebenfalls Kay (2012). Dies zeigt sich zum Teil auch in den hier vorgestellten Studien. Es ist

häufig unklar, welche Qualitätsmerkmale an diese Erklärvideos angelegt und wie diese validiert wurden. Fiorella und Mayer (2018, S. 5) schlagen dazu einen *Value Added Approach* vor:

Rather than asking whether learning from video is effective compared to other educational media, the value added approach addresses the question: When designing an instruction video, which features should be incorporated to maximize learning? (Fiorella und Mayer, 2018, S. 5)

Diese Forderung wird auch durch Kay (2012) und Findeisen et al. (2019) unterstützt. Diese Autoren konstatieren, dass zwar bereits einige Studien zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos vorliegen, jedoch seien weitere für ein tieferes Verständnis der Lernwirksamkeit von Erklärvideos notwendig und lernwirksame Merkmale von Erklärvideos seien genauer zu beschreiben. In weiteren Studien sollten daher sowohl die Qualität als auch der Gestaltungsprozess der Videos theoriegeleitet beschrieben und validiert werden, um den Einfluss der Qualität des Erklärvideos auf den Lernzuwachs genauer bestimmen zu können. In den hier vorgestellten Studien konstatieren die Autoren selbst, dass auch ihre Forschung dahingehend weitergeführt und optimiert werden sollte (Kulgemeyer, 2018a). Weiterhin sollte genauer beschrieben werden, welche Kriteriumsvariablen zugrunde gelegt werden, d.h. auf die Entwicklung welcher Wissensarten ein Video zielt und wie diese Kompetenzentwicklung gefördert und schlussendlich gemessen werden kann. Ein im Kapitel 2.1 genannter Vorteil von Erklärvideos ist die Förderung von sowohl Konzept- als auch Handlungswissen, sodass zukünftige Studien eine solche Unterscheidung berücksichtigen sollten.

Ein weiteres Problemfeld der Forschung an Erklärvideos ist die Auswahl geeigneter Untersuchungsvariablen, die Entwicklung oder Wahl zugehöriger Erhebungsinstrumente und ihre genaue Beschreibung, z. B. von Wissenstests.

Neben dem Lernzuwachs sollen nach Kay (2012), Findeisen et al. (2019) und Fiorella und Mayer (2018) auch andere Variablen wie Nutzungsverhalten oder Motivation überprüft werden, um Personen zu identifizieren, die von einem Einsatz von Erklärvideos besonders profitieren könnten. Auch das Verhalten bei der Betrachtung (Weiß, 2021) von Erklärvideos sollte genauer untersucht werden. Nur durch eine genaue Beschreibung der angestrebten Wissensarten und anderer Variablen können komplexe Wirkzusammenhänge bei der Nutzung von Erklärvideos erkannt werden.

Weitere Forschungsvorhaben sollen dazu nach Fiorella und Meyer (2018) einen stärkeren Fokus auf methodisch gut begründete quantitative Forschungsdesigns legen, um genauer beschreiben zu können, welchen Effekt bestimmte Aspekte von Erklärvideos und ihre Einbettung auf u. a. Lernzuwachs, Motivation und Nutzungsverhalten haben. Dazu schlagen Fiorella und Mayer (2018) vor, dass Studien zu Erklärvideos und ihrer Einbettung zukünftig größere Stichproben beinhalten sollten. Die Autoren empfehlen dabei eine Mindestgröße von 25 Personen pro untersuchtes Merkmal der Experimentalgruppe.

Insgesamt ergibt sich in der Forschung zu Erklärvideos und der zur Einbettung von Erklärvideos in Lehr-Lernprozesse ein ähnliches Bild. Es zeigen sich erste Ergebnisse zur Lernwirksamkeit mit Schwächen in der Planung, Methodik und Durchführung der Forschungsprojekte. Zur Beurteilung der Ergebnisse fehlen häufig Aussagen, wie in den Untersuchungen das Erklärvideo im Einzelnen gestaltet wurde und wie die Lernenden es konkret genutzt haben (Weiß, 2021).

Insgesamt gesehen sollten also methodisch kontrollierte Studien, die möglichst viele Einflussvariablen kontrollieren oder aufzeichnen, durchgeführt werden. Die genutzten Videos sollten genau beschrieben und theoretisch begründet produziert werden. Das Nutzungsverhalten bei der Betrachtung der Videos sollte genau aufgezeichnet werden, um die Wirkung etwaiger Unterschiede im Nutzungsverhalten aufzuklären. Im Mittelpunkt sollten dabei quantitative Erhebungen stehen. Dabei sollte auch die Stärke von Erklärvideos in der Unterstützung verschiedener Wissensbereiche berücksichtigt werden. Weiterhin liegen zwar verschiedene Studien im Bereich der Physikdidaktik vor, jedoch handelte es sich bei ihnen entweder um Qualitäts- oder um Einsatzformvergleiche. Eine Kombination in einer Untersuchung fehlt bislang.

Aus den Defiziten und Forderungen an die Forschung an und mit Erklärvideos sowie den theoretischen Überlegungen zu Erklärvideos und deren Einsatz in Lehr-Lernumgebungen werden im folgenden Kapitel die Forschungsfragen und Hypothesen der hier vorgestellten Untersuchung abgeleitet.

4 Forschungsfragen

Auf Grundlage des in Kapitel 2 vorgestellten Modells zur Qualität von Erklärvideos und dem aktuellen Forschungsstand (vgl. Kapitel 3) werden im Folgenden die Forschungsfragen für dieses Projekt entwickelt. Sie greifen die im vorangegangenen Kapitel dargelegten Forschungsdesiderate zur lernwirksamen Gestaltung von Erklärvideos und ihre Einbettung in Lehr-Lernprozesse auf. Dies beinhaltet auch eine genaue Beschreibung der angenommenen Wirkvariablen.

Der aus der Forschung stammenden Forderung, die Qualität von Erklärvideos genauer zu betrachten (Fiorella & Mayer, 2018; Findeisen et al., 2019; Kulgemeyer, 2018a), wird in diesem Projekt folgegeleistet. Um dies zu erreichen, wurde in Kapitel 2.4 ein Modell zur Gestaltung von möglichst lernwirksamen Erklärvideos entwickelt. Dieses wird für die Gestaltung von Videos im Folgenden genutzt. Weiterhin wurde in Kapitel 2.1 festgestellt, dass Erklärvideos multikriteriale Ziele verfolgen: Es soll neben einem Konzept häufig auch eine Handlung erklärt werden, sodass eine Untersuchung der Lernwirksamkeit von Erklärvideos auch auf diese Wissensarten zielen sollte. Daraus ergibt sich zunächst folgende Forschungsfrage:

FF1 Welchen Einfluss hat die didaktische Qualität von Erklärvideos auf den Lernzuwachs im Handlungs- und Konzeptwissen?

Unter Beachtung der vorgestellten Theorien und dem Modell zur Gestaltung eines Erklärvideos kann dazu eine Hypothese formuliert werden:

H1 Ein Video mit einer höheren didaktischen Qualität wird zu höheren Lernzuwächsen führen.

Ein weiterer Aspekt der Nutzung von Erklärvideos ist die Einbindung von Erklärvideos in Unterrichts- und Seminarverläufe (u. a. Hratinski, 2019, Weiß, 2021). Dazu wurden in Kapitel 2.3.2 zwei Möglichkeiten (synchron/asynchron) vorgestellt. Dies bedeutet, dass Erklärvideos entweder vor einer bestimmten Aufgabe präsentiert werden, angelehnt an einen *Flipped Classroom* oder gemeinsam mit einer Aufgabe genutzt werden. Die Vor- und Nachteile dieser Einbettungsformen wurden in Kapitel 2.3.2 erläutert sowie in Kapitel 3.2 der aktuelle Forschungsstand aufgearbeitet und dabei festgestellt wurde, dass weitere Medienvergleiche wenig zielführend sind, sondern dass als nächster Schritt ein Vergleich von Erklärvideos in verschiedenen Lehr-Lernsettings sinnvoll wäre. Daher lautet die zweite Forschungsfrage:

FF2 Welchen Einfluss hat die Einbindungsform in Lehr-Lernprozesse des Erklärvideos auf den Lernzuwachs im Handlungs- und Konzeptwissen?

Aus den Vor- und Nachteilen und der aktuellen Forschung zum *Flipped Classroom* lässt sich keine gerichtete Hypothese ableiten, sodass die Hypothese zu dieser Forschungsfrage ungerichtet formuliert wird:

H2 Das Einbindungsformat von Erklärvideos in Unterrichts- und Seminarverläufe hat einen Einfluss auf den Lernzuwachs.

Schließlich soll die aus der aktuellen Forschung an Erklärvideos stammende Forderung (Kay, 2012, Fiorella & Mayer, 2018, Weiß 2021) der Untersuchung von Personentypen, die hinsichtlich des Lernzuwachses vom Einsatz von Erklärvideos besonders profitieren, aufgegriffen werden. Dazu soll das Nutzungsverhalten bei der Betrachtung von Erklärvideos herangezogen werden. Dies lässt sich in folgender Forschungsfrage zusammenfassen:

FF3 **Von welchen Persönlichkeitsmerkmalen hängt ein höherer Lernzuwachs bei der Nutzung von Erklärvideos ab?**

Um diese Forschungsfragen zu bearbeiten, soll im Folgenden zunächst ein Studiendesign entwickelt und die Erstellung und Validierung der Instrumente beschrieben werden. Daraufgehend wird die Methodik der Auswertung beschrieben und es werden die deskriptiven Ergebnisse berichtet. In einem zweiten Schritt werden die Befunde tiefergehend analysiert und die aufgestellten Hypothesen getestet.

5 Design

Im Folgenden soll ein Studiendesign beschrieben und begründet werden, dass geeignet ist, die in Kapitel 4 formulierten Forschungsfragen zu untersuchen. Auf Grundlage der Beschreibung des Studiendesigns und der Variablen wird die Entwicklung der genutzten Instrumente dargestellt und erläutert.

5.1 Studiendesign und Variablen

Aufgrund der Überlegungen der Theoriekapitel wurden drei Forschungsfragen formuliert. Im Folgenden soll zur Bearbeitung der Forschungsfragen ein Forschungsdesign entwickelt werden. Ziel dabei ist es, möglichst viele Variablen bei der Nutzung von Erklärvideos zu kontrollieren oder aufzuzeichnen (Fiorella & Mayer, 2018; Kay, 2012).

Forschungsfrage 1 zielt, auf Grundlage der Überlegungen zur Qualität von Erklärvideos (Kapitel 2.2), auf die Auswirkung dieser Qualität auf den Lernzuwachs ab. Um Forschungsfrage 1 zu untersuchen, muss daher ein Erklärvideo in verschiedenen Qualitätsstufen entwickelt werden. Die Videoqualität soll auf Grundlage des in Kapitel 2.2.4 entwickelten Kriterienkataloges zur didaktischen Qualität eines Erklärvideos variiert werden (vgl. Kapitel 2.2.4). Es soll ein Video mit einer möglichst hohen Qualität produziert werden und ein Video, welches diese Gestaltungskriterien nicht beachtet, ohne dabei physikalisch-fachlich unangemessen zu sein. Die unterschiedliche didaktische Qualität der eingesetzten Erklärvideos soll, wie in den Überlegungen zur Forschungslage (vgl. Kapitel 3.3) bereits diskutiert, durch Experten und ökologisch validiert werden.

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, liegt die Stärke von Erklärvideos darin, Personen dazu zu befähigen, ein Konzept zu verstehen oder eine bestimmte Handlung durchzuführen. Daraus ergibt sich, dass die Zielvariablen für den Wissenszuwachs bei der Nutzung von Erklärvideos insbesondere im Konzeptwissen und dem deklarativen Handlungswissen liegen. Konzeptwissen meint hier, dass die Studienteilnehmer*innen ein Konzept verstehen und in einem bekannten und leicht veränderten Umfeld anwenden können (Urban-Woldorn & Hopf, 2012). Handlungswissen beschreibt hier die Fähigkeit, experimentelle Handlungen durchzuführen, Experimente auszuwerten und zu interpretieren (Schreiber, 2012; Schreiber, Theyßen & Schecker, 2014; Tesch & Duit, 2004). Deklaratives Handlungswissen ist zunächst die reine Benennung von wichtigen Schritten bei Aufbau und Durchführung des konkreten Experiments. Beide Wissensarten sollen mittels Fragebögen erhoben werden.

Um das Handlungswissen im Experiment noch genauer beobachten zu können, wird zusätzlich eine konkrete Aufgabe zum Erklärvideo formuliert (Schreiber, 2012). Da Erklärvideos in der Physik genutzt werden, um die Durchführung von Experimenten

zu unterstützen, soll daher auch für die Erhebung des Handlungswissens eine experimentelle Aufgabe formuliert und deren Bearbeitung beobachtet werden.

An diese Überlegung schließt Forschungsfrage 2 an, also die Frage nach einer möglichst wirksamen Einbettung der Erklärvideos in Lehr-Lerndesigns. Daher wird als weitere Dimension der Erhebung das Einsatzformat des Erklärvideos variiert. Beim Einsatz von Erklärvideos können zwei verschiedene Einbettungen in Lehr-Lerndesigns genutzt werden: Ein Erklärvideo kann entweder direkt mit einer Aufgabe zusammen präsentiert (synchron) oder ähnlich eines *Flipped Classroom* (asynchron) eingesetzt werden (vgl. Kapitel 2.5). Die zum Erklärvideo entwickelte experimentelle Aufgabe soll daher synchron oder asynchron zu dem Erklärvideo bearbeitet werden.

Forschungsfrage 3 fragt nach allgemeinen Personenmerkmalen, die das Lernen mit Erklärvideos moderieren. Dazu werden weitere Informationen über die Teilnehmer*innen, wie das Interesse an Erklärvideos, das Nutzungsverhalten und weitere demographische Daten, erhoben.

Insgesamt ergibt sich ein klassisches 2x2 Forschungsdesign. Variiert werden dabei die Qualität (FF 1) und das Einbettungsformat des Videos (FF 2).

Tabelle 8 2x2 Design der Studie: Variation in Einbettungsformat und Videoqualität

		Einbettung	
		Synchron	Asynchron
Videoqualität	Hoch	G1	G2
	Gering	G3	G4

Um diese Überlegungen zum Design umzusetzen, wird eine experimentelle Laborstudie durchgeführt. In Anlehnung an die in Kapitel 3.3 festgestellten Forschungsaufgaben soll dazu eine quantitative Studie mit einer adäquaten, statistisch auswertbaren Stichprobengröße durchgeführt werden. Um die Variablen jeweils zu messen und den Lernzuwachs zu bestimmen, wird die Studie als Pre-Post-Test Format geplant.

5.2 Auswahl des Themas der Erhebung

Die Erklärvideos werden für eine gymnasiale Mittelstufe des Landes NRW entwickelt. Beim Blick in den Kernlehrplan des Landes NRW, kommen dazu verschiedene mögliche Themenfelder in Betracht (Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019). Insbesondere die Elektrizitätslehre behandelt neben einer Vielzahl von verschiedenen physikalischen Konzepten auch verschiedene Arbeitsweisen: Es werden sowohl experimentelle Messungen vorgenommen als auch einfache Berechnungen angestellt. Dies findet man in nur wenigen anderen Themenbereichen

der Physik der Mittelstufe, wie z. B. der Mechanik oder der Optik. Ein Unterschied zu anderen Themenfeldern liegt jedoch darin, dass in der Elektrizitätslehre das Experiment verbreiteter ist und häufiger zum Einsatz kommt (Burde & Wilhelm, 2021; Tesch & Duit, 2004). Weiterhin erfordern optische Experimente häufig einen größeren Aufwand, da eventuell Räume abgedunkelt werden müssen und experimentelle Aufbauten einen größeren Platz zum Darstellen von Strahlengängen benötigen. Ein weiterer Vorteil der Elektrizitätslehre liegt in der Möglichkeit, sowohl komplexe Modelle wie elektrische Spannung, Widerstand und Stromstärke, als auch komplexe Handlungen, wie das Stecken von elektrischen Schaltungen, im Erklärvideo zu erklären. Weiterhin bietet das Themenfeld Elektrizitätslehre die Möglichkeit, den Grad der Mathematisierung zu wählen. Insbesondere die Bestimmung des elektrischen Widerstandes ist ein für die Schule relevantes Themengebiet (Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019), welches zunächst qualitativ und darauffolgend quantitativ behandelt werden kann.

Im Kernlehrplan der Sekundarstufe I in NRW wird zur Elektrizitätslehre in Inhaltsfeld 9 unter anderem Folgendes festgehalten (Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019, S. 39–40):

Die Schülerinnen und Schüler können....

zwischen der Definition des elektrischen Widerstands und dem Ohm'schen Gesetz unterscheiden (UF1),

die Beziehung von Spannung, Stromstärke und Widerstand in Reihen- und Parallelschaltungen mathematisch beschreiben und an konkreten Beispielen plausibel machen (UF1, UF4, E6),

elektrische Aufladung und Leitungseigenschaften von Stoffen mithilfe eines einfachen Elektronen-Atomrumpf-Modells erklären (E6, UF1),

elektrische Schaltungen sachgerecht entwerfen, in Schaltplänen darstellen und anhand von Schaltplänen aufbauen, (E4, K1),

Spannungen und Stromstärken messen und elektrische Widerstände ermitteln (E2, E5).

Um diese Anforderungen zu adressieren, eignen sich Erklärvideos sehr gut. Damit eignet sich dieses Thema auch besonders, um die in Kapitel 4 formulierten Forschungsfragen zu bearbeiten. Insbesondere der Mix aus Konzept und Handlung, also dem Verstehen eines Konzeptes und der experimentellen Handlung, kann durch ein Erklärvideo unterstützt werden. Somit scheint eine Erhebung im Bereich der Elektrizitätslehre sinnvoll.

Da ein Erklärvideo nicht länger als 8 – 10 min dauern sollte (vgl. Kapitel 2.1), kann nicht die gesamte Elektrizitätslehre in einem Erklärvideo erklärt werden. Daher soll das Erklärvideo auf das Konzept und die Bestimmung des elektrischen Widerstandes fokussiert werden. Das Lernziel ist hierbei: Die Adressat*innen des Videos können das Konzept des elektrischen Widerstandes beschreiben und sind in der Lage, diesen in einem einfachen Schaltkreis zu bestimmen. Hier zeigen sich die beschriebenen Vorteile der Elektrizitätslehre besonders deutlich: Ein komplexes Konzept und eine komple-

xe Handlung können in einem kurzen Video erklärt werden. Weiterhin nimmt die Ermittlung und Messung des elektrischen Widerstandes eine prominente Rolle im Lehrplan der Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen ein (Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019).

5.3 Auswahl der Stichprobe unter Corona-Bedingungen

Durch die Corona-Pandemie war eine Durchführung der ursprünglich für die Schule geplanten Erhebung nicht möglich. Die ersten Schulschließungen und flächendeckender Fernunterricht trafen die geplante Studie im Moment der Schulakquise. Da bereits alle Instrumente fertiggestellt und validiert waren, wäre eine komplette Neuplanung der Studie nicht möglich gewesen. Es stellte sich daher das Problem, eine neue und einfacher zugängliche Stichprobe auszuwählen, deren Probanden im Inhaltsfeld Elektrizitätslehre ein mit denen einer gymnasialen Mittelstufe vergleichbares physikalisches Vorwissen aufweisen.

Im Rahmen einer Analyse des Modulhandbuches für Bachelorstudierende des Sachunterrichts im Grundschullehramt und bisheriger Lehrerfahrungen des Autors stellte sich heraus, dass die Veranstaltung *Physikalische Grundlagen* in den Kompetenzerwartungen eine gewisse Schnittmenge mit der gymnasialen Mittelstufe hat und auch vom Komplexitätsgrad vergleichbar ist (Universität Paderborn, 2017). Vergleicht man die Studienordnung mit dem im Kernlehrplan NRW formulierten Inhaltsfeldern, sind diese zunächst ähnlich. Insbesondere das bereits ausgewählte Inhaltsfeld 9, Elektrizität (Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019) zeigt Parallelen zur Modulbeschreibung der Veranstaltung.

Als Stichprobe werden daher Studierende Sachunterrichts im Rahmen der universitären Veranstaltung *Physikalische Grundlagen* akquiriert. Diese Veranstaltung besteht aus zwei Teilen: Eine alle zwei Wochen stattfindende Vorlesung für die Studierenden und ein jeweils alle zwei Woche stattfindendes Praktikum, in dem die in der Vorlesung behandelten Themen praktisch umgesetzt werden sollen. Die Praktikumsgruppen sollen dabei eine Zahl von 30 Teilnehmer*innen nicht überschreiten. Die Auswahl von Studierenden des Sachunterrichts bietet für die Studie verschiedene Vorteile:

Da die Veranstaltung *Physikalische Grundlagen* im 1. Semester angesiedelt ist, sollten die Veranstaltung und die Erhebung der erste Kontakt mit der Physik an der Universität sein. Da die Veranstaltung durch die Arbeitsgruppe *Physikdidaktik*, in der auch der Autor arbeitet, durchgeführt wird, können die Inhalte vor der Erhebung und damit das Vorwissen sehr genau kontrolliert und etwaige Konfundierungen von Veranstaltung und Erhebung vermieden werden.

Ein weiterer Vorteil in der Auswahl von Studierenden des Sachunterrichts ist die Vermeidung aufwendiger Akquisemaßnahmen. Weiterhin wird durch die Auswahl der

Stichprobe eine gewisse Flexibilität in der Erhebung sichergestellt: Sowohl in Fernlehre als auch in Präsenzlehre steht diese Stichprobe zur Verfügung.

Kritisch kann die Auswahl der Stichprobe aus einer forschungsethischen Perspektive gesehen werden: Eine direkte Forschung an Schüler*innen war während der Corona-Pandemie nicht möglich, sodass die Forderung von Kay (2012) und Fiorella und Mayer (2018), Schule in den Mittelpunkt der Forschung zu stellen, nicht direkt erfüllt werden kann. Die Studie ist in den Verlauf der Veranstaltung eingebunden. Zwar haben die Studierenden die Möglichkeit, die Auswertung ihrer Daten für die Studie abzulehnen, jedoch müssen die Studierenden die einzelnen Aspekte der Erhebung als Seminarnachweis absolvieren. Die Studierenden müssen kein bestimmtes Leistungsniveau erreichen, um die Veranstaltung erfolgreich abzuschließen. Daher muss sichergestellt werden, dass die Studierenden ohne den Einfluss sozialer Erwünschtheit selbst entscheiden können, ob sie ihre Daten der Forschung zur Verfügung stellen wollen. Dafür wird im Rahmen der Erhebung ein Text formuliert (Anhang 1), der von den Studierenden anonymisiert bestätigt werden muss.

Mögliche Unterschiede zu einer gymnasialen Mittelstufe ergeben sich bei der ausgewählten Stichprobe auf der metakognitiven Ebene: Studierende haben durch ihr Alter und ihre Lernerfahrungen vermutlich ausgefeiltere metakognitive Strategien entwickelt als Schüler*innen und können mit verschiedenartigen Lernumgebungen vermutlich besser umgehen.

5.4 Ablauf der Studie unter Corona-Bedingungen

In einem nächsten Schritt soll der konkrete Ablauf der Studie beschrieben werden. Dazu wird zunächst der Verlauf der Veranstaltung *physikalische Grundlagen* wochenweise beschrieben. Im Anschluss wird der Ablauf der Studie und das Versuchsdesign im Detail beschrieben. Die Studie wird im Praktikumsteil der Veranstaltung in synchroner⁷ Fernlehre durchgeführt, da die Studierenden hierzu einfacher in verschiedene Versuchsgruppen eingeteilt werden können und eine größere zeitliche Flexibilität durch eine größere Anzahl an Terminen besteht. Der Rest des Semesters findet in asynchroner Fernlehre statt. Die Vorlesungen wurden als Video aufgezeichnet und entsprechend den Semesterwochen freigegeben. Die Bearbeitung der Vorlesungsfolien wird durch regelmäßige Onlinetests sichergestellt. Der Ablauf des Semesters ist in folgender Tabelle dargestellt:

⁷ Asynchron und Synchron können in diesem Zusammenhang zwei Bedeutungen besitzen: Einerseits ist damit die (a)synchrone Präsentation von Erklärvideos zu der Bewältigung einer Aufgabe gemeint und andererseits beschreibt es eine Form der universitären Lehre. Synchron bedeutet dabei, dass die Lehre über Videokonferenztools oder in Präsenz stattfindet, während asynchrone Lehre bedeutet, dass die Studierenden den Zeitpunkt, an dem sie sich mit Inhalten beschäftigen, selbst wählen können und Vorlesungen etc. z. B. aufgezeichnet wurden.

Tabelle 9 Semesterplan der Veranstaltung Physikalische Grundlagen 2020/2021

Woche	1	2 - 3	4 - 5	6 - 7	8 - 9	10 - 11	11 - 12
Praktikum		Schattenkonstruktion, Strahlenmodell des Lichts	Schattenkonstruktion	Brechungsgesetz	Pre-Test, Einführung in Simulation und OBS	Treatment und Post-Test	
Vorlesung	Optik 1: Der Sehvorgang und Schattenbilder	Optik 2: Reflexion, Brechung und Linsen	Optik 3: Farben und der Sehvorgang	Elektrizitätslehre 1: Wirkungen des Stroms und einfache Schaltkreise	Elektrizitätslehre 2: Von Ladungen zum Strom Elektrizitätslehre	3: Elektrische Grundgrößen	Magnetismus

In der Tabelle sind jeweils das Thema der asynchronen Vorlesung und die Themen der Praktika dargestellt. Die Praktika liefen bis zum Beginn der Pre-Tests in einem asynchronen Format. Die Studierenden müssen in diesen Praktika experimentelle Aufgaben bearbeiten und können dafür Erklärvideos zu einzelnen Experimenten als Hilfestellung nutzen.⁸ Im Rahmen des Praktikums müssen die Studierenden Versuchsprotokolle erstellen, für die sie ein formatives Feedback erhalten. Um keine inhaltlichen Konfundierungen zwischen Vorlesung, Praktikum und Erhebung zu erhalten, wird in den Vorlesungen der Inhalt der Erhebung nur am Rand behandelt. Vor dem Pre-Test findet nur eine kurze Einführung in die Elektrizitätslehre statt, ohne das für die Erhebung wichtige Thema des elektrischen Widerstandes zu behandeln. Die konkrete Einführung des Themas elektrischer Widerstand findet während der Erhebung statt. Die vorher behandelten Experimente sind alle im Bereich der Optik angesiedelt.

Die tatsächliche Erhebung findet als synchrone Fernlehre an zwei Terminen statt (Behrendt et al., 2021): Es gibt einen Termin für Pre-Test und Kennenlernen der verschiedenen Softwareumgebungen und einen Termin für Treatment und Post-Test. Die Termine finden in den letzten 5 Wochen des Semesters statt. Zwischen den Terminen besteht für die einzelnen Gruppen mindestens zwei Wochen Abstand.

⁸ Paderborner Erklärvideos: <https://www.youtube.com/channel/UCLFLCQseXBv5AOmVbx1JprQ>, zuletzt geprüft am 11.06.2022

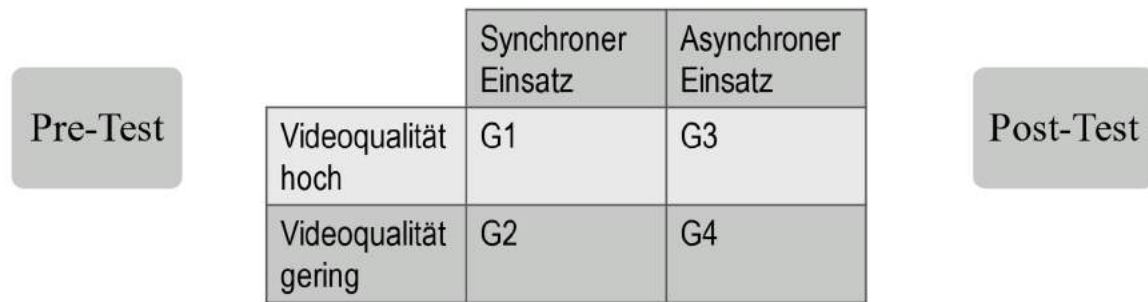


Abbildung 7 Grober Ablauf der Studie

Im Folgenden sollen zunächst die Inhalte des ersten Termins beschrieben werden: Nach einer kurzen Begrüßung sollen die Studierenden kleine Aufgaben zur Elektrizitätslehre mit einer Simulation bearbeiten (vgl. Kapitel 6). Die Aufgabe zur Simulation beinhaltet das zusammenstecken eines einfachen Stromkreises. Es wird nicht das für das Treatment wichtige Konzept des elektrischen Widerstandes angesprochen oder benötigt. Parallel dazu sollen die Studierenden üben, ihren Bildschirm mittels OBS Studio zu filmen und die entstandene Aufnahme anschließend bei sciebo, der Hochschulcloud des Landes NRW, hochzuladen. Das Ziel ist, dass während des Treatments möglichst wenig technische Probleme auftreten, die Treatment und Post-Test verzögern. Abschließend wird geprüft, ob alle Studierenden JAVA auf ihren Rechnern installiert haben und dies funktioniert. Dies ist für die automatisierte Erhebung der Interaktionen mit dem Erklärvideo notwendig (vgl. Kapitel 6). Der Pre-Test wird über einen Limesurvey-Server der Universität Paderborn zur Verfügung gestellt.

Im Anschluss an den Pre-Test werden die Treatmentgruppen gebildet. Dabei werden die Treatmentgruppen so auf die Praktikumsgruppen verteilt, dass keine signifikanten Unterschiede im Vorwissen existieren. Dadurch, dass die Studierenden im Onlinemester wenig Kontakt zu anderen Studierenden hatten und die bisherige Veranstaltung asynchron ablief, werden Gruppeneffekte vermutlich kleiner ausfallen als in Schulklassen. Es kann weiter von einer experimentellen Studie ausgegangen werden, da die Studierenden die Praktikumsgruppen nahezu zufällig gewählt haben.

Am zweiten synchronen Termin finden Treatment und Post-Test statt. Um gegen etwaige Ausfälle des automatisierten Programms zur Videonutzung abgesichert zu sein und die experimentelle Aufgabe zum Erklärvideo auswerten zu können, wird von den Studierenden zunächst OBS Studio gestartet. Alle Studierenden müssen während des gesamten zweiten Testtermins ihren Bildschirm aufzeichnen. Im Anschluss durchlaufen die Studierenden die verschiedenen Studienbedingungen, die in Abbildung 8 dargestellt sind.

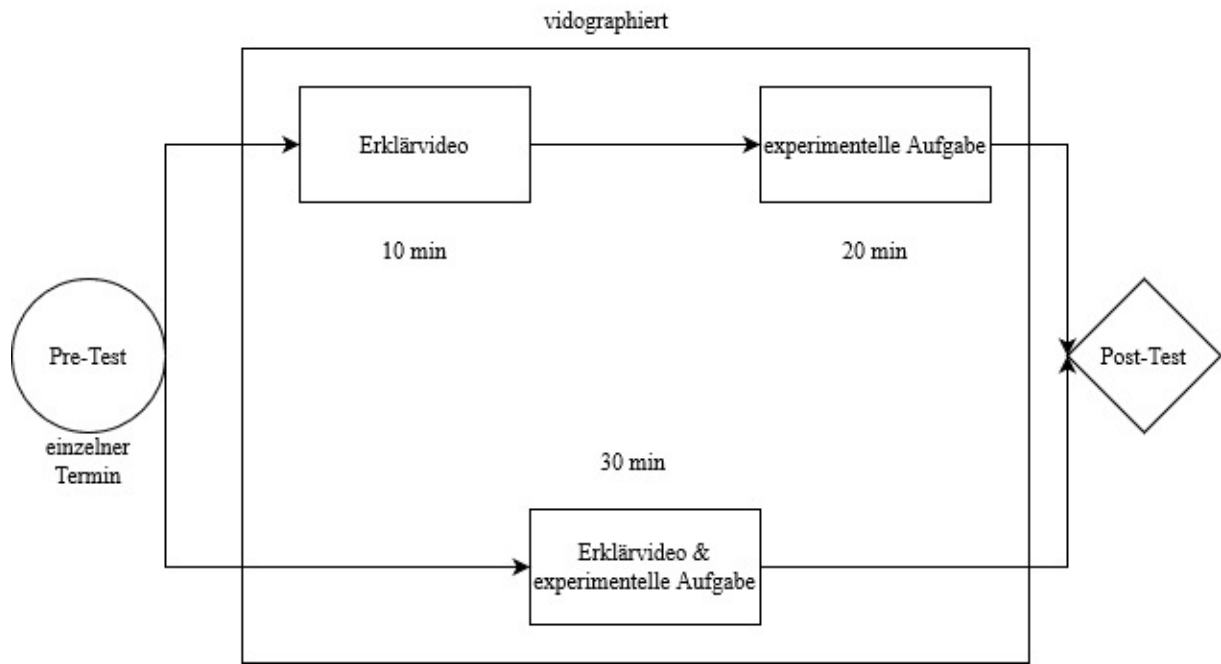


Abbildung 8 Zeitlicher Ablauf der Studie in Abhängigkeit der Treatmentgruppen synchron oder asynchron

Der Ablauf ist für die Gruppen mit hoher und niedriger Videoqualität derselbe. Verändert wird der Ablauf durch die (a)synchrone Darbietung des Videos. In Gruppen mit einem synchronen Treatment erhalten die Studierenden 30 min Zeit, eine experimentelle Aufgabe mithilfe eines Erklärvideos zu bearbeiten. In der asynchronen Treatmentvariante erhalten die Studierenden 10 min Zeit, das Video zu schauen und im Anschluss 20 min, um die experimentelle Aufgabe zu bearbeiten. Bei der Bearbeitung der experimentellen Aufgabe steht den Studierenden das Video nicht mehr zur Verfügung. Die Einhaltung dieser Versuchsbedingung wird durch die Videoaufzeichnung des Bildschirms mittels OBS Studio sichergestellt. In beiden Varianten wird im Anschluss daran der Post-Test durchgeführt. Die gesamte Studie wird während eines aufgrund der Corona-Pandemie in Fernlehre stattfindenden Semesters durchgeführt. Alle Termine der Erhebung wurden in einem synchronen Format durch den Studienleiter selbst durchgeführt. Dadurch, dass die Erhebung online über Zoom durchgeführt wird, ist es dem Versuchsleiter nicht möglich, Hilfestellungen in der Bearbeitung der experimentellen Aufgabe zu leisten, wie dies in der Präsenzlehre möglich wäre.

6 Instrumente

Im vorherigen Kapitel wurde auf Grundlage der theoretischen Überlegungen und der Forschungsfragen ein Design entwickelt. Eine besondere Relevanz erhält dabei die Entwicklung eines Erklärvideos und die Variation seiner Qualität. Weiterhin soll eine experimentelle Aufgabe zu diesem Erklärvideo entwickelt werden. Im Rahmen dieses Designs ist es notwendig, verschiedene Wissensarten, aber auch weitere Personenmerkmale zu erheben. Tabelle 10 gibt einen Überblick über die genutzten Instrumente, deren Entwicklung im Folgenden beschrieben wird.

Tabelle 10 Übersicht über die genutzten Instrumente

Pre-Test		Intervention	Post-Test	
Deklaratives Wissen	Handlungswissen	Videos zu Konzept und Bestimmung des elektrischen Widerstandes	Deklaratives Wissen	Handlungswissen
Konzeptwissenstest zum Thema Elektrizitätslehre		Programm zur Aufzeichnung der Videonutzung	Konzeptwissenstest zum Thema Elektrizitätslehre	
		Experimentalaufgabe: Durchführen des im Erklärvideo gezeigten Versuchs	Fragebogen zu Nutzungsverhalten von Erklärvideos und Interesse an Erklärvideos	

6.1 Entwicklung der Instrumente

6.1.1 Entwicklung der Erklärvideos

Für die Untersuchung des Einflusses der Videoqualität auf den Lernzuwachs (Forschungsfrage 1) werden verschiedene Erklärvideos benötigt. Ausgehend von dem im Kapitel 2.2.4 vorgestellten Modell zur Gestaltung möglichst lernwirksamer Erklärvideos soll im Folgenden die Entwicklung der Erklärvideos beschrieben werden. Aus dem Design folgt, dass zwei verschiedene Erklärvideos erstellt werden müssen: Ein möglichst lernwirksames mit einer hohen Qualität und ein Video mit einer geringeren

Qualität. Zunächst soll der Fokus auf das Video mit einer hohen Qualität gelegt werden. Um das Modell zur Gestaltung umzusetzen, wird sich hierzu an den typischen Abläufen einer Filmproduktion orientiert (Connelly, 2005). Diese läuft typischerweise in folgenden Schritten ab:

Tabelle 11 Ablauf der Erklärvideoproduktion

Schritt	Inhalt
Skript	Das Skript beinhaltet eine erste Version des zu sprechenden Textes mit ersten Regieanweisungen und möglichen Ideen für Bilder
Storyboard	Ein Storyboard unterteilt sich in drei Bereiche: Zeitstempel, gesprochener Text und erste Skizzen für Aufnahmen und Animationen
Dreh und Vertonung	Bilder und Ton werden unabhängig voneinander aufgenommen, um diese später einfacher zu bearbeiten und aufeinander abzustimmen. Das Video wird in einzelnen Szenen gefilmt.
Nachproduktion	Video wird geschnitten und Tonspur wird mit Video zusammengefügt

Im Folgenden soll zunächst die Erstellung des Skriptes beschrieben werden. Das Thema des Erklärvideos ist *Konzept und Bestimmung des elektrischen Widerstandes*. Das damit verfolgte Lernziel ist.

*Die Adressat*innen des Videos können das Konzept des elektrischen Widerstandes beschreiben und sind in der Lage, diesen in einem einfachen Schaltkreis zu bestimmen.*

Um dieses Thema in einem Erklärvideo aufzuarbeiten, ist zunächst ein geeignetes Modell zur Erklärung von Widerstand, Spannung und Stromstärke festzulegen. Dieses schließt an die Kategorie geeignete Auswahl einer Elementarisierung der Gestaltungskriterien an. Um eine große Anschlussfähigkeit an das Vorwissen zu erreichen, wird in einem ersten Schritt eine Schulbuchanalyse durchgeführt, um gängige Modelle zur Erklärung des elektrischen Widerstandes aufgreifen zu können:

In den aktuell zugelassenen Schulbüchern der Physik der Mittelstufe aus NRW (u. a. *Prisma Physik*, 2012; Dauven, 2020; Bühler & Burzin, 2020) wird für die Erklärung folgendes Modell gewählt: Der elektrische Widerstand wird auf einer mikroskopischen Ebene erklärt. Demnach ist der elektrische Widerstand die Ablenkung von Elektronen auf ihrem Weg durch einen Leiter durch Atomrümpfe. Dabei gilt, dass ein Widerstand

umso größer ist, je stärker ein Elektron auf seinem Weg behindert wird, also je häufiger es mit den Atomrümpfen kollidiert (Abbildung 9).

Der elektrische Widerstand

Die Einheit des elektrischen Widerstands ist das Ohm, benannt nach GEORG SIMON OHM (1789–1854). Als Einheitenzeichen wurde der griechische Buchstabe Ω (Omega) gewählt. Ein Leiter hat den elektrischen Widerstandswert 1 Ohm (1 Ω), wenn bei einer Spannung von 1 Volt die elektrische Stromstärke 1 Ampere gemessen wird.

$$1 \text{ Ohm } (\Omega) = \frac{1 \text{ Volt (V)}}{1 \text{ Ampere (A)}}$$

Wie wird der elektrische Strom in einem Draht gehemmt?
In jedem Metalldraht gibt es freie Elektronen, die sich ungeordnet im Draht bewegen (▷ B 4, oben). Die Metall-Ionen sind in einem Gitter angeordnet, dass als Metallgitter bezeichnet wird (▷ B 7). Wird eine Spannung angelegt, werden die freien, negativ geladenen Elektronen langsam durch den Draht zum Pluspol getrieben (▷ B 4, unten). Weil sie aber dabei immer wieder mit den Metall-Ionen zusammenstoßen, werden die Elektronen in ihrer Bewegung behindert. Je mehr Zusammenstöße stattfinden, desto stärker wird der gesamte Elektronenstrom „abgebremst“. Pro Sekunde bewegen sich dann weniger Elektronen an einer beliebigen Messstelle vorbei – die elektrische Stromstärke I wird kleiner. Aber noch etwas geschieht durch die Zusammenstöße: Die Ionen beginnen heftiger zu schwingen. Nach außen hin macht sich das durch eine Erwärmung des Drahtes bemerkbar. Wo elektrischer Strom fließt, entsteht auch Wärme.
[Struktur der Materie, S. 374]

Beispiel: Berechnung des elektrischen Widerstandswertes

Gegeben: $U = 6,2 \text{ V}$
 $I = 300 \text{ mA}$
 $(I = 0,30 \text{ A})$

Gesucht: R

Lösung: $R = \frac{U}{I}$
 $R = \frac{6,2 \text{ V}}{0,30 \text{ A}}$
 $R = 20,7 \frac{\text{V}}{\text{A}}$
 $R = 20,7 \Omega$

Bei der Spannung 6,2 V hat das Lämpchen einen Widerstandswert von 20,7 Ω .

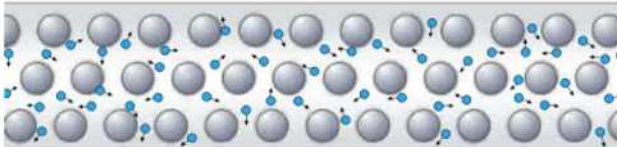
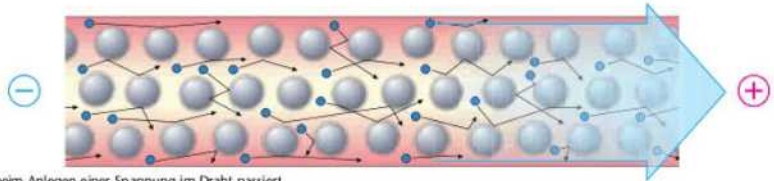


6 Betriebsdaten auf einem Glühlämpchen

5 Berechnung des Widerstandswertes

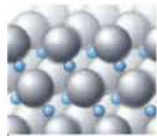
Aufgaben

- In einen Stromkreis werden unterschiedliche Bauteile eingebaut. Wie kannst du die Widerstandseigenschaften der Bauteile vergleichen, wenn nicht die Spannung, sondern die Stromstärke unverändert bleiben soll? Plane einen Versuch.
- Im angeschalteten Zustand fließt durch eine Kaffeemaschine ein Strom von 3,5 A. Wie groß ist ihr Widerstandswert?

4 Was beim Anlegen einer Spannung im Draht passiert.

7 Aufbau eines Metallgitters



115

Abbildung 9 Beispiel für das Modell zur Erklärung des elektrischen Widerstandes (Prisma Physik, 2012, S. 115)

Eine Vergrößerung des Widerstandes kann demnach durch eine dichtere Packung der Atomrümpfe erreicht werden. Weiterhin wird festgelegt, dass die Stromstärke die Anzahl der Elektronen pro Zeiteinheit ist, die einen bestimmten Punkt passieren, und dass die elektrische Spannung ein Antrieb für die Elektronen ist, sich in die gleiche Richtung zu bewegen. Eine Vergrößerung des Widerstandes kann demnach durch eine dichtere Packung der Atomrümpfe erreicht werden. In diesem Modell sorgt eine Vergrößerung der Spannung, also des Antriebs, zu einer Vergrößerung der Stromstärke.

Dies entspricht auch den Anforderungen des Kernlehrplans der Sekundarstufe I, der betont, dass Schüler*innen das Elektronen-Atomrumpfmodell erklären und nutzen können sollen. Aus der physikdidaktischen Forschung gibt es weitere, andere Vorschläge die Elektrizitätslehre einzuführen und den Widerstand zu erklären. Ein weit verbreitetes Modell ist das des Wasserkreislaufs (Burde & Wilhelm, 2021). Der Widerstand wird dabei als Hinderung des Wasserstroms beschrieben. Der Vorteil an diesem Modell ist die einfachere Vorstellbarkeit. Jedoch müssten in einem kurzen Erklärvideo zunächst sämtliche im Modell enthaltene Analogien erklärt werden, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass alle Studienteilnehmer*innen die Analogie kennen. Ein weiteres Modell zur Erklärung des elektrischen Widerstands ist das Modell eines steifen Rings (Härtel). Der Ring in diesem Modell stellt den Elektronenstrom dar, der von einem Motor (Spannung) als Ganzes angetrieben wird. Der Widerstand ist in diesem Modell eine Hinderung der Bewegung des Ringes aus Elektronen. Strukturell zeigt sich hier eine Ähnlichkeit zum ausgewählten Modell. Der Widerstand wird in beiden Modellen als Hinderung des Elektronenstroms angesehen. Ein aktuelles Modell zur Erklärung der Elektrizitätslehre, welches empirisch bereits validiert wurde, ist das Elektronengasmodell nach Burde (2018). In diesem Modell werden Elektronen als Gas und eine Spannung als Druckunterschied angesehen. Eine angelegte Spannung sorgt nun dafür, dass durch den Druckunterschied eine Bewegung der Elektronen bewirkt wird. Innerhalb der Analogie des Elektronengases wird der Widerstand als Hinderung durch ein Tuch beschrieben. Auf einer mikroskopischen Ebene findet sich bei Burde (2018) zusätzlich die Erklärung, dass der Widerstand eine Hinderung der Elektronen durch Atomrümpfe beschreibt (Burde, 2018). Um keine neue, unbekannte Analogie im Rahmen eines kurzen Erklärvideos zu nutzen, werden diese Modelle, wie das Elektronengasmodell oder das Ringmodell nicht weiter berücksichtigt. In den analysierten Schulbüchern für die Mittelstufe ist die gängige Form der Erklärung des Widerstandes, von sich bewegenden Elektronen in einem Leiter mit Atomrümpfen auszugehen. Der Widerstand ist dabei die Hinderung der Elektronen. Dies wird auch in anderen Modellen zur Erklärung zumindest teilweise aufgegriffen.

Um dem Kriterium *Struktur der Erklärung* gerecht zu werden, wird in einem nächsten Schritt die Struktur (vgl. Kapitel 2.2.4) des Erklärvideos festgelegt. Dazu kann das zu produzierende Erklärvideo in zwei Teilbereiche unterschieden werden: Die Erklärung des Konzeptes und die Durchführung einer Handlung. Insgesamt verfolgt das Video einen Regel-Beispiel Aufbau (vgl. Kapitel 2.2.4), da das Konzept des Widerstandes deutlich komplexer ist als die dazu gehörige Handlung des Messens. Die gesamte Strukturierung und Segmentierung des Videos lässt sich folgendermaßen beschreiben (vgl. Kapitel 2.2.4): Eine den Adressat*innen aus dem Unterricht /der Lehre bekannte Situation wird aufgegriffen und auf mikroskopischer Ebene beschrieben. Dabei wird nach einer kurzen Wiederholung der Grundbegriffe der Elektrizitätslehre Spannung und Stromstärke der Widerstand am Modell beschrieben und schrittweise qualitativ,

halbquantitativ und quantitativ eingeführt. Das Ohm'sche Gesetz und die Wärmeabhängigkeit des Widerstandes werden zunächst nicht benannt, sondern es wird nur eine Formel gegeben, um den Widerstand bei einer bestimmten Spannung und gemessenen Stromstärke zu berechnen. Diese Vereinfachung soll den Fokus auf das Konzept des Widerstandes legen. Dies ist im Rahmen einer Elementarisierung sinnvoll und könnte im späteren Verlauf um weitere Aspekte, wie das Ohm'sche Gesetz und die Wärmeabhängigkeit des elektrischen Widerstandes, ergänzt werden. Die Unterscheidung zwischen einfacher Berechnung des Widerstandes und dem Ohm'schen Gesetz findet sich auch im Kernlehrplan der Sekundarstufe I der Physik (Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019). Daran anschließend soll für ein gegebenes Bauteil die Größe des Widerstandes anhand der Messung der Größen Stromstärke und Spannung und der kennengelernten Formel zur Berechnung des Widerstandes eingeübt werden.

Beide Teile des Erklärvideos lassen sich dadurch weiter aufgliedern:

Die Startsituation der Erklärung ist eine für Unterricht und Lehre typischen Situation⁹:

Eine Schaltung wird aufgebaut, doch die Lampe leuchtet nur ganz schwach. Der Physiker würde sagen, der elektrische Widerstand der Lampe ist zu groß. Die Lampe kann bei der eingestellten Spannung nicht heller leuchten.

Dies lässt sich mit der Kategorie der *Relevanz für die Zielgruppe* des Kriterienkatalogs begründen. Diese Situation wird einigen Adressaten*innen bekannt sein und bildet so den Ausgangspunkt für das Erklärvideo. Anschließend wird die Situation, dass der elektrische Strom durch einen Glühdraht mit bestimmtem Widerstand fließt, dem Elektronen-Atomrumpfmolekülmodell folgend auf mikroskopischer Ebene beschrieben: Dazu wird zunächst dargelegt, dass sich die Atomrümpfe in einer festen Gitterstruktur befinden und die Elektronen sich im Leiter frei bewegen können. Darauf aufbauend wird die Situation beschrieben, in der eine Spannung an den Glühdraht gelegt wird und die Elektronen sich in eine Richtung bewegen. Die Anzahl der Elektronen pro Zeiteinheit, die durch einen Drahtquerschnitt wandern, wird als Stromstärke definiert. Der Antrieb der Elektronen wird als Spannung festgelegt. Weiter wird vereinfacht dargestellt, dass das Leuchten des Glühdrahtes und der Lampe aus Kollisionen zwischen Elektronen und Atomrümpfen entsteht, die diese zum Schwingen bringen (Heinz, 2004)¹⁰. Die Ablenkung der Elektronen durch die Atomrümpfe bei einer Kollisionen und damit der Behinderung, durch den Leiter zu fließen, wird als Widerstand definiert. Hierbei soll gelten, dass der Widerstand umso größer ist, je mehr Elektronen abgelenkt werden. Es findet im Anschluss ein Rückbezug auf die Ausgangssituation statt, indem gesagt wird, dass man bei einem bestimmten Widerstand den Antrieb vergrößern muss, damit

⁹ Das gesamte Skript des Erklärvideos kann in Anhang 2 eingesehen werden.

¹⁰ Dies ist im Rahmen der Elementarisierung eine Vereinfachung. Auf die Bedeutung der Gitterschwingungen für das Leuchten einer Glühlampe wird nicht genauer eingegangen.

mehr Elektronen pro Zeiteinheit durch den Leiter fließen, um eine Lampe heller leuchten zu lassen. Um eine schrittweise Einführung der Mathematisierung (vgl. 2.2.4) zu gewährleisten, wird dieser Zusammenhang zunächst halbquantitativ aufgegriffen und dann in die Formel $R = \frac{U}{I}$ übertragen. Wobei die Zusammenhänge zwischen R und U sowie R und I einzeln erläutert werden, wenn die dritte Variable feststeht. Auf die Wärmeabhängigkeit des Widerstandes und des Ohm'schen Gesetzes wird in diesem Video explizit verzichtet, da das Ziel des Videos zunächst in der Beschreibung des Konzeptes Widerstand und der experimentellen Bestimmung liegen soll.

Im zweiten Teil des Videos liegt der Fokus auf der experimentellen Bestimmung des elektrischen Widerstandes einer Glühlampe bei einer bestimmten Spannung. Dieser Teil ist einem klassischen Experiment nachempfunden: Geräte, Aufbau, Durchführung und Auswertung. In diesem Teil des Videos wird genau beschrieben, wie sowohl Spannung als auch Stromstärke mit einem Multimeter gemessen werden können und welche Ein- und Ausgänge benutzt werden sollen. Um dem Kriterium des Aufgreifens von Präkonzepten gerecht zu werden, wird noch einmal betont, dass im Modell gezeigt und erläutert wurde, wie die Elektronen durch den Leiter bewegt werden und dass daher der elektrische Strom nicht verbraucht wird, sodass irrelevant ist, an welcher Stelle die Stromstärke im Stromkreis gemessen wird. Dieser Hinweis soll dazu dienen, noch einmal explizit auf die Verbrauchs- und Lokaltätsvorstellung (vgl. Kapitel 2.2.4) einzugehen. Um dem Kriterium der Zusammenfassung gerecht zu werden, werden beide Teile des Videos am Ende in einer kurzen Zusammenfassung dargestellt. Als vertiefende Aufgabe (vgl. Kapitel 2.2.4) wird den Adressat*innen des Videos vorgeschlagen, nun selbst den elektrischen Widerstand zu bestimmen.

Das entstandene Erklärskript wird sprachlich optimiert und an die Zielgruppe angepasst. Dazu zählt eine direkte Ansprache der Adressat*innen (vgl. Direkte Ansprache, Kapitel 2.2.4) sowie das Einfügen verschiedener Konnektoren, um die geforderte hohe Kohärenz des Erklärvideos zu erreichen. Um die Kategorie *Vermeiden von unnötigen Exkursen* einzuhalten, werden nach Prüfung dahingehend alle unnötigen Exkurse entfernt. Nachdem das Erklärskript optimiert wurde, wird auf dessen Grundlage ein Storyboard angelegt. Ein Beispiel daraus ist in Abbildung 10 zu sehen.¹¹

¹¹ Das gesamte Storyboard ist unter Anhang 3 einzusehen.

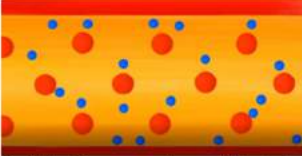
Beschreiben des Modells, Stromstärke und Spannung	Wir sehen die feststehenden Atome und Elektronen, die sich kreuz und quer frei durch den Draht bewegen (<i>Animation hinzufügen</i>). Erst wenn die Spannungsquelle eingeschaltet wird (<i>Einschalten der Spannungsquelle in kleinem Fenster einblenden</i>), fangen alle Elektronen gleichzeitig an, in die gleiche Richtung zu strömen. Die Spannung ist also der Antrieb für einen Elektronenfluss. Diesen Elektronenfluss nennt man Strom. Die Stärke des Stroms kann man sich so vorstellen: Wir können zählen, wie viele Elektronen an einer bestimmten Stelle in einer bestimmten Zeit vorbeikommen (<i>In Animation einfügen! Linie und Anzahl der Elektronen</i>). Dies nennt man Stromstärke.	 (Zufällige Bewegung, dann gerichtete Bewegung, Elektronen zählen einfügen)

Abbildung 10 Ausschnitt aus dem Storyboard des besseren Erklärvideos. Von Links nach Rechts: Beschreibung des Inhaltes, Erklärskript und Idee einer Visualisierung

Im Folgenden soll die mediale Gestaltung des Videos genauer beschrieben werden: In Anlehnung an die in Kapitel 2.1 vorgestellten Möglichkeiten der Visualisierung soll das Konzept des Widerstandes mithilfe von selbst gezeichneten Animationen beschrieben werden, die einen stilisierten Einblick in das Kabel ermöglichen. Dazu wurde die Software Rough Animator (iPadOS Version) genutzt, um jeweils einzelne Bilder zu zeichnen und ähnlich einem Daumenkino abzuspielen. In Abbildung 11 ist ein Beispiel für die Animation des Glühdrahtes zu sehen.

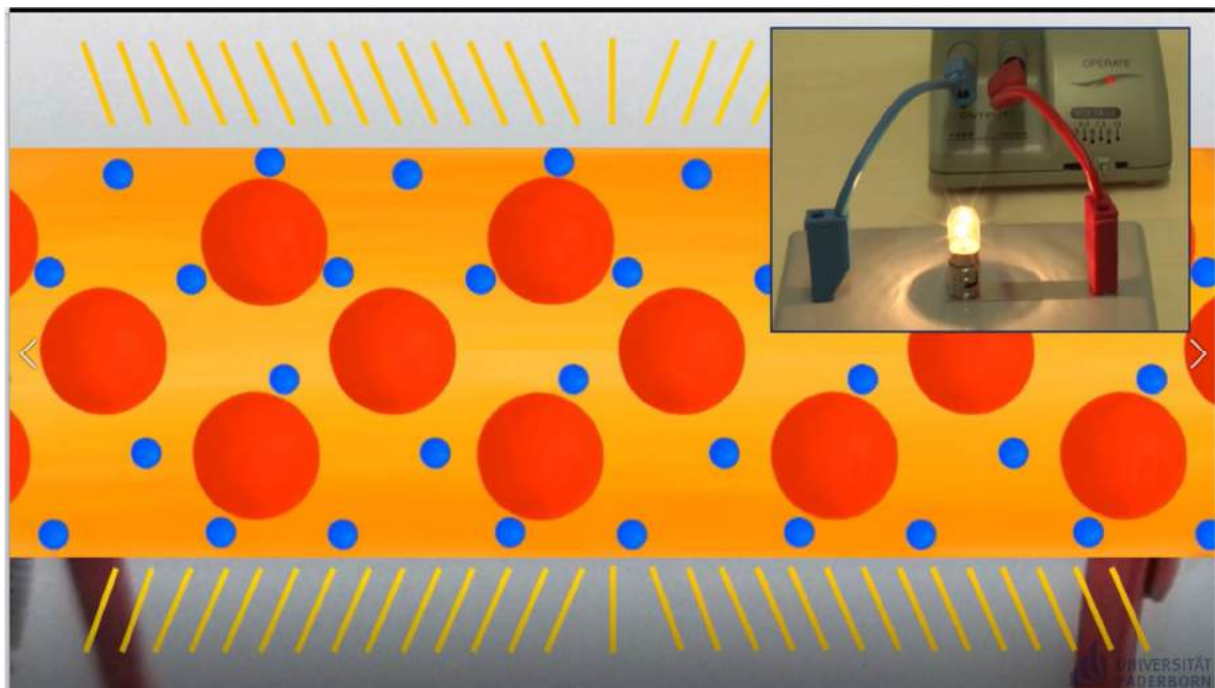


Abbildung 11 Visualisierung eines leuchtenden Glühdrahtes

Die Ausgangssituation wird comicartig (Abbildung 12) und die späteren Berechnungen in einer Art animierter PowerPoint Präsentation (Abbildung 13) dargestellt, die mit Explaindio visualisiert wurde.



Abbildung 12 Beginn des Erklärvideos

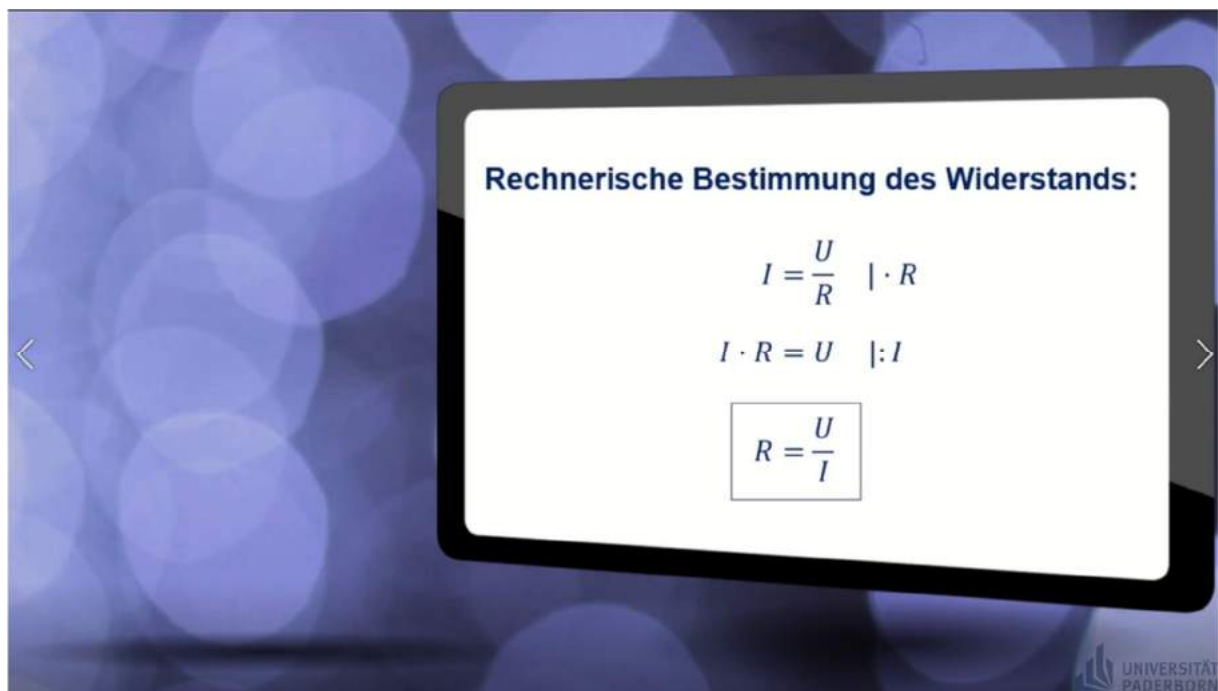


Abbildung 13 Beschreibung der mathematischen Bestimmung des elektrischen Widerstands

Der experimentelle Teil des Videos ist aus einer Perspektive des Experimentierenden gefilmt, um die Handlungen auf dem Tisch besser nachvollziehen zu können (Abbildung 14). An passenden Stellen werden die Handlungen durch Einblendungen von

Animationen unterstützt und es wird ein Rückbezug zum Konzept des Widerstandes hergestellt.

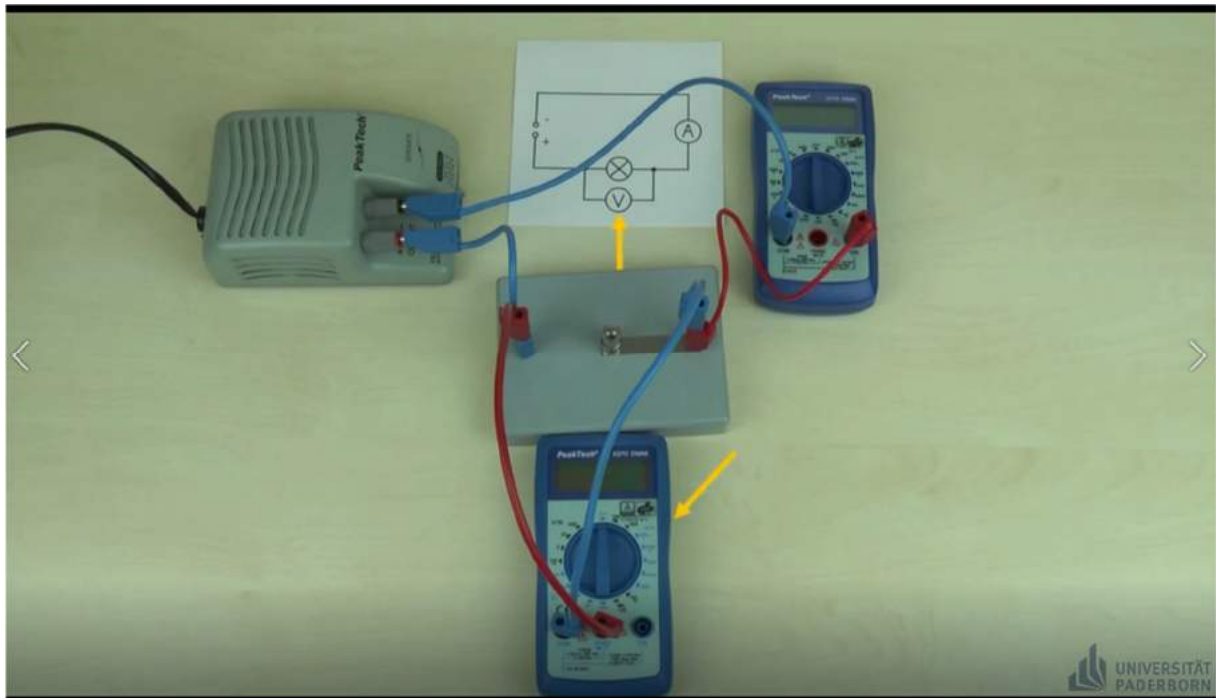


Abbildung 14 Ausschnitt aus der Erklärung der Handlung. Gelbe Pfeile sollen Verknüpfung von Schaltskizze und realen Messinstrument schaffen und werden im Video eingeblendet (Kontinguitätsprinzip)

Um möglichst beide Wahrnehmungskanäle (vgl. Kapitel 2.2.4) anzusprechen, ist der gesprochene Text stets durch Bilder unterstützt. Um die Gliederung des Videos und insbesondere die der experimentellen Handlung zu verdeutlichen, wird in der oberen rechten Ecke der aktuelle Handlungsschritt, z. B. Aufbau, als kurzer Text eingeblendet. Bei der Gestaltung der Aufnahmen wurde darauf geachtet, dass diese optisch ansprechend und hell sind, sodass alles zu erkennen ist. Weiterhin wurde für die Real-aufnahmen eine möglichst neutrale Tischoberfläche gewählt, um den Fokus auf die Handlungen zu legen. Auf ein Sprecherbild wird verzichtet.

Nachdem das Storyboard durch verschiedenes Feedback innerhalb der Arbeitsgruppe der Physikdidaktik der Universität Paderborn optimiert wurde, wird mit dem Dreh und dem Einsprechen des Skriptes begonnen. Die Realaufnahmen des Videos werden mit einer Panasonic Typ AG-AC90AEJ Kamera gefilmt und Animationsclips und Realaufnahme mit ShotCut geschnitten. Die Tonaufnahmen werden separat mit Audacity durchgeführt. Ton- und Videospur werden in Shotcut zusammengefügt¹²

In einem nächsten Schritt wird das Video mit der geringeren didaktischen Qualität entworfen. Dazu wird zunächst als Prämisse festgelegt, dass auch das Video mit der geringeren Qualität fachlich weiterhin angemessen sein muss und keine falschen Er-

¹² Das fertige Video ist unter: https://youtu.be/QmPGLR_fvKs einzusehen. Zuletzt geprüft am 06.07.2022

klärungen gegeben werden. Weiterhin soll das genutzte Modell des elektrischen Widerstands und die Analogie aus Gründen der Vergleichbarkeit gleich gelassen werden. Auch die Gesamtstruktur des Videos bleibt ähnlich, wobei die Zusammenfassung deutlich kürzer ausfällt und weniger Informationen aus dem Video aufgreift. Um das Video weniger an die Zielgruppe anzupassen und dabei fachlich weiterhin angemessen zu formulieren, wird der Detailgrad der physikalischen Erklärungen erhöht, sodass dieser nicht mehr zu der Zielgruppe passt.¹³ In der Erklärung werden Exkurse eingeführt und zum Teil nicht notwendige Informationen gegeben. Die Mathematisierung wird direkt quantitativ eingeführt. Die Adressat*innen werden nicht mehr direkt angesprochen. Weiterhin werden in der Gestaltung des Videos optische Hilfestellungen wie Einblendungen herausgeschnitten und Animationen zum Teil durch Standbilder ersetzt. Insgesamt ergibt sich dadurch ein inhaltlich vergleichbares Video mit physikalischen Exkursen, geringerer Kohärenz und deutlich geringerer Anpassung an die Zielgruppe. Die Beispiele sind weniger alltagsnah gewählt und auf Präkonzepte wird nicht eingegangen, sondern diese werden unkommentiert im Raum stehen gelassen.¹⁴

Die Validierung der Qualität des Videos und eine ökologische Validierung durch Vergleich mit anderen YouTube Videos wird in Kapitel 6.2.1 vorgenommen.

6.1.2 Entwicklung der anderen Instrumente

Aus dem Design folgt, dass neben dem Erklärvideo an sich weitere Instrumente genutzt werden sollen. Diese beinhalten Fragebögen zum deklarativen Handlungswissen sowie Konzeptwissen und Experimentalaufgaben. Deren Erstellung oder Auswahl soll im Folgenden beschrieben werden. Den Ausgangspunkt dazu bilden die Wissenstests, gefolgt von einem Fragebogen zu Interesse an und Nutzung von Erklärvideos und einem Programm zur automatisierten Aufzeichnung der Videonutzung.

6.1.2.1 Deklaratives Handlungswissen

In der Studie zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos steht neben der Wirkung auf das Verständnis von Konzepten auch die Wirkung auf das Präsentieren und Durchführen von Handlungen im Mittelpunkt. Um den Zuwachs eines solchen Handlungswissens zu ermitteln, eignen sich vor allem reale Experimentiersituationen. Aus testökonomischen Gründen und für einen Einblick in die Wissensstruktur können weiterhin Testinstrumente, die Wissen nahe dem Experiment abfragen, genutzt werden (Schreiber, 2012). Im Rahmen dieser Untersuchung soll dieses deklarative Handlungswissen im Bereich der Elektrizitätslehre und insbesondere der Widerstandsbestimmung erhoben werden. Nach Schreiber (2012) existieren in experimentellen Handlungen acht Schrit-

¹³ Das gesamte Skript ist unter Anhang 4 einzusehen.

¹⁴ Das fertige Video ist unter: <https://youtu.be/cU8AVyQBzWM> einzusehen. Zuletzt geprüft am 06.07.2022

te, die durchlaufen werden. Der Fokus bei dieser Erhebung liegt auf der konkreten Durchführung des Experimentes und nicht in den anderen Phasen experimenteller Handlungen, wie z. B. dem Planen und Auswerten. Um das deklarative Handlungswissen zu bestimmen, wird angelehnt an Schreibers (2012) Theorie ein Test entwickelt, der auf die konkreten Handlungen und Geräte der Widerstandsbestimmung aus dem Erklärvideo eingeht. Die Besonderheit an diesem Testinstrument ist, dass die meisten Items eine zweite Stufe als Begründung nach Chandrasegaran, Treagust und Mocerino (2007) enthalten. Hiermit soll sichergestellt werden, dass die Ratewahrscheinlichkeit sinkt und so der Wissenszuwachs in diesem Bereich genauer bestimmt werden.

Das Testinstrument ist als Single-Choice Two-Tier-Test entwickelt worden. Zur Generierung der Items wurden die Handlungen, die nötig sind, um die Messung zur Bestimmung des Widerstandes durchzuführen, schrittweise in Items übersetzt. Zunächst ergeben sich folgende Schritte der Durchführung:

Tabelle 12 Handlungsschritte zur experimentellen Bestimmung des Widerstands und dazu typische Handlungen

Handlungsschritt	Typische Handlungen
1. Lesen eines Schaltplans	Der Aufbau und die Geräte eines Schaltplans müssen erkannt werden Fehlerhafte Schaltpläne müssen identifiziert werden
2. Aufbau der Schaltung	Schaltung muss gesteckt werden Plus und Minuspol der Spannungsquelle müssen korrekt mit dem Rest der Schaltung verbunden werden Verbraucher wie z. B. Lampen müssen mit Minus und Pluspol verbunden werden
3. Einbau und Messung mit einem Amperemeter	Amperemeter muss in Reihe geschaltet werden Korrekte Verwendung von Ein- und Ausgängen des Multimeters Korrekte Wahl der Skala am Multimeter
4. Einbau und Messung mit einem Voltmeter	Voltmeter muss parallel geschaltet werden Korrekte Verwendung von Ein- und Ausgängen Korrekte Wahl der Skala am Multimeter
5. Beachten der Spannungslimits	Maximale Spannung von Verbrauchern wird überprüft und nicht überschritten

Für jeden dieser Handlungsschritte werden Items entwickelt, die genau die Handlung des Experiments abbilden sollen. Zwar betont Schreiber (2012), dass ein Test die reale Beobachtung von Handlungen zur Messung der experimentellen Kompetenz nicht ersetzen kann, jedoch ist das Ziel dieses Testinstruments, zunächst deklaratives Wissen zum Experiment zu messen, z. B. auf welche Skala ein Multimeter eingestellt werden muss. Diese Fragen sind sehr konkret an die im Video gezeigte Handlung angeknüpft. Es findet somit kein Transfer zwischen Video und Test statt, sodass dieses Testinstrument auch als reiner Repetitionstest gesehen werden kann, der überprüft, welche Informationen aus dem Video behalten wurden. Die Distraktoren für die einzelnen Fragen basieren auf typischen Präkonzepten (Wilhelm & Hopf, 2018) und Beobachtungen aus typischen Handlungen im Rahmen der Veranstaltung *Physikalische Grundlagen*.

Die genutzten Items wurden hinsichtlich ihrer Abbildungen an das Erklärvideo angepasst, sodass keine Unterschiede in der Darstellung entstehen und die bereits beschriebene Ebene der Begründung eingefügt. Dadurch wurden 2 – 5 Items für die einzelnen Handlungsschritte entwickelt und insgesamt besteht der Test damit aus 8 Items, von denen 6 Items zweistufig sind. Ein zweistufiges Item wird nur als richtig bewertet, wenn sowohl die erste als auch die zweite Stufe richtig beantwortet sind (Chandrasegaran et al., 2007; Urban-Woldorn & Hopf, 2012).

Ein Beispielitem ist in Abbildung 15 dargestellt¹⁵.

¹⁵ Das gesamte Testinstrument ist unter Anhang 5 einzusehen.

Du willst die Stromstärke in einem Stromkreis mit einer Lampe mit den Herstellerangaben 5 V und 1 A messen.
Kreuze an, welchen der markierten Messbereiche du einstellst:



❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ 5

In der vorhergegangenen Aufgabe hast du angegeben, welchen Messbereich des Multimeters du für die Messung der Stromstärke verwenden möchtest. Welche Begründung passt zu deiner Antwort?

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Ich wähle 1, da man immer mit der größten Einstellung anfängt.
☐ Ich wähle 3, da dies der optimale Messbereich für 1 A ist.
☐ Ich wähle 4, da Ω der Stromstärke entspricht.
☐ Ich wähle 5, da die Stromstärke 4,5 V entspricht.

Abbildung 15 Ausschnitt aus dem Testinstrument zum deklarativen Handlungswissen

Dieser Fragebogen wird für den Einsatz in LimeSurvey optimiert. Dabei ergibt sich folgende Aufteilung: Jedes Item, mit beiden Stufen, wird auf einer einzelnen Seite dargestellt und das nächste Item kann nur durch einen Seitenwechsel erreicht werden. Für die Bearbeitung des Testinstruments haben die Studierenden zehn Minuten Zeit.

6.1.2.2 Experimentieraufgabe zum Erklärvideo

Wie im Design und dem Modell zur Gestaltung eines Erklärvideos bereits beschrieben, soll ein Erklärvideo nicht ohne weitere Aufgaben genutzt werden, in denen das Erklärte aufgegriffen wird, da z. B. im Erklären von experimentellen Handlungen eine Stärke von Erklärvideos liegt. Dazu wird im Kriterienkatalog zur Qualität von Erklärvideos (vgl. Kapitel 2.2.4) und in Anlehnung an Kulgemeyer (2018a) eine nachfolgende Aufgabe, hier eine experimentelle Aufgabe aufbauend auf dem Erklärvideo, vorgeschlagen. Die Bearbeitung dieser Aufgabe wird bei allen Studienteilnehmer*innen videographiert und ausgewertet. Die Aufgabe ist das Aufbauen, Durchführen und Auswerten des im Experiment gezeigten Versuchs. Nach Schreiber et al. (2014) ist die Beobachtung von Realexperimenten oder Simulationen unerlässlich, um einen Einblick in die experimentelle Kompetenz zu erhalten. Dies soll durch diese Aufgabe ermöglicht werden.

In der synchronen Variante des Treatments haben die Teilnehmer*innen zur Bearbeitung der Aufgabe mit Hilfe des Erklärvideos 30 Minuten Zeit und können das Erklärvideo nach Belieben nutzen. In der asynchronen Variante haben die Teilnehmer*innen 20 Minuten Zeit für die Aufgabe, nachdem sie vorher zehn Minuten lang das Video nach Belieben nutzen konnten. In der asynchronen Variante war den Studierenden, angelehnt an die Überlegungen zum Flipped Classroom, ihre spätere Aufgabe bereits bekannt. Im Erklärvideo selbst wird nur Aufbau, Durchführung und Auswertung erklärt. Somit sind Planung und Strukturierung des Experiments nicht Teil des Videos und werden somit auch nicht durch das Video gefördert. Um diesem Aspekt gerecht zu werden und um die Teilnehmer*innen zu unterstützen, erhalten sie ein Arbeitsblatt, welches die Handlungen des Experiments vorstrukturiert. Das heißt, es wird festgelegt, dass ein Aufbau stattfinden muss, eine Durchführung beschrieben werden soll und eine Auswertung das Experiment abschließt. Dadurch wird während der Erhebung nicht die allgemeine experimentelle Kompetenz geprüft, sondern nur das Abarbeiten von Aufbau, Durchführung und Auswertung und dies auf einer deklarativen Wissenssebene. Dies schließt sich an das Bewertungsmanual an, welches zunächst nur das Durchführen von notwendigen Handlungen bewertet. Das Arbeitsblatt ist vollständig in Anhang 6 einzusehen. In Abbildung 16 ist ein Teil des Arbeitsauftrages dargestellt:

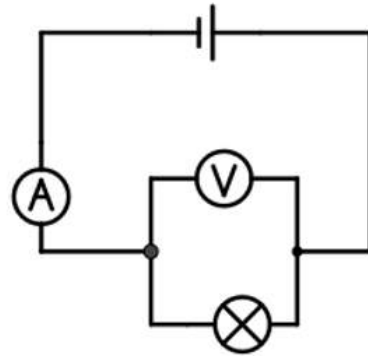
Euer Code: _____ (Erinnerung: die ersten beiden Buchstaben eures Nachnamens, die ersten beiden Buchstaben der Straße in der ihr wohnt und den Tag eurer Geburt)

Bestimmung des Widerstandes einer Lampe

Aufgabe:

1. Baue die rechtsstehende Schaltung zur Bestimmung des Widerstands einer Lampe bei verschiedenen Spannungen auf.
2. Messe Stromstärke und Spannung an der Lampe bei verschiedenen Einstellungen an der Spannungsquelle
3. Bestimme rechnerisch den Widerstand der Lampe

Stelle an der Spannungsquelle höchstens die für die Lampe maximal geeignete Spannung ein!



Du hast dabei folgendes Material zur Verfügung:

Spannungsquelle, 2 Multimeter, Lampe, Lampenhalterung, Kabel

Notiere hier das Vorgehen beim Aufbau:

Abbildung 16 Experimentelle Aufgabe zum Video

Um die Forschungsfragen zu bearbeiten und die experimentelle Performanz zu bewerten, wird ein Manual zur Bewertung der Durchführung des Versuchs angelegt. Es wird nur bewertet, ob die Schritte, die zur korrekten Durchführung der Messung des Widerstandes führen, durchlaufen wurden und ob die Auswertung zum Versuchsziel passt. Es findet keine Interpretation oder weitere Auswertung der Handlung statt. Dies kann auf die Forschungsfragen zurückgeführt werden. Es soll zunächst nur das deklarative Handlungswissen beobachtet werden. Da ein Erklärvideo in Lehr-Lernprozessen nur eine unterstützende Aufgabe einnehmen kann (vgl. Kapitel 2.3), ist das Ziel zunächst, Handlungen nachmachen zu können. Dementsprechend ist die Abfrage von deklarativem Handlungswissen und damit die Bewertung eher mechanischer Handlungen hinreichend. Die einzelnen Kategorien des Bewertungsmanuals werden deduktiv aus der

Durchführung des Versuchs gewonnen. Die einzelnen Aspekte werden entweder dichotom oder mit einer Zwischenstufe bewertet. Dichotome Aspekte sind z. B. die Kontrolle der Maximalspannung der Lampe. Bei den gestuften Aspekten kann der experimentelle Aufbau noch verbessert werden, z. B. durch ein Umstecken der Schaltung. Wird z. B. ein Amperemeter direkt richtig in Reihe geschaltet, erhält die Teilnehmer*in 2 Punkte und für ein Ausprobieren und dann in Reihe schalten 1 Punkt. Es werden folgende Aspekte durch das Bewertungsmanual bewertet:

Tabelle 13 Bewertungsmanual der experimentellen Handlung

Item	Codierung	Beispiele
Ist das Amperemeter in Reihe geschaltet?	0 = Amperemeter wird NIE in Reihe geschaltet 0= Amperemeter wird NUR MIT offensichtlicher Hilfe richtig geschaltet 1= Amperemeter wird NICHT SOFORT in Reihe geschaltet 2= Amperemeter wird SOFORT in Reihe geschaltet 2= Amperemeter wird VOR einschalten der Spannungsquelle in Reihe geschaltet. Event. werden Fehler behoben	0 = Amperemeter ist parallelgeschaltet 0 = Student*in steckt nach Hinweis vom Versuchsleiter die Schaltung um 1= Student*in nutzt <i>Trial-and-Error Method</i> 2= Student*in schaltet Amperemeter direkt richtig 2= Student*in bemerkt, bevor er die Spannungsquelle einstellt, seinen Fehler
Ist der Com-Anschluss des Amperemeters mit dem Minuspol verbunden?	0 = Amperemeter wird NIE mit dem Minuspol verbunden 0= Amperemeter wird NUR MIT offensichtlicher Hilfe richtig geschaltet 1= Com Buchse des Amperemeters wird NICHT SOFORT mit dem Minuspol verbunden 2 = Com Buchse des Amperemeters wird SOFORT richtig verbunden, Student*in bemerkt Fehler, BEVOR er die Spannungsquelle einschaltet	0 = Student*in steckt nach Hinweis vom Betreuer die Schaltung um 1= Student*in nutzt <i>Trial-and-Error Method</i> 2= Student schaltet Ampere-meter direkt richtig 2= Student*in bemerkt, bevor er die Spannungsquelle einstellt, seinen Fehler
Ist die 10 A-Buchse mit dem Pluspol verbunden?	0 = Amperemeter wird NIE mit dem Pluspol verbunden 0= Amperemeter wird NUR MIT offensichtlicher Hilfe richtig geschaltet 1= 10 A Buchse des Amperemeters wird NICHT SOFORT mit dem Pluspol verbunden 2 = 10 A Buchse des Amperemeters wird SOFORT richtig verbunden, Student*in bemerkt Fehler, BEVOR er die Spannungsquelle einschaltet,	0 = Student*in steckt nach Hinweis vom Betreuer die Schaltung um 1= Student*in nutzt <i>Trial-and-Error Method</i> 2= Student*in schaltet Amperemeter direkt richtig 2= Student*in bemerkt, bevor er die Spannungsquelle einstellt, seinen Fehler
Wurde der Messbereich korrekt eingestellt?	0= Messbereich 10 A wird NIE richtig ausgewählt 0= Messbereich wird NUR MIT offensichtlicher Hilfe richtig ausgewählt 1= Messbereich 10 A wird NICHT SOFORT ausgewählt 2= Messbereich 10 A wird direkt richtig ausgewählt, Student*in bemerkt Fehler BEVOR	1= Messbereich wird durch <i>Trial-and-Error Methode</i> ausgewählt 2= Messbereich wird direkt richtig ausgewählt

Item	Codierung	Beispiele
Wurde der Messbereich des Amperemeters gewechselt?	er die Spannungsquelle einschaltet 0= Messbereich wird nie gewechselt, Messbereich wird gewechselt, Buchsen jedoch nicht 1= Messbereich wird vor Einschalten der Spannungsquelle direkt gewechselt 2= Messbereich des Amperemeters wird GEWECHSELT, um Daten besser aufnehmen zu können	1= Nach Hinweis wird der Messbereich geändert 1= Es wird direkt mit mA Buchse gemessen 2= Nach erster Messung wird der Messbereich gewechselt
Ist das Voltmeter parallelgeschaltet?	0 = Voltmeter wird NIE parallelgeschaltet 0= Voltmeter wird NUR MIT offensichtlicher Hilfe richtig geschaltet 1= Voltmeter wird NICHT SOFORT parallelgeschaltet 2= Voltmeter wird SOFORT parallelgeschaltet, Student*in bemerkt Fehler, BEVOR er die Spannungsquelle einschaltet	0 = Student*in steckt nach Hinweis vom Betreuer die Schaltung um 1= Student*in nutzt <i>Trial-and-Error Method</i> 2= Student*in schaltet Voltmeter direkt richtig 2= Student*in bemerkt, bevor er die Spannungsquelle einstellt, seinen Fehler
Ist der Com-Anschluss des Amperemeters mit dem Minuspol verbunden?	0 = Voltmeter wird NIE mit dem Minuspol verbunden 0= Voltmeter wird NUR MIT offensichtlicher Hilfe richtig geschaltet 1= Com Buchse des Voltmeters wird NICHT SOFORT mit dem Minuspol verbunden 2 = Com Buchse des Voltmeters wird SOFORT richtig verbunden. Student*in bemerkt Fehler, BEVOR er die Spannungsquelle einschaltet	0 = Student*in steckt nach Hinweis vom Betreuer die Schaltung um 1= Student*in nutzt <i>Trial-and-Error Method</i> 2= Student*in schaltet Voltmeter direkt richtig 2= Student*in bemerkt, bevor er die Spannungsquelle einstellt, seinen Fehler
Ist die V/mA-Buchse mit dem Pluspol verbunden?	0 = Voltmeter wird NIE mit dem Pluspol verbunden 0= Voltmeter wird NUR MIT offensichtlicher Hilfe richtig geschaltet 1= V/mA Buchse des Voltmeters wird NICHT SOFORT mit dem Pluspol verbunden 2 = V/mA Buchse des Voltmeters wird SOFORT richtig verbunden. Student*in bemerkt Fehler, BEVOR er die Spannungsquelle einschaltet	0 = Student*in steckt nach Hinweis vom Betreuer die Schaltung um 1= Student*in nutzt <i>Trial-and-Error Method</i> 2= Student schaltet Voltmeter direkt richtig 2= Student*in bemerkt, bevor er die Spannungsquelle einstellt, seinen Fehler
Wurde der Messbereich korrekt eingestellt?	0= Messbereich 20V wird NIE richtig ausgewählt 0= Messbereich wird NUR MIT offensichtlicher Hilfe richtig gewählt 1= Messbereich 20V wird NICHT SOFORT ausgewählt 2= Messbereich 20V wird direkt richtig ausgewählt. Student*in bemerkt Fehler, BEVOR er die Spannungsquelle einschaltet	1= Messbereich wird durch <i>Trial-and-Error Methode</i> ausgewählt 2= Messbereich wird direkt richtig ausgewählt
Wurde die maximal mögliche Spannung für die Lampe kontrolliert?	0= Nein 1= Ja	

Item	Codierung	Beispiele
Wurden an der Spannungsquelle verschiedene Stufen ausgewählt?	0= Nein 1= Ja	
Wurde an der Spannungsquelle maximal 6 V eingestellt?	0= Nein 1= Ja	
Wurde für die Berechnung die richtige Formel verwendet?	0= Nein 1= Ja	
Wurde ein richtiges Ergebnis erhalten (Zahlenwert) ?	0= Nein 1= Ja	
Wurde die richtige Einheit des Ergebnisses aufgeschrieben?	0= Nein 1= Ja	

Zur Bewertung der einzelnen Studierenden wird eine graphische Oberfläche in Excel mittels VBA entwickelt. Diese erleichtert die Bewertung und sorgt für eine größere Testökonomie. Diese Bewertungsoberfläche ist in Abbildung 17 dargestellt.

Abbildung 17 Ausschnitt aus dem Bewertungstool zur experimentellen Aufgabe. Das Bewertungstool soll die Bewertung ökonomischer gestalten.

Die Erhebung musste aufgrund der Corona-Pandemie in einer synchronen online Variante stattfinden. Dazu musste die experimentelle Aufgabe angepasst werden: Zunächst

können die Teilnehmer*innen nicht in gewohnter Laborumgebung experimentieren, sodass das Experiment durch eine Simulation substituiert werden muss. Nach Schreiber et al. (2014) kann dies ein vielversprechender Ansatz sein, um die experimentelle Kompetenz zu erfassen. Dazu muss zunächst eine möglichst stabil einsetzbare und realitätsnahe Simulationsumgebung ausgewählt werden. Die Wahl dazu fällt auf die Simulation *Circuit Construction Kit* von PhetColorado (PhET Interactive Simulations, 2021). Diese Umgebung ist äußerst intuitiv zu bedienen, sodass eine kurze Einführung in die Simulation vor dem Pre-Test für ausreichend gehalten wird. Weiterhin bietet diese Simulation die Möglichkeit, Strom und Spannung zu messen. Die Simulation vereinfacht den Vorgang der Strom und Spannungsmessung jedoch dahingehend, dass Ein- und Ausgang des Ampere-/Voltmeters nicht frei gewählt werden können und keine Skala eingestellt werden muss. Weiterhin kann keine direkte Unterstützung durch den Versuchsleiter über Zoom erfolgen, sodass diese Aspekte des Versuchsmanuals nicht beachtet werden müssen. Dadurch verändert sich das Bewertungsmanual, sodass folgende Items nicht mehr verwendet werden:

Tabelle 14 Herausgenommene Items des Bewertungsmanuals aus Tabelle 13

Ist der Com-Anschluss des Amperemeters/Voltmeters mit dem Minuspol verbunden?
Ist die 10 A-Buchse/V/mA mit dem Pluspol verbunden?
Wurde der Messbereich korrekt eingestellt?
Wurde die maximal mögliche Spannung für die Lampe kontrolliert?
Wurde an der Spannungsquelle maximal 6 V eingestellt?

Ein Beispiel für eine aufgebaute Schaltung ist in Abbildung 18 zu sehen.

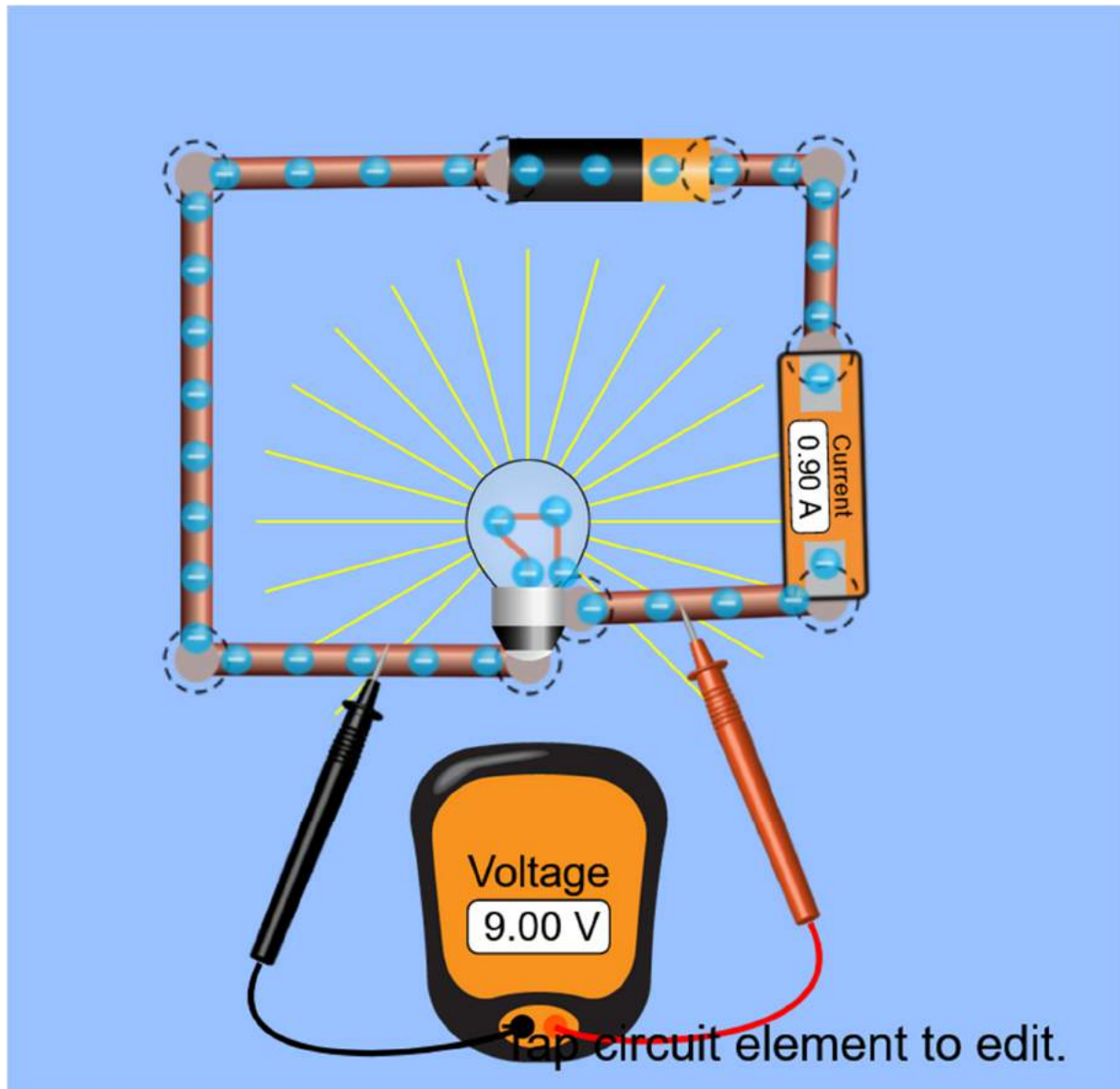


Abbildung 18 Aufgebaute Schaltung zur Bestimmung des elektrischen Widerstands in der Simulation

Das Amperemeter ist ein reguläres Element des Schaltkreises und kann daher sowohl richtig in Reihe oder falsch parallel zu einem Verbraucher eingebaut werden, während das Voltmeter nur parallel in die Schaltung eingebaut werden kann. Die Spannung kann an der Batterie verändert werden und die Lampe besitzt eine Maximalspannung. Wird diese überschritten, fangen die Lampe bzw. bei einem Kurzschluss die Batterie an zu brennen:

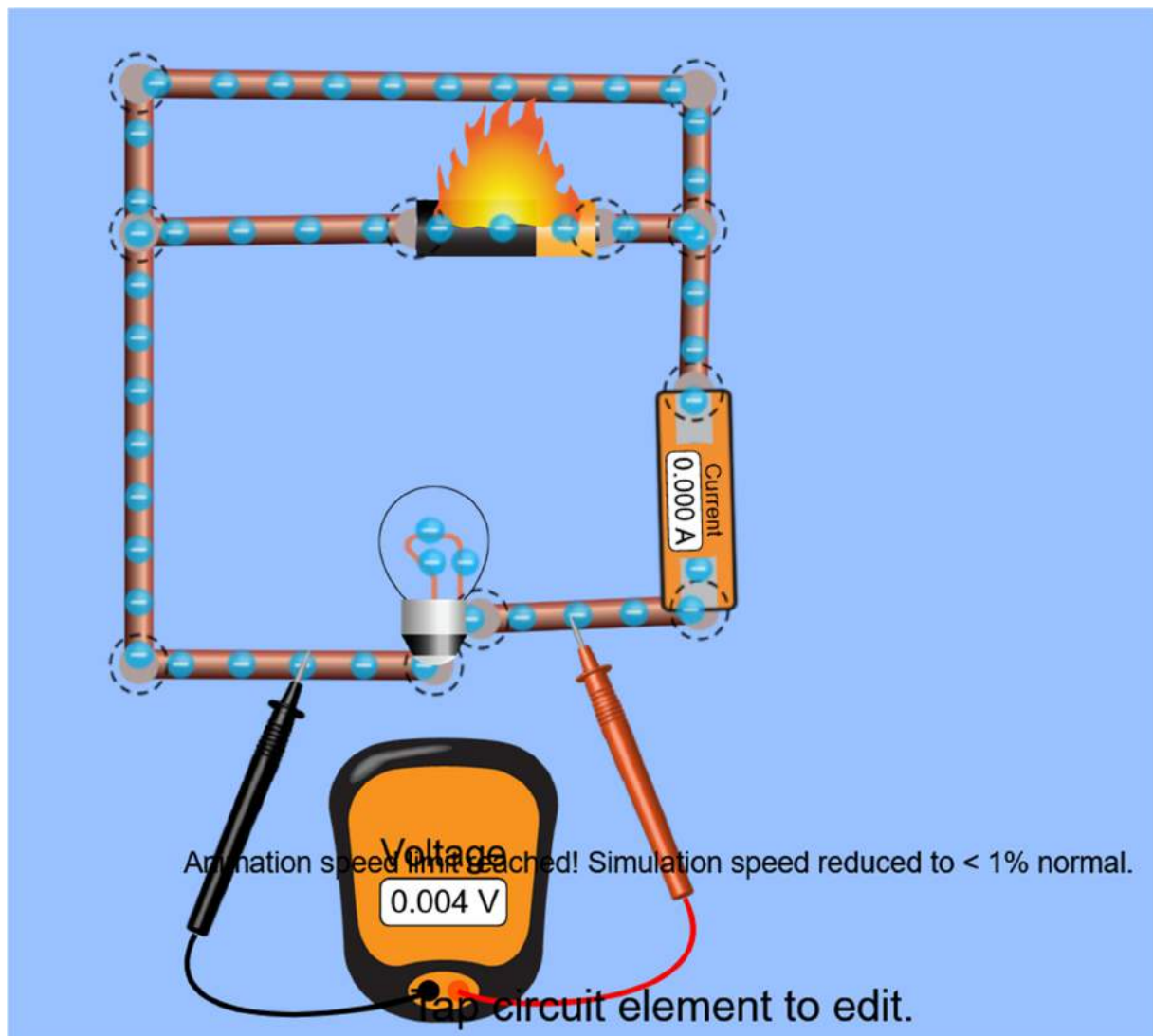


Abbildung 19 Fehlkonstruktion der Schaltung. Der Kurzschluss wird durch eine brennende Batterie symbolisiert.

Mit dieser Simulation ist eine gewisse Übertragung der experimentellen Handlung in eine digitale Erhebung möglich. Die Simulation hält sich an die grundlegenden Prinzipien der Elektrizitätslehre, jedoch werden bestimmte Handlungen wie die Messung der Stromstärke und der Spannung durch weniger komplexe Messmethoden im Gegensatz zur Realität vereinfacht. Somit bieten sich für die Studierenden weniger Möglichkeiten, den Schaltkreis aufzubauen und eigene Einstellungen vorzunehmen. Die Auswertung der Handlung wird durch das Filmen des Bildschirms mittels OBS Studio gewährleistet. Die fertigen Aufnahmen werden von den Teilnehmer*innen auf einen sciebo Server übermittelt, sodass sie bewertet werden können.

6.1.2.3 Konzeptwissentest

Für die Erhebung des Konzeptwissens wird ein bereits validiertes und weit verbreitetes Testinstrument, das Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre von Ur-

ban-Woldron und Hopf (2012), genutzt. Das Testinstrument besteht dabei aus verschiedenen Fragen zu verschiedenen Konzepten der Elektrizitätslehre (Urban-Woldron & Hopf, 2012). Ein besonderer Fokus des Testinstrumentes liegt nach Urban-Woldron und Hopf (2012) auch auf der Diagnose verschiedener Präkonzepte. Um dies zu ermöglichen, sind die Fragen des Testinstrumentes jeweils zweistufig aufgebaut: Zunächst wird eine Schaltskizze präsentiert und ein physikalischer Zusammenhang zu dieser Schaltskizze gegeben. Daraufhin wird gefragt, wie sich z. B. die Anzeige eines Amperemeters verändern würde, wenn ein Widerstand in der Schaltskizze vergrößert wird. In der zweiten Stufe wird, analog zum Test des deklarativen Handlungswissens, nach einer Begründung für diesen Zusammenhang gefragt. Eine Frage wird nur dann als richtig angesehen, wenn sowohl der erste als auch der zweite Teil der Aufgabe richtig beantwortet wurden. Teilpunkte für die erste Stufe sind möglich. Im Folgenden werden kurz die Skalen des Instrumentes vorgestellt: Die Skalen des Tests sind motiviert und gestaltet nach gut dokumentierten Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre. Insgesamt beinhaltet der Test 8 Skalen, denen Antwortmuster zugeordnet sind. Die Reliabilität des Testinstrumentes erreicht mit $N = 422$ $\alpha = 0,81$ und liegt damit nach D. H. Rost (2013) in einem sehr guten Bereich. Das Testinstrument wurde für den Einsatz in der Schule optimiert. Da jedoch die Inhaltsbereiche der Erhebung nicht über Mittelstufenwissen hinausgehen, ist der Test auch in dieser Erhebung gut einsetzbar. Die verschiedenen Skalen können in Tabelle 15 eingesehen werden:

Tabelle 15 Skalen des genutzten Testinstrumentes von Urban-Woldron und Hopf (2012)

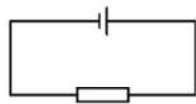
Skala
Strom wird verbraucht
Batterie als Konstante Stromquelle
Widerstand beeinflusst Stromstärke nicht
Inverse Widerstandsvorstellung
Stromverbrauch ist proportional zum Widerstand
Lokales statt systemisches Denken
Sequenzielle Argumentation
Probleme mit Parallelschaltungen

Items, die ausschließlich der Subskala *Probleme mit Parallelschaltungen* und *Lokales statt systemisches Denken* zugeordnet werden können, werden aus testökonomischen Gründen entfernt, sodass von ursprünglich 23 Items noch 16 Items mit jeweils 2 bzw. 3 Stufen übrigbleiben. In der Erhebung werden Parallelschaltungen und auch ein systemisches Denken in Stromkreisen nicht explizit erwähnt und kein Wissen in diesem Bereich gefördert, sodass kein Informationsverlust durch das Auslassen der Skala ent-

steht. Für die Bearbeitung des Testinstrumentes haben die Studierenden 15 Minuten Zeit.

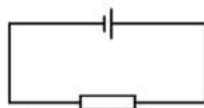
Der Widerstand R_1 im Stromkreis (Abbildung 1) ist klein. Er wird durch einen größeren Widerstand R_2 ersetzt (Abbildung 2).

Was geschieht mit der Stromstärke im Stromkreis?



R_1 kleiner Widerstand

(Abbildung 1)



R_1 großer Widerstand

(Abbildung 2)

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Sie wird größer.
- ☐ Sie wird kleiner, aber nicht Null.
- ☐ Sie bleibt gleich.
- ☐ Es fließt kein Strom mehr.

Wie erklärst du deine Entscheidung?

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Die Batterie ist nicht stark genug, um überhaupt Strom durch den größeren Widerstand zu treiben
- ☐ Die Batterie kann nicht einen so großen Strom wie vorher durch den größeren Widerstand treiben.
- ☐ Ein größerer Widerstand braucht mehr Strom als ein kleinerer Widerstand.
- ☐ Es ist dieselbe Batterie; also bleibt auch die Stromstärke gleich.

Abbildung 20 Exemplarisches Item des Testinstrumentes in LimeSurvey

Die Abbildungen und der Aufbau des Testinstrumentes werden für eine Onlineerhebung optimiert.¹⁶ Der Test wird auf LimeSurvey verfügbar gemacht und ist so aufgebaut, dass jeweils ein Item auf einer Seite angezeigt wird. Möchte man das nächste Item bearbeiten, muss man zur nächsten Seite wechseln. Zu Beginn des Tests wird

¹⁶ Das Gesamte Testinstrument ist in Anhang 7 einzusehen.

eine Einverständniserklärung angezeigt, der die Teilnehmer*innen zustimmen müssen. In dieser wird versichert, dass der Test unter keinen Umständen zu einer Bewertung herangezogen wird und ausschließlich für Forschungszwecke genutzt wird.

6.1.2.4 Fragebogen zu Interesse an und Nutzungsverhalten von Erklärvideos

Wie in Forschungsfrage 3 formuliert, soll ebenfalls der Einfluss von Personenmerkmalen auf den Lernzuwachs bei der Nutzung von Erklärvideos untersucht werden. Ein dabei wichtiges Konstrukt wird das Interesse an und das generelle Nutzungsverhalten von Erklärvideos sein.

Zur Erhebung des Interesses und des Nutzungsverhaltens wird ein Fragebogen von Szabone Varnai, Sterzing und Reinhold (2020) genutzt. Dieser Fragebogen wurde im Rahmen der Veranstaltung *Physikalische Grundlagen* der Universität Paderborn entwickelt. Dies ist die gleiche Veranstaltung, in der Corona bedingt die Erhebung stattfinden wird. Der Fragebogen besitzt zwei Hauptskalen: Zum einem das Interesse und Nutzungsverhalten für die Veranstaltung *Physikalische Grundlagen*, da regulär in der Veranstaltung Erklärvideos genutzt werden, um Experimente anzuleiten, und zum anderen das Interesse und Nutzungsverhalten von Erklärvideos außerhalb der Veranstaltung für Freizeitaktivitäten und andere universitäre Veranstaltungen. Der Fragebogen zielt auf die Untersuchung der Nutzung von Erklärvideos innerhalb und außerhalb der Veranstaltung ab. Der Fragebogen wurde anhand der Theorie von Senkbeil (2004), dem integrierten Handlungsmodells nach J. Rost (1997) und Gruppeninterviews zur Nutzung von Erklärvideos durch Studierende entwickelt. Die Hauptskalen gliedern sich in folgende Unterskalen entsprechend der Theorie des *planned behaviour* (Ajzen, 1991) auf:

Tabelle 16 Überblick über die Skalen, Inhalte und Reliabilitäten des Instruments nach Szabone Varnai et al (2019).

Hauptskala	Subskala	Inhalt	Reliabilität
Innerhalb der Veranstaltung	zeitliche Effektivität	Zeitgewinn in der Veranstaltung durch Erklärvideos	$\alpha = 0,77$
	Multimediale Gestaltung	Besseres Verständnis für Experimente durch multimediale Gestaltung der Videos	$\alpha = 0,75$
	Sicherheit beim Experimentieren	Fehleranalyse und Unterstützung beim Experimentieren	$\alpha = 0,65$

Hauptskala	Subskala	Inhalt	Reliabilität
Außerhalb der Veranstaltung		tieren	
	Studiumsbezogene Nutzung	Nutzung von Erklärvideos in der Universität, um Inhalte anderer Veranstaltungen nachzubereiten	$\alpha = 0,90$
	Freizeitbezogene Nutzung	Nutzung von Erklärvideos in der Freizeit, z. B. als Tutorials	<i>Einzelnes Item</i>
	Generelle Motivation für Erklärvideos	Spaß, Interesse und wahrgenommener Nutzen	$\alpha = 0,63$

Der Fragebogen wurde mit $N = 160$ Studierenden der genannten Veranstaltung in einem vorherigen Jahrgang pilotiert und erreichte dabei Reliabilitätswerte von $\alpha = 0,63 - 0,80$, je nach Subskala. Um anhand dieser Skalen Nutzungstypen von Erklärvideos zu identifizieren werden von den Autoren mittels K-Means Clusteranalyse Typen gebildet. Für weitere Analysen scheint aufgrund der abweichenden Reliabilitätswerte eine Betrachtung der Hauptskalen *Nutzung innerhalb der Veranstaltung* und *außerhalb der Veranstaltung* sinnvoll zu sein. Weiterhin scheint eine Nutzung des Fragebogens sinnvoll, da die Erhebung in der gleichen Veranstaltung mit einer ähnlichen Stichprobe durchgeführt wird. Der Fragebogen wird für eine Nutzung in LimeSurvey im Layout optimiert.¹⁷

6.1.2.5 Programm zur automatisierten Aufzeichnung der Videonutzung

Um die Videonutzung während der Intervention personenbezogen aufzuzeichnen und dabei nicht zwangsläufig auf aufwendige Auswertungen der Bildschirmaufnahmen angewiesen zu sein, wird im Rahmen des Projektes ein Programm zur automatisierten Videoaufzeichnung entwickelt. Daraus können weitere Informationen gewonnen werden, um Forschungsfrage 3 zu beantworten. Das Programm basiert auf JAVA und besitzt die graphische Oberfläche eines Mediaplayers, wie er von YouTube etc. bekannt ist. In Abbildung 21 ist die graphische Oberfläche am unteren Bildrand zu erkennen.

¹⁷ Das gesamte Testinstrument ist in Anhang 8 einzusehen



Abbildung 21 Videoumgebung der automatisierten Handlungsaufzeichnung

Im Gegensatz zu klassischen Mediaplayern gibt es diverse Unterschiede: Zunächst ist der Player für die Erhebung direkt mit einem der beiden Videos verknüpft. Das heißt, die Studierenden müssen nicht das richtige Video auswählen, sondern erhalten über sciebo einen Downloadlink zu dem zu ihrer Gruppe gehörenden Video. Weiterhin werden die Studierenden, bevor das Video startet, nach ihrem Testcode gefragt, den sie auch in den anderen Instrumenten verwenden. Weiterhin werden folgende Interaktionen getrackt und mit einem Zeitstempel des Videos und der Systemzeit versehen:

Tabelle 17 Aufzeichenbare Aktionen mit dem Video

Aktion
Play
Pause
Volume
Vorspulen/Springen (Dargestellt als Jump; Zeitpunkt 1; Zeitpunkt 2)
Zurückspulen/Springen (Dargestellt als Jump; Zeitpunkt 1; Zeitpunkt 2)
Maximieren
Minimieren
Stopp

Diese Interaktionen werden in einem *.txt Dokument gespeichert und lokal im gleichen Ordner wie der Mediaplayer ausgegeben. Zusätzlich wird die Gesamtbetrach-

tungsdauer in Sekunden gespeichert.¹⁸ Das Dokument muss von den Studierenden später hochgeladen werden.

Vor der Testung müssen alle Studierenden, die einen Windows-PC nutzen, eine JAVA Version installiert haben. OSX Nutzer*innen können den Mediaplayer direkt ausführen. Als Rückfallebene wird das Video auf eine Videoplattform hochgeladen und während der gesamten Erhebung läuft OBS Studio und zeichnet den Bildschirm der Studierenden auf.

6.2 Studien zur Validierung der Instrumente

Bevor die Instrumente in der Hauptstudie eingesetzt werden können, sollen sie hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit validiert werden. Insbesondere für die produzierten Erklärvideos ist dies relevant, um einerseits die intendierten Qualitätsunterschiede und andererseits eine Vergleichbarkeit in Inhalt und Komplexität zu gewährleisten. Dies schließt sich an die Forderungen aus der aktuellen Forschungslage und dem Design der Studie an. Die genutzten Erklärvideos sollen danach hinsichtlich verschiedener Aspekte validiert werden. Die anderen Instrumente sollen einerseits in ihrer Reliabilität und andererseits hinsichtlich ihrer Objektivität validiert werden.

6.2.1 Validierung der fachdidaktischen Qualität der Erklärvideos

Zunächst sollen die Erklärvideos in ihrer Vergleichbarkeit und der Unterscheidung der fachdidaktischen Qualität validiert werden. Dazu werden einerseits linguistische Maße genutzt und andererseits eine Expertenvalidierung durchgeführt. Schließlich findet eine ökologische Validierung mittels eines Vergleiches mit Erklärvideos auf YouTube statt.

6.2.1.1 Validierung der Vergleichbarkeit

Um die Vergleichbarkeit beider Erklärvideos zu gewährleisten, müssen beide Erklärvideos eine ähnliche Komplexität und Verstehbarkeit aufweisen. Eine Möglichkeit diese Komplexität zu erfassen, ist der Vergleich des Flesch-Index (Flesch, 1948) der genutzten Erklärungen in den Videos. Dazu wurden beide Videos zunächst transkribiert, um den korrekten Wortlaut aufzunehmen. Daraufhin wurde der Flesch-Index (Flesch, 1948) für beide Videos bestimmt. Nach Amstad (1978) kann der für die englische Sprache entwickelte Index dabei mit folgender Formel für deutsche Texte berechnet werden (Kind & Ottersbach, 2016):

$$FRE = 180 - ASL - (58,5 * ASW)$$

¹⁸ Der Quellcode des Programms und eine ausführbare Pythonvariante kann beim Autor angefragt werden.

ASL steht dabei für die mittlere Satzlänge in Worten und ASW für die mittlere Silbenzahl der genutzten Wörter. Die Faktoren des Scores wurden für die deutsche Sprache angepasst. Je geringer der Wert ist, desto komplexer ist ein Text formuliert.

Für das didaktisch hochwertige Video ergibt sich dadurch ein Flesch-Lesbarkeitsscore von 65 und der Flesch Index des Videos mit geringerer Qualität beträgt 60.¹⁹ Laut Flesch (1948) sind dies durchschnittliche Werte (vgl. Tabelle 15). Damit wären die Videos für die gymnasiale Mittelstufe angemessen und können daher auch in der Universität bei Studierenden mit geringem Vorwissen eingesetzt werden.

Tabelle 18 Interpretation des Fleschindex nach Flesch (1948) übersetzt durch Kind und Ottersbach (2016)

Flesch-Index	Bedeutung
0 – 30	Sehr schwierig
30 – 50	Schwierig
50 – 60	Ziemlich schwierig
60 – 70	Durchschnittlich
70 – 80	Ziemlich einfach
80 – 90	Einfach
90 – 100	Sehr einfach

Eine Alternative zum Flesch-Index bildet der Lesbarkeitsindex (LIX) nach (Björnsson, 1968). Dieser wird auf Grundlage des Verhältnisses von Sätzen zu langen Wörtern mit mehr als 6 Buchstaben bestimmt (Lenhard & Lenhard, 2011). Ein höherer Wert bedeutet, dass ein Text komplexer ist. Ein Überblick über den LIX ist in Tabelle 19 dargestellt (Lenhard & Lenhard, 2011).

Tabelle 19 Klassifizierung des Lesbarkeitsindex nach Lenhard und Lenhard (2011)

LIX	Bedeutung
0 – 40	Kinder- und Jugendliteratur
40 – 50	Belletristik
50 – 60	Sachliteratur
>60	Fachliteratur

Das qualitativ hochwertigere Video erreicht einen Lesbarkeitsindex von 41 und das Video geringerer Qualität von 46.²⁰ Beides sind Werte, die mit einem Belletristik Buch

¹⁹ Berechnet mit Hilfe von: <https://fleschindex.de/berechnen/> zuletzt geprüft am 20.06.2022

²⁰ Berechnet mit Hilfe von: <https://www.psychometrica.de/lix.html>, zuletzt geprüft am 20.06.2022

vergleichbar sind. Daher kann eine Ähnlichkeit und angemessene Komplexität beider Videos angenommen werden.

Zusammenfassend sind die Ergebnisse der Lesbarkeitsuntersuchung in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 20 Zusammenfassung der Ergebnisse der Lesbarkeit der Erklärung und Abweichungen zwischen den Videos in Prozent

Video	Flesch Index	LIX
Hohe Qualität	65	41
Geringere Qualität	60	46
Prozentuale Abweichung zwischen den Videos	8,3	12,1

Die in den Videos verwendeten Erklärungen haben demnach eine mittlere Schwierigkeit und sollten von der geplanten Stichprobe verstanden werden.

6.2.1.2 Expertenvalidierung²¹

Um die Unterschiede in der didaktischen Qualität der Erklärvideos abzusichern, soll eine Expertenvalidierung (vgl. Validierungsschritte nach Meinhardt, Rabe & Krey, 2018) durchgeführt werden. Experten sind für diese Validierungsstudie alle Fachdidaktiker*innen der Physik, die als Doktorand*innen, Post-Docs oder Professor*innen tätig sind. Die Erhebung der Qualität der Erklärvideos soll in einer zweistufigen Onlinebefragung durchgeführt werden.

Zunächst schauen alle Teilnehmer*innen beide Erklärvideos. Die Reihenfolge ist dabei zufällig. Daraufhin sollen die Teilnehmer*innen eine erste, globale Einschätzung abgeben, welches Erklärvideo eine höhere Qualität besitzt. In einem zweiten Schritt sollen die Experten die Videos kategoriengeleitet bewerten. Die Kategorien sind durch die Gestaltungskriterien vorgegeben und werden in Aussagen umformuliert, die mit „im Video wird...“ oder „Das Video ist...“ eingeleitet werden. Aus testökonomischen Gründen wurden manche Kategorien zusammengefasst und eine weitere Kategorie „Die Anleitung zur Durchführung des Experiments ist nachvollziehbar“ ergänzt, da die praktische Handlung in den Gestaltungskriterien nur implizit beschrieben wird. Die Kategorien „Regel-Beispiel“ und „Kein Sprecherbild“ werden herausgenommen, da diese in beiden Videos gleich sind. Weiterhin wird auf die Kategorie „Hohe Kohäsion“ verzichtet, da dies allein durch Hören schwierig zu bewerten ist und Konnektoren leicht überhört werden können. Insgesamt ergeben sich dadurch 24 Kategorien. Bei

²¹ Teile dieses Kapitels sind bereits erschienen in: Sterzing, Szabone Varnai und Reinhold (2021).

der kategorialen Bewertung des Videos haben die Expert*innen die Möglichkeit, das entsprechende Video beliebig oft zu betrachten. Die Bewertung der Videos wird mittels einer 4-stufigen Likertskala von „trifft nicht zu“ bis „trifft zu“ durchgeführt. Durch das zweistufige Verfahren soll überprüft werden, inwiefern die kriteriengeleitete Bewertung der Erklärvideos einer intuitiven Bewertung entspricht. Mithilfe der Kriterien können im zweiten Schritt die Qualitätsunterschiede der Videos weiter aufgelöst werden.

Die Befragung wurde mittels LimeSurvey erstellt ²² und es nahmen 15 Expert*innen von verschiedenen Hochschulen Deutschlands teil. Zur Dokumentation des Expertenstatus ist in Abbildung 22 der höchste akademische Grad abgebildet.

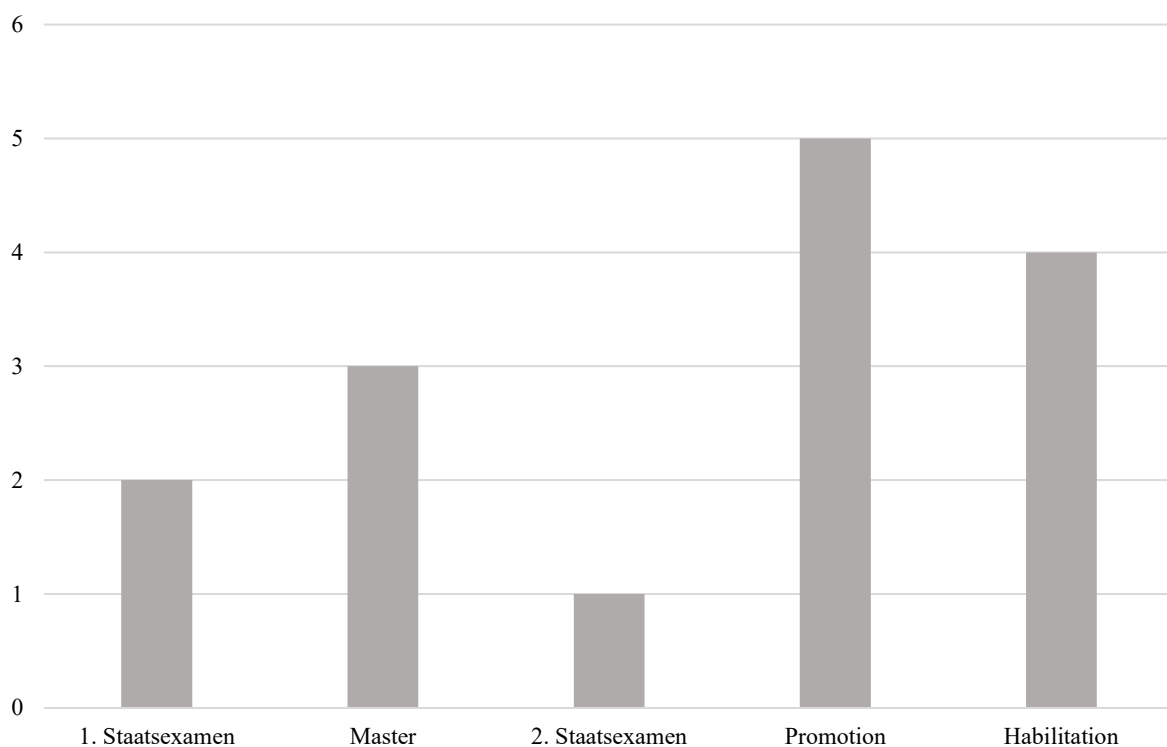


Abbildung 22 Häufigkeit des höchsten akademischen Grades der befragten Expert*innen..

Von den 15 Expert*innen haben in der intuitiven Bewertung alle das Video mit der höheren Qualität ausgewählt.

Die kategoriale Bewertung liefert für ein $N = 15$ mit $a_{C_{Video_1}} = 0,80$ und $a_{C_{Video_2}} = 0,82$ nach D. H. Rost (2013) eine sehr gute Reliabilität. Die Mittelwerte der kategorialen Bewertung der Videos sind in Abbildung 23 dargestellt.

²² Die gesamte Befragung kann unter Anhang 9 eingesehen werden.

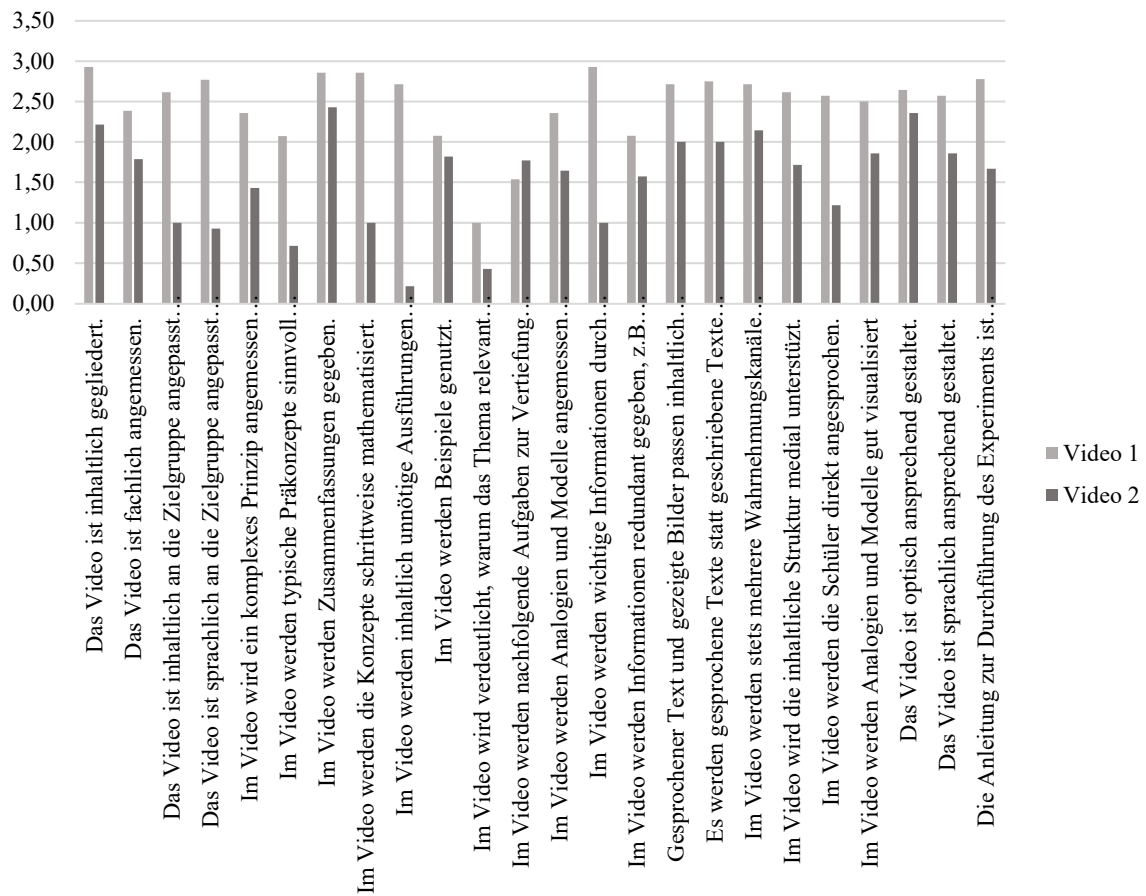


Abbildung 23 Durchschnittliche Bewertung der Kategorien für das jeweilige Erklärvideo

Um zu überprüfen, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Bewertungen besteht, werden jeweils unabhängige Mann-Whitney-U-Tests²³ zwischen beiden Videos in einer Kategorie durchgeführt. In Abbildung 24 sind dabei alle signifikant unterschiedlichen Kategorien und in Abbildung 25 alle nicht signifikant unterschiedlichen Kategorien dargestellt.

²³ Eine Prüfung auf Normalverteilung ergab: Kolmogoroff-Smirnov-Test $p < 0,001$

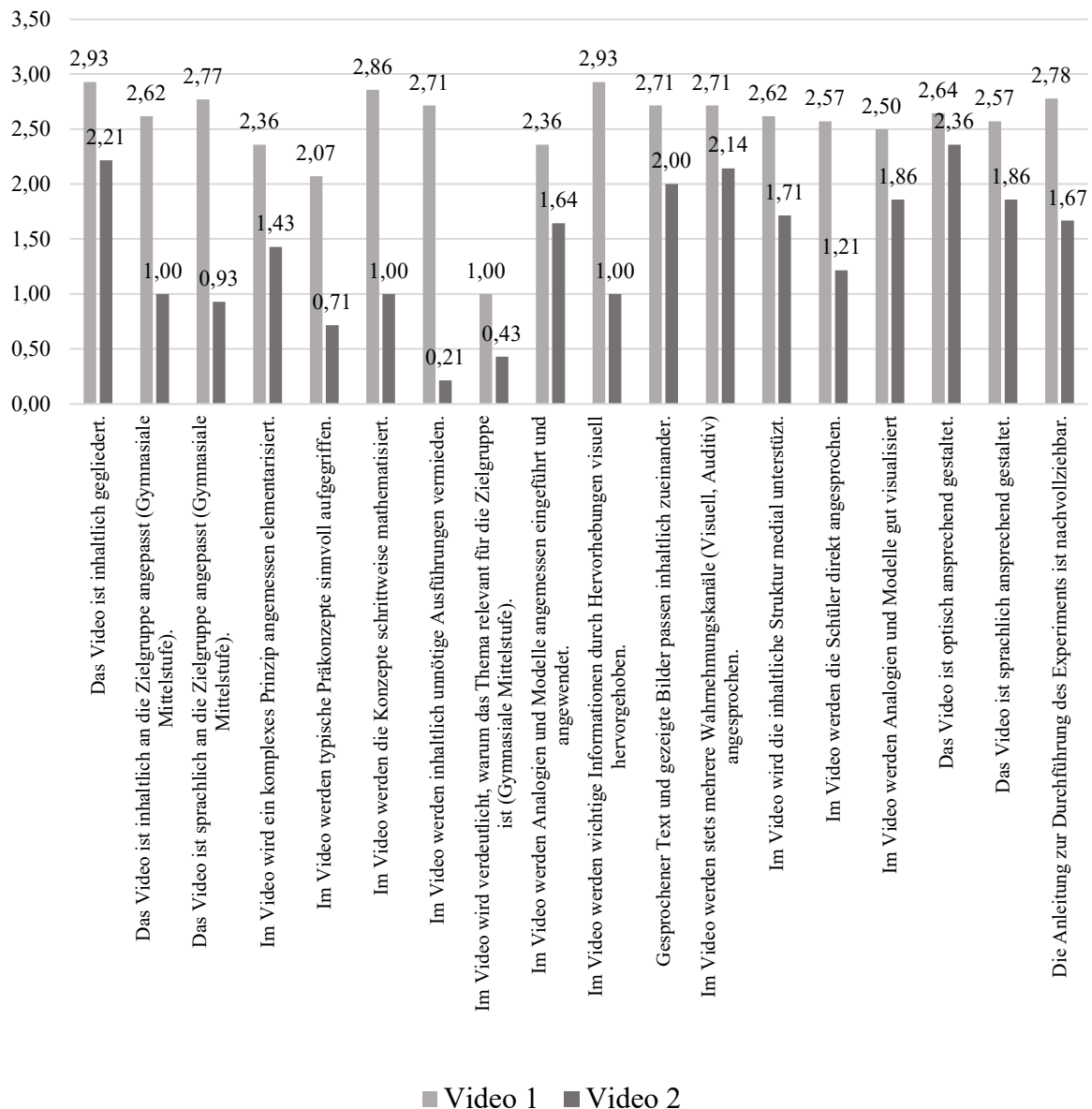


Abbildung 24 Durchschnittliche Bewertung der Kategorien mit einem signifikanten Unterschied zwischen den Erklärvideos ($p < 0,05$)

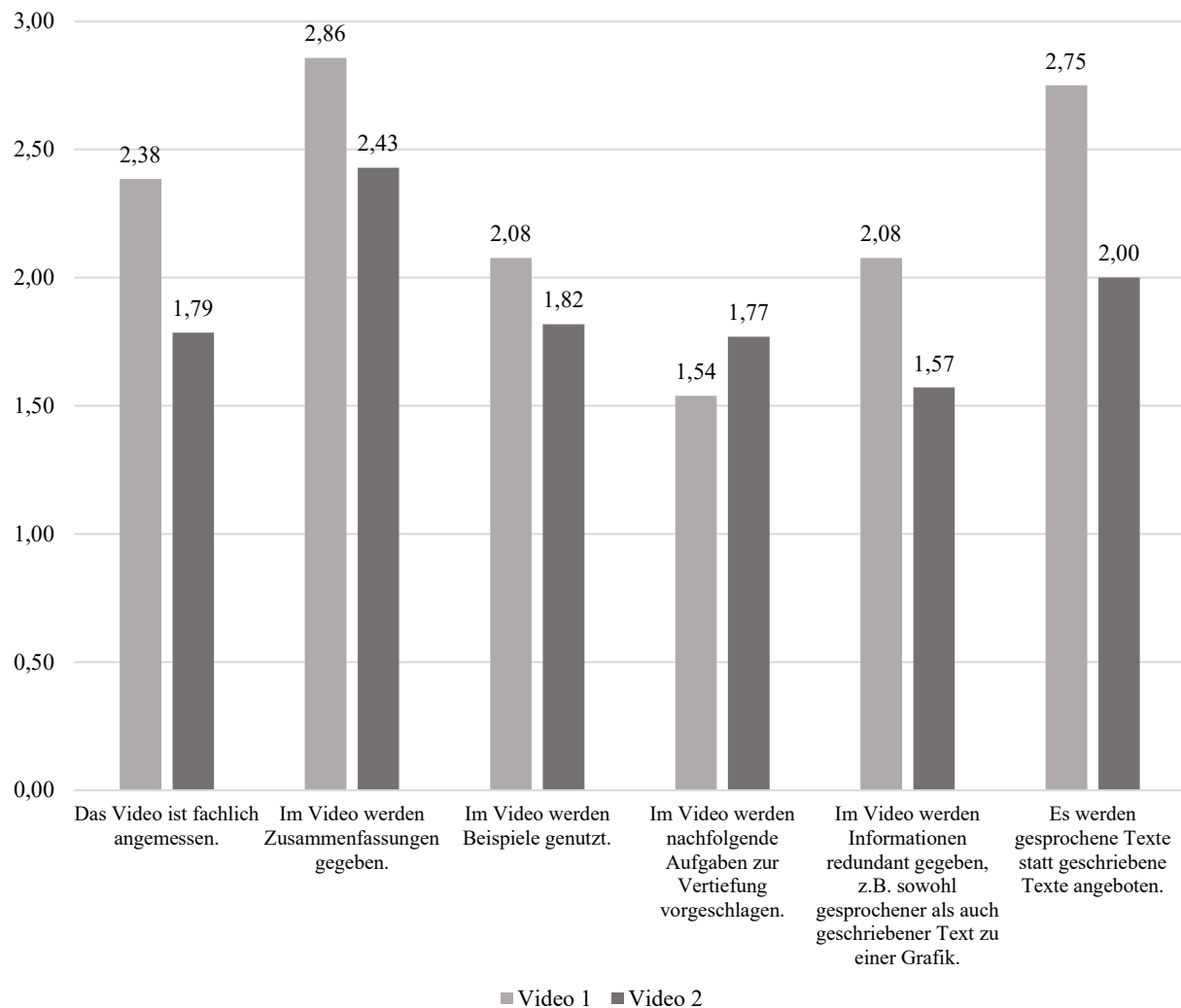


Abbildung 25 Durchschnittliche Bewertung der Kategorien, die sich zwischen den Erklärvideos nicht signifikant unterscheiden ($p > 0,05$)

Bei der kategorialen Bewertung zeigt sich, dass sich die meisten Kategorien signifikant unterscheiden, mit einem Vorteil für das Video mit einer höheren Qualität. In 18 von 24 Kategorien wird das hochwertigere Video als signifikant besser bewertet. Die Effektstärke der Unterschiede reicht von $d = 1,26$ bei der Kategorie *Im Video werden stets mehrere Wahrnehmungskanäle (visuell, auditiv) angesprochen* zu $d = 4,69$ bei der Kategorie *Im Video werden inhaltlich unnötige Ausführungen vermieden*. Die durchschnittliche Effektstärke zwischen den sich signifikant unterscheidenden Kategorien beträgt $d_{\text{Mean}} = 2,24$ ($SD = 0,93$)²⁴. Nach Cohen (1988) liegt sie somit im starken Bereich. Keine Unterschiede findet man bei der Bewertung der fachlichen Angemessenheit, Nutzung von Zusammenfassungen und Beispielen, der Gabe nachfolgender Aufgaben und der Nutzung von multimedialen Kanälen. Die nicht signifikanten Unterschiede liegen vorrangig in den Bereichen der Struktur und fachlichen

²⁴ Die einzelnen Effektstärken können in Anhang 10 eingesehen werden.

Angemessenheit des Videos. Dass sich die beiden Videos in diesen Aspekten nicht unterscheiden, entspricht dem Ziel des Entwicklungsprozesses. Weiterhin kann somit auch die Vergleichbarkeit beider Videos als gegeben angenommen werden. Die Videos unterscheiden sich offensichtlich nur in der didaktischen Qualität. In anderen Maßen wie der Lesbarkeit oder der inhaltlichen Angemessenheit sind sie miteinander vergleichbar.

Die intuitive Bewertung der Qualität der produzierten Erklärvideos entspricht weitestgehend der kategorial ermittelten Qualität der Videos. Es kann also angenommen werden, dass der zugrunde liegende Gestaltungskatalog für Erklärvideos die Qualität von Erklärvideos hinreichend abbildet. Weiterhin konnte durch die Expertenvalidierung gezeigt werden, dass sich die didaktische Qualität des hochwertigen und die des schwächeren Videos in den bewusst variierten Kategorien signifikant unterscheidet. Somit können beide Erklärvideos für das Projekt genutzt und eine hinreichend große Unterscheidung der didaktischen Qualität angenommen werden. Als nächster Validierungsschritt der Videos soll eine ökologische Validierung vorgenommen werden.

6.2.1.3 Ökologische Validierung

Zur ökologischen Validierung wurden beide Erklärvideos mit beliebten Erklärvideos zum gleichen Thema von YouTube verglichen. Dazu wurden neben den erstellten Videos drei beliebte deutschsprachige Erklärvideos zum Thema elektrischer Widerstand ausgewählt und von sechs Studierenden eines Seminars am Ende des Master of Education Studiengangs der Physik der Universität Paderborn in eine Reihenfolge hinsichtlich ihrer intuitiven Einschätzung der Qualität des Videos gebracht. Diese Stichprobe wurde gewählt, da Studierende häufig die Zielgruppe von typischen Erklärvideos sind. Der durchschnittliche Rang des Videos und die Standardabweichung ist in Tabelle 17²⁵ dargestellt.

²⁵ Die Links zu den einzelnen Videos und Anzahl der Views, stand 06.05.2022: Ohm'sches Gesetz & Widerstände - REMAKE – SimpleClub: <https://www.youtube.com/watch?v=xklPZ1tzNTc&t> (472.326)
elektrischer Widerstand - ohmscher Widerstand (R) | Physik - einfach erklärt | Lehrerschmidt: <https://www.youtube.com/watch?v=ZwEGA2VQ80E&t> (167.104)
Spannung, Strom und Widerstand – Physiksaal: <https://www.youtube.com/watch?v=DkMnWCP18D8> (117.283)
Alle Links zuletzt geprüft am 05.07.2022

Tabelle 21 Ökologische Validierung der Videos. Die Videos sind nach ihrem mittleren Rang sortiert.

Name	Mittelwert - Rang	Standardabweichung
Ohm'sches Gesetz & Widerstände - REMAKE - SimpleClub	1,33	0,47
Selbstentwickeltes Erklärvideo: hohe Qualität	1,67	0,47
elektrischer Widerstand - ohmscher Widerstand (R) Physik - einfach erklärt Lehrerschmidt	3,67	0,94
Selbstentwickeltes Erklärvideo: geringe Qualität	4,17	0,37
Spannung, Strom und Widerstand - Physikal	4,50	0,76

Die Reliabilität dieser Bewertung liegt bei sehr guten $\alpha_c = 0,95$ Bereich. Die Interraterreliabilität ist $\kappa_{\text{Fleiss}} = 0,365^{***}$. Dies ist nach Landis und Koch (1977) in einem unterdurchschnittlichen Bereich.

Die erstellten Erklärvideos stellen in dieser Bewertung im Vergleich zu anderen beliebten Erklärvideos keine qualitativen Ausreißer da. Das bedeutet, dass die Videos vergleichbar zu Erklärvideos sind, die so auf YouTube gefunden werden können und in ihrer Qualität keine Boden- oder Deckeneffekte bilden.

6.2.2 Studien zur Pilotierung der weiteren Instrumente

Weitere Pilotierungsstudien betreffen den Test zum deklarativen Handlungswissen und das Bewertungsmanual. Beide Pilotierungsstudien wurden vor der Covid-19-Pandemie durchgeführt und die Ergebnisse sind daher nicht deckungsgleich auf die Onlineerhebung zu übertragen, da sich entweder die Form des Testheftes – analog in digital – oder dass zugrunde liegende Experiment – Realexperiment in Simulation – verändert haben. Dennoch können aufgrund der Pilotierung Rückschlüsse auf die Qualität und Nutzbarkeit beider Instrumente gezogen werden, da die Instrumente möglichst direkt in eine digitale Umgebung umgesetzt werden konnten.

Die Pilotierung des Handlungswisstests und des Bewertungsmanuals erfolgte in einer Studie. Genutzt wird die Aufgabe zum geplanten Video, eine Widerstandsberechnung. Die Studienteilnehmer*innen haben bereits das Konzept des Widerstands in einer Vorlesung kennengelernt und sollen nun in einem Experiment diesen bestimmen. Dabei stehen ihnen als Hilfestellung verschiedene Erklärvideos und Unterlagen zur Verfügung. Die Bearbeitung des Experiments wird videographiert, um das Codiermanual zu pilotieren. Als Post-Test wird der entwickelte deklarative Handlungswisstest

eingesetzt. Auf einen Pre-Test wird verzichtet, da aus organisatorischen Gründen die Erhebung nicht länger als 60 Minuten dauern durfte.

Die Teilnehmer*innen an der Studie sind Studierende des ersten und zweiten Semesters des Sachunterrichts. Im Vorlauf zur Pilotierungsstudie hatten die Studierenden bereits die Möglichkeit, verschiedene Experimente zur Elektrizitätslehre durchzuführen. Daher kann davon ausgegangen werden, dass bereits ein gewisses Vorwissen im Aufbau von Schaltungen und in der Messung von Stromstärken und Spannungen vorliegt.

6.2.2.1 Pilotierung des Tests zum deklarativen Handlungswissen

Insgesamt haben $N = 116$ Studierende an der Pilotierung teilgenommen. Die Reliabilität des deklarativen Handlungswissens liegt bei $\alpha_c = 0,72$. Die Reliabilität liegt nach D. H. Rost (2013) in einem angemessenen Bereich, kann jedoch noch verbessert werden. Die Daten sind nach einem Kolmogorov-Smirnoff-Test nicht normalverteilt ($p < 0,001$). Die Ergebnisse sind graphisch in Abbildung 26 dargestellt.

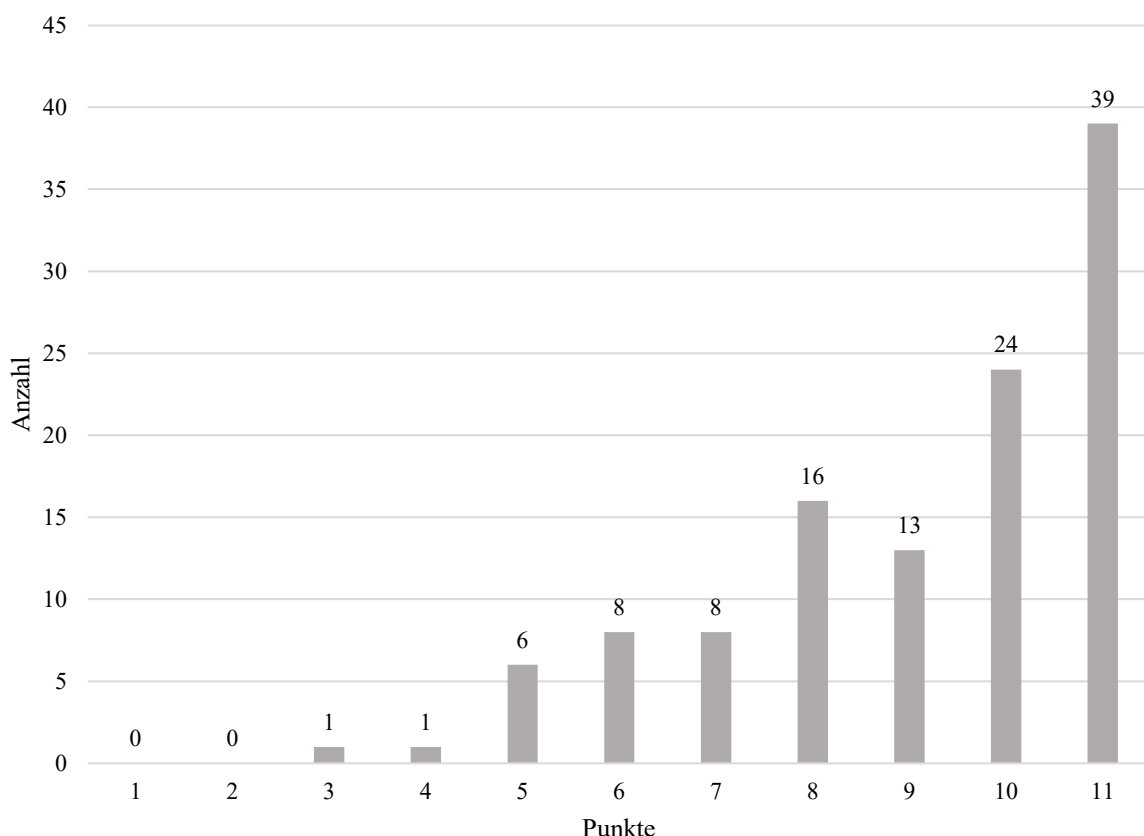


Abbildung 26 Punkteverteilung der Pilotierung im deklarativen Handlungswissen. X-Achse: Punkte im Test, Y-Achse: Häufigkeit

Es zeigt sich ein Deckeneffekt in der Pilotierung. Dieser kann dadurch erklärt werden, dass die Inhalte des Tests, die Messung von Stromstärken und der Aufbau von Schaltungen, im Semester der Pilotierung bereits behandelt wurden.

Der Mittelwert der Punkte im Test liegt bei $M = 9,10 \pm 1,98$. Durch das Fehlen eines Pre-Tests kann kein Lernzuwachs bestimmt werden. In einer ersten Version des Testinstrumentes, welches für die Pilotierung genutzt wurde, waren keine separaten Aufgaben zum Einbau des Voltmeters und zur Messung von Spannungen angelegt. Um diesen Konstruktionsfehler zu beseitigen und aufgrund der geringen Reliabilität wurden für die Spannungsmessung weitere vier Items für die Haupterhebung generiert.

6.2.2.2 Pilotierung des Bewertungsmanual für die Bearbeitung der experimentellen Aufgabe

In der Pilotierung wurde auch eine experimentelle Aufgabe bearbeitet.²⁶ Diese experimentelle Aufgabe ist identisch mit der für die Hauptstudie geplanten Aufgabe. Die Bearbeitung wurde videographiert und im Nachhinein bewertet. Es konnten $N = 116$ Videos mit im Schnitt 43 Minuten Spieldauer ausgewertet werden. Für die 16 Kategorien des bereits in Kapitel 6.1.1.2 vorgestellten Bewertungskatalogs ergibt sich ein $\alpha_c = 0,74$. Dies ist nach D. H. Rost (2013) ein hinreichend guter Wert. Um die Objektivität des Bewertungskataloges zu prüfen, wurden 21 % der Daten ($N = 25$) doppelt kodiert. Da die Daten innerhalb einer Skala liegen und ordinal skaliert sind, wird dazu zunächst der kendallsche Korrelationskoeffizient τ genutzt (Field, 2016). Dieser beträgt für die doppelt gerateten Daten $\tau = 0,72$ ($p < 0,001$). Nach Cohen (1988) entspricht dies einer hohen Korrelation der Bewertung. Zusätzlich wird das linear gewichtete Cohens Kappa berechnet (Cohen, 1968). Dieses beträgt für die doppelt codierten Daten $\kappa_w = 0,83$ ($p < 0,001$). Nach Landis und Koch (1977) ist dies eine gute Übereinstimmung. Aufgrund des großen Kendall τ und dem guten κ_w kann das Bewertungsmanual weiterverwendet und das Codiermanual als hinreichend valide für die Bewertung der Bearbeitung der experimentellen Aufgabe angesehen werden. Dies bestätigt sich durch eine gute Reliabilität von $\alpha_c = 0,74$.

In Abbildung 27 ist die Gesamtpunkteverteilung aufgezeichnet.

²⁶ Die Aufgabe kann in Anhang 5 eingesehen werden.

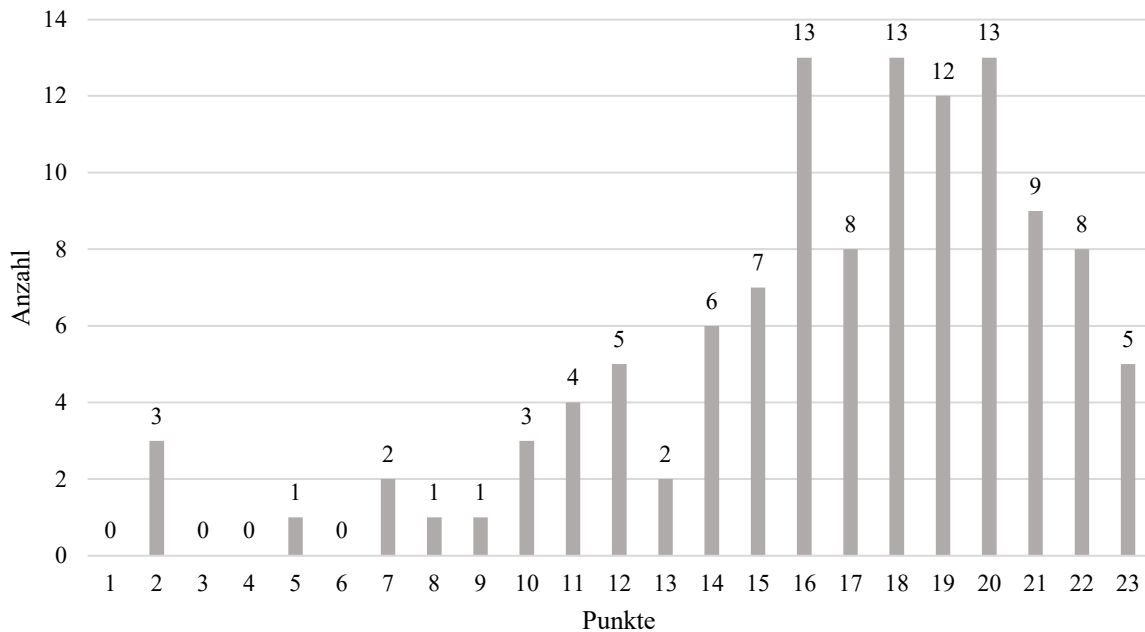


Abbildung 27 Punkteverteilung der Pilotierung in der Handlingsbewertung. X-Achse: Punkte in der Bewertung; Y-Achse: Häufigkeit

Bei der Bewertung der Bearbeitung der experimentellen Aufgabe zeigt sich ebenfalls ein leichter Deckeneffekt, der durch die bereits vor der Erhebung stattgefundenen Lerngelegenheiten erklärt werden kann. Weiterhin sind die Daten nicht normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov: $p < 0,001$). Der Mittelwert liegt bei $M = 17,70 \pm 4,54$.

Für die Haupterhebung erscheint die Videographie und Bewertung der experimentellen Aufgabe mittels Bewertungsmanual aussagekräftig bewertbar. Durch die Forschungsfragen wird gefordert, dass der Lernzuwachs im deklarativen Handlungswissen beobachtet werden soll. Da dies nicht nur durch Stift- und Papiertests (Schreiber, 2012) erreicht werden kann, ist eine Bewertung der konkreten Handlung notwendig. Dadurch ist es möglich, einen tieferen Einblick in den Lernzuwachs zu erhalten. Im Rahmen der Pilotierungsstudie zeigte sich, dass es unabdingbar ist, den Bildschirm der Teilnehmer*innen aufzuzeichnen, da ansonsten wichtige Informationen, wie Berechnungen mit Excel oder auch die Nutzung des Internets nicht kontrolliert werden können.

6.3 Methodik der Auswertung

Die Hauptstudie wird mittels quantitativer Verfahren der klassischen Testtheorie ausgewertet. Zur Bestimmung des Lernzuwachses wird der *individual gain score* genutzt (Coletta & Steinert, 2020). Diese Überlegung stammt aus den Ergebnissen der Pilotierung: In beiden Testinstrumenten konnte ein Deckeneffekt beobachtet werden. Da nicht ausgeschlossen werden kann, dass schon im Pre-Test eine nicht kleine Menge an Studierenden einen hohen Score erreicht und auch auf hohem Niveau ein Lernzuwachs

angemessen beschrieben werden muss wird der *Individual Gain Score* genutzt. Der *Individual Gain Score* liefert nach Coletta und Steinert (2020) dazu eine Möglichkeit: Der Lernzuwachs wird normiert auf den maximal möglichen Lernzuwachs berechnet. Dazu wird folgende Formel verwendet.

$$g_{ind} = \frac{Pretest-Posttest}{1-Pretest}$$

Pre- und Post-Testergebnisse werden dabei jeweils als relative Scores angegeben. Durch die Normierung des Lernzuwachs auf den maximal möglichen Lernzuwachs, wird eine Steigerung von 0,80 auf 0,90 ($g_{ind} = 0,5$) höher bewertet als eine Steigerung von 0,10 auf 0,20 ($g_{ind} = 0,11$). Dadurch wird der Überlegung nach Coletta und Steinert (2020) Rechnung getragen, dass eine Verbesserung auf hohem Niveau schwieriger zu erreichen ist als eine Verbesserung auf niedrigem Niveau. Ein negativer *Gain Score* zeigt einen geringeren Score im Post-Test an. Weitere Scores werden zur einfacheren Vergleichbarkeit im Folgenden jeweils als relative Scores angegeben. Vollständige Skripte von R mit weiteren Teststatistiken können im Anhang 11 – 17 eingesehen werden.²⁷ Für die Datenauswertung wird folgende Software genutzt. Microsoft Excel für die Datenerfassung und Aufbereitung, R mit folgenden Paketen lavaan, car, psych, semPlot, rcompanion, tidyverse, ggpubr, rstatix, dplyr, mice, devtools, igraph, arc4diagram, tidyverse, network, tidygraph, ggraph, ggplot2, alluvial, cluster, factoextra, magrittr für die Datenauswertung, IBM SPSS 26 für die Prüfung der mit R ermittelten Ergebnisse und G*Power für die Bestimmung der statistischen Power der Auswertungen.

6.4 Zwischenzusammenfassung

Für die Studie wurden zwei verschiedene Erklärvideos produziert, die nach Expertenvalidierung eine unterscheidbare didaktische Qualität besitzen. In ihrer linguistischen Komplexität sind sie jedoch miteinander vergleichbar, sodass ein Vergleich beider Videos möglich ist. Betrachtet man frei verfügbare Erklärvideos, so erscheinen diese in einem breiten Qualitätsspektrum, welches vergleichbar mit den hier produzierten Videos ist. Die anderen selbst entwickelten Instrumente – Experiment zum Erklärvideo mit Bewertungsmanual, deklarativer Handlungswissentest – konnten erfolgreich pilotiert werden. Beide Instrumente wurden hinsichtlich noch vorhandener Schwächen verbessert. Das Bewertungsmanual zeigt eine moderate bis gute Interrater-Reliabilität. Der Test zum deklarativen Handlungswissen wird für eine bessere Ausdifferenzierung um zusätzliche Items zur Spannungsmessung ergänzt. Die Instrumente zum Konzeptwissen und zu Nutzungsverhalten von und Interesse an Erklärvideos sind bereits gut erprobt und können daher übernommen werden. Um weitere Informationen über das konkrete Nutzungsverhalten zu erhalten, wird ein selbstgeschriebenes Programm genutzt, welches die Interaktionen mit den Videos aufzeichnet.

²⁷ Für weitere Prüfungen der Daten sind diese mit entsprechenden Skripten auf einem sciebo Ordner abgelegt. Der Link dazu liegt dem Anhangsverzeichnis bei.

7 Darstellung der Ergebnisse²⁸

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der Studie vorgestellt werden. Dazu wird zunächst die Stichprobe genauer beschrieben und die Reliabilität der genutzten Instrumente vorgestellt. Darauf aufbauend werden die für die Beantwortung der Forschungsfragen notwendigen Ergebnisse dargestellt und weitergehende Analysen zur Bewertung der Ergebnisse durchgeführt. Den Abschluss bildet die Vorstellung eines Regressionsmodells zum Lernen mit Erklärvideos und die Analyse des Nutzungsverhaltens der Studierenden.

7.1 Beschreibung der Stichprobe

Insgesamt haben $N = 146$ Teilnehmer*innen an der Studie teilgenommen. Von $N = 143$ Teilnehmer*innen sind die Wissenstests und Nutzungsanalysen vorhanden. $N = 139$ Datensätze der Bildschirmaufzeichnungen der Experimentieraufgabe sind auswertbar. Von $N = 103$ Teilnehmer*innen sind sämtliche Daten auswertbar. Bei den restlichen 20 Personen fehlen einzelne Skalen des Fragebogens zum Nutzungsverhalten von und Interesse an Erklärvideos. Für die Beantwortung der Forschungsfragen 1 und 2 können die Daten dieser Personen jedoch genutzt werden. Die Geschlechterverteilung stellt sich wie folgt dar.

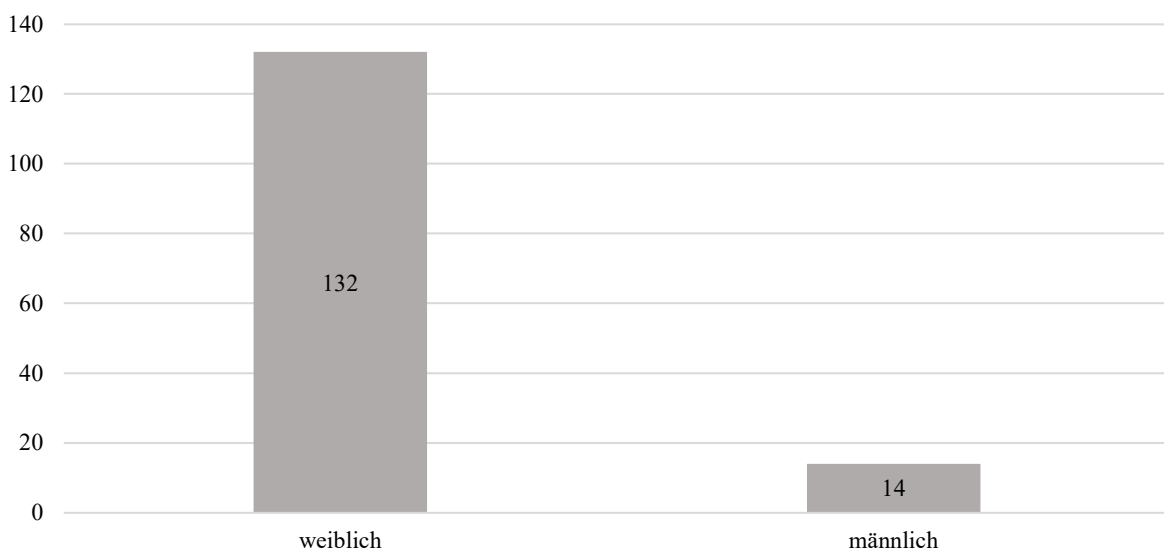


Abbildung 28 Geschlechterverteilung; X-Achse: Geschlecht; Y-Achse: Häufigkeit

Durch den Überschuss an weiblichen Teilnehmerinnen können keine Aussagen zu etwaigen Gendereffekten getroffen werden. Die große Anzahl an weiblichen Teilnehmerinnen ist für diese Kohorte üblich. Die durchschnittliche Abiturnote beträgt $M = 2,25$ ($SD = 0,5$). In Abbildung 29 ist die letzte Klassenstufe mit Physikunterricht dargestellt.

²⁸ Teile dieses Kapitels sind bereits erschienen in: Sterzing, Kulgemeyer und Reinhold (2022).

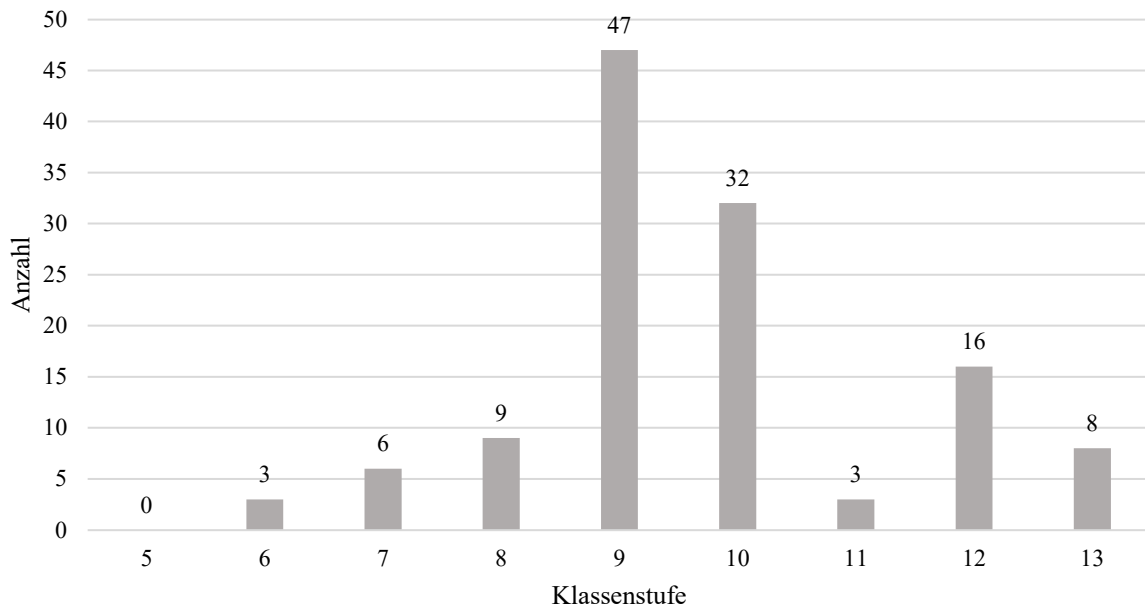


Abbildung 29 Verteilung der höchsten Stufe mit Physikunterricht; X-Achse: Klassenstufe; Y-Achse: Häufigkeit

Ein Großteil der Teilnehmer*innen hatte bis zum Ende der Mittelstufe Physikunterricht ($N = 97$; 66 %). Ein kleinerer Teil von 18 % hatte in der Oberstufe bzw. bis zum Abitur Physikunterricht. 22 Personen haben ihre höchste Klassenstufe, in der sie Physik hatten, nicht angegeben (15 %). Das physikalische Vorwissen der Studienteilnehmer*innen kann als annähernd vergleichbar zu einer Mittelstufe der Physik angesehen werden. Die Passung der erstellten Erklärvideos kann somit auch für diese Stichprobe vermutet werden.

7.2 Reliabilität der Testinstrumente

Die Reliabilität der Testinstrumente ist in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22 Reliabilität der Testinstrumente angegeben in Cronbachs α ²⁹

Testinstrument		Pre-Test	Post-Test
Konzeptwissen		$\alpha = 0,81$	$\alpha = 0,83$
Deklaratives Handlungswissen		$\alpha = 0,70$	$\alpha = 0,61$
Interesse an und Nutzung von Erklärvideos			$\alpha = 0,88$
Bewertung der Durchführung der experimentellen Aufgabe			$\alpha = 0,68$

Der Fragebogen zum Konzeptwissen zeigt sowohl im Pre- als auch im Post-Test eine sehr gute Reliabilität von über $\alpha_c = 0,80$. Der Fragebogen zum deklarativen Handlungswissen weist im Pre-Test eine Reliabilität im angemessenen Bereich von $\alpha_c = 0,70$ auf. Diese ist vergleichbar mit der Pilotierung des Testinstruments. Die Reliabilität fällt zum Post-Test auf $\alpha = 0,61$. Eine Erklärung hierzu können weitere Analysen und die Diskussion der Ergebnisse in Kapitel 8 liefern. Der Fragebogen zum Interesse und Nutzungsverhalten weist mit $\alpha_c = 0,88$ eine insgesamt sehr gute Reliabilität auf. Die einzelnen Skalen *innerhalb der Veranstaltung* ($\alpha_c = 0,84$) und *außerhalb der Veranstaltung* ($\alpha_c = 0,82$) haben nach D. H. Rost (2013) eine sehr gute Reliabilität. Die Reliabilität der Bewertung der Durchführung der experimentellen Aufgabe liegt bei $\alpha_c = 0,68$. Dieser Wert ist geringer als in der Pilotierung. Eine Begründung hierfür kann in der Veränderung des Bewertungsmanuals liegen, da die Simulation weniger Möglichkeiten der Manipulation als das Realexperiment ermöglicht und somit einige Bewertungskriterien herausgenommen werden mussten. Eine Reduzierung der Items geht dabei häufig mit einer Reduzierung der Reliabilität einher. Dennoch liegt die Reliabilität der Bewertung der Durchführung der experimentellen Aufgabe nach z. B. Streiner (2003) in einem angemessenen Bereich.

²⁹ Das R-Skript zur Bestimmung der Reliabilität kann in Anhang 11 eingesehen werden.

7.3 Vergleich des Vorwissens

Um eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Gruppen zu gewährleisten, wird zunächst geprüft, ob es signifikante Unterschiede im Vorwissen des deklarativen Handlungswissens und des Konzeptwissens gibt. Da die Daten nicht normalverteilt sind (Kolmogorov-Smirnoff-Test: $p < 0,05$), werden dafür im Folgenden nicht-parametrische Testverfahren genutzt.

Es können zwischen den verschiedenen Gruppen keine signifikanten Unterschiede im Vorwissen nachgewiesen werden (Kruskal-Wallis-Test: Konzeptwissen: $H(3) = 1,357$; $p = 0,736$; deklaratives Handlungswissen: $H(3) = 2,869$; $p = 0,412$). Eine Gleichverteilung anhand des Vorwissens ist damit erfolgreich.

7.4 Gesamtbetrachtung der Ergebnisse der Wissenstests

In Abbildung 30 sind die Punkteverteilungen des Pre- und Post-Tests für das deklarative Handlungswissen und in Abbildung 31 die Punkteverteilungen des Pre- und Post-Test für das Konzeptwissen dargestellt.

Im Mittel erreichten die Studierenden 9,01 ($SD\ 3,10$) Punkte im Pre-Test des deklarativen Handlungswissens und 11,27 ($SD\ 2,42$) im Post-Test. Im Konzeptwissen erreichten die Studierenden 14,19 ($SD\ 4,5$) im Pre-Test und 15,81 ($SD\ 4,88$) im Post-Test.

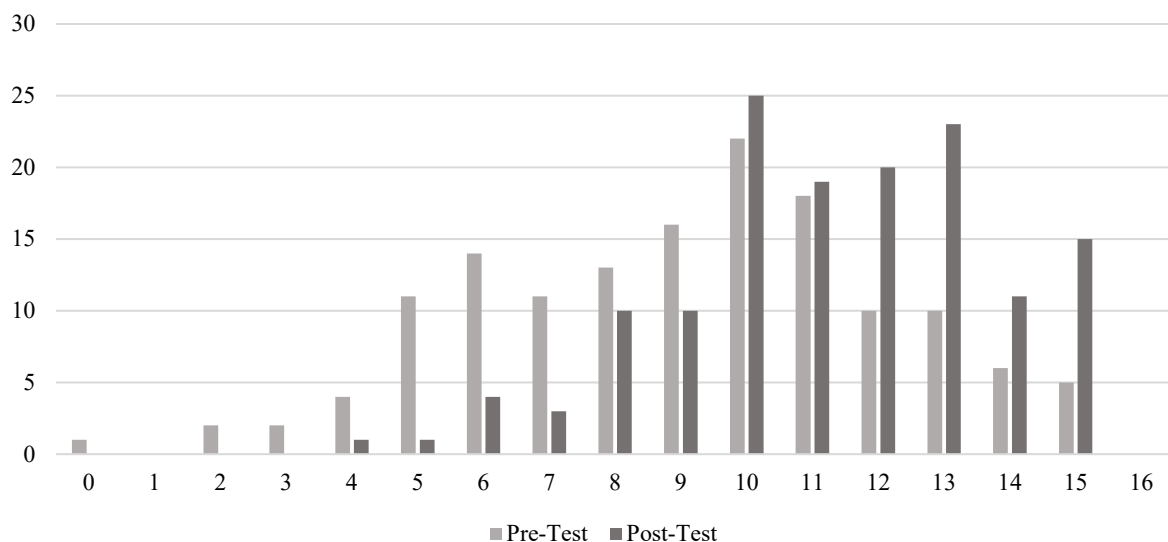


Abbildung 30 Punkteverteilung des deklarativen Handlungswissens; X-Achse: Anzahl der Punkte; Y-Achse: Häufigkeit

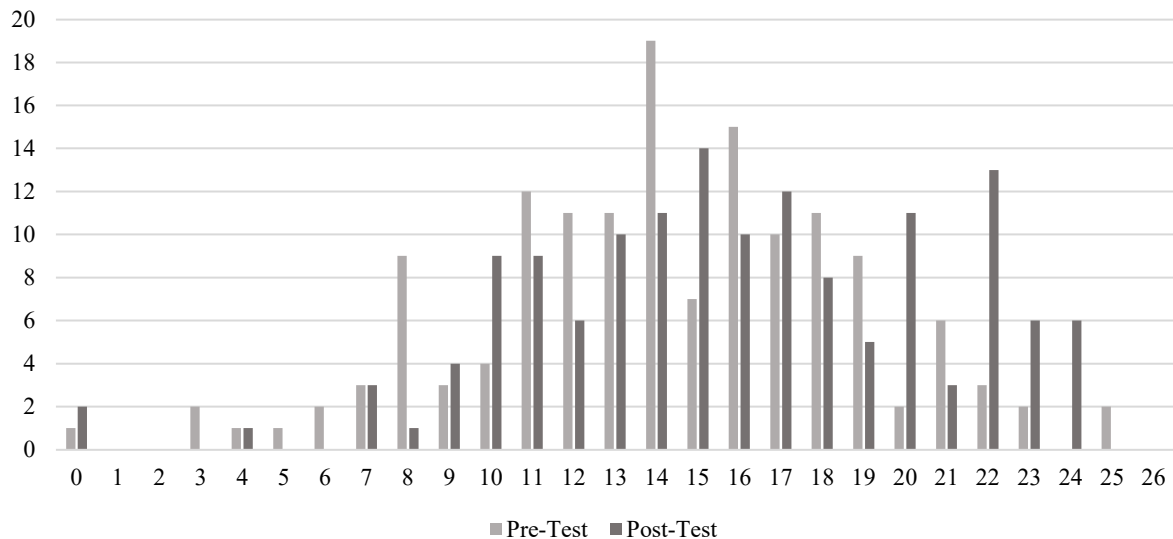


Abbildung 31 Punkteverteilung des Konzeptwissens; X-Achse: Anzahl der Punkte; Y-Achse: Häufigkeit

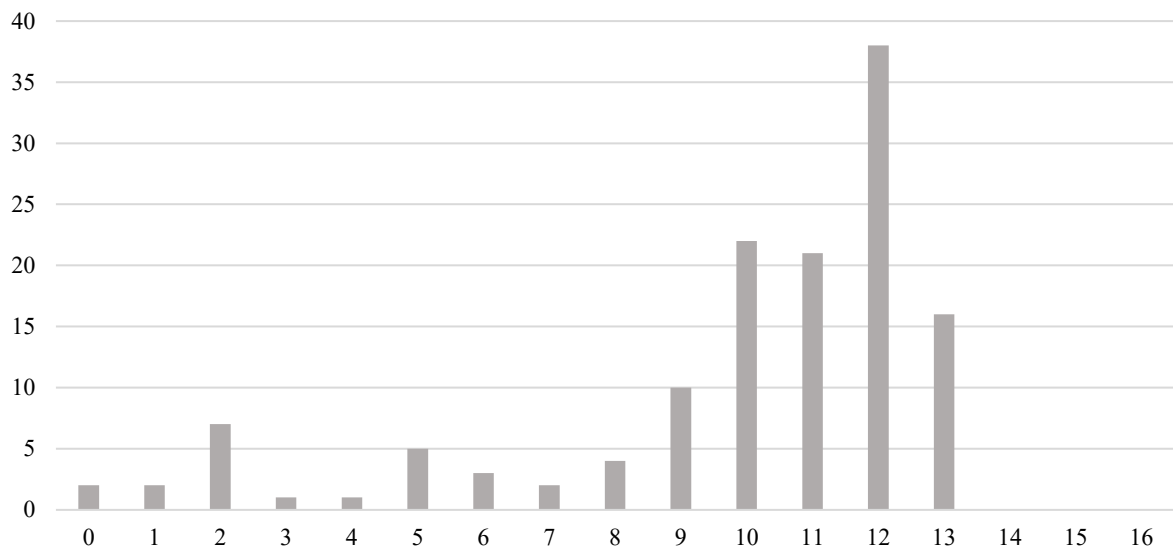


Abbildung 32 Punkteverteilung der Durchführung der experimentellen Aufgabe; X-Achse: Anzahl der Punkte; Y-Achse: Häufigkeit

In Abbildung 32 sind die erreichten Punktzahlen der Bewertung der experimentellen Aufgabe dargestellt. Hier erreichten die Studierenden im Mittel 9,83 (SD 3,26) Punkte.

Bevor die Daten hinsichtlich der Forschungsfragen ausgewertet werden, soll zunächst untersucht werden, ob insgesamt ein Lernzuwachs zwischen Pre- und Post-Test stattgefunden hat. Dazu werden zur besseren Vergleichbarkeit die Mittelwerte der relativen Scores des deklarativen Handlungswissen und des Konzeptwissentests in Abbildung 33 dargestellt.

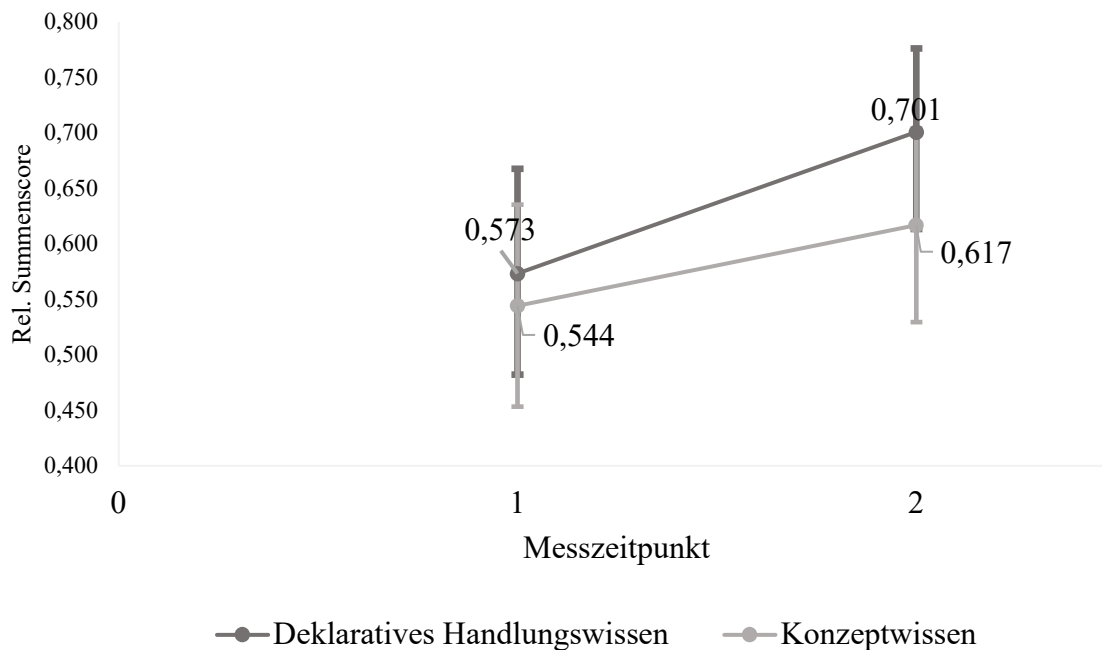


Abbildung 33 Globaler Lernzuwachs; X-Achse: Messzeitpunkte 1 = Pre-Test; 2 = Post-Test; Y-Achse: Durchschnittlicher relativer Summenscore

Insgesamt haben sich die Studierenden im Mittel von 0,573 auf 0,701 im deklarativen Handlungswissen und von 0,544 auf 0,617 im Konzeptwissen verbessert.

Zur Bestimmung des Lernzuwachses zwischen Pre- und Post-Test wurden gepaarte Wilcoxon Tests genutzt ($N = 143$). Das Konzeptwissen verbessert sich hochsignifikant ($Z = -3,884$; $p < 0,001$) mit einem mittleren Effekt³⁰ von $d = 0,699$ ($1 - \beta = 0,99$) (Cohen, 2013). Das deklarative Handlungswissen verbessert sich ebenfalls hochsignifikant ($Z = -6,613$; $p < 0,001$) mit einem großen Effekt von $d = 1,413$ ($1 - \beta = 1,00$). Insgesamt kann somit gesagt werden, dass zwischen Pre- und Post-Test ein mittlerer bis großer Lernzuwachs stattfindet.

In einem nächsten Schritt werden die Daten für die Bearbeitung der Forschungsfragen bearbeitet.

7.5 Lernzuwachs in Abhängigkeit von der Videoqualität

Zunächst soll für Forschungsfrage 1 geprüft werden, ob sich der Lernzuwachs zwischen den Gruppen mit Erklärvideo hoher und geringer Qualität unterscheidet. Der

³⁰ Zur besseren Einschätzung der Effektstärken wurden Effektstärken von r in Cohens d mittels $d = \frac{2r}{\sqrt{1-r^2}}$ umgerechnet. Effektstärken wurden berechnet mit: <https://www.psychometrica.de/effektstaerke.html>, zuletzt geprüft am 12.07.2022

mittlere Lernzuwachs berechnet als *Individual Gain Score* ist als Säulendiagramm in Abbildung 34 dargestellt. Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung an.

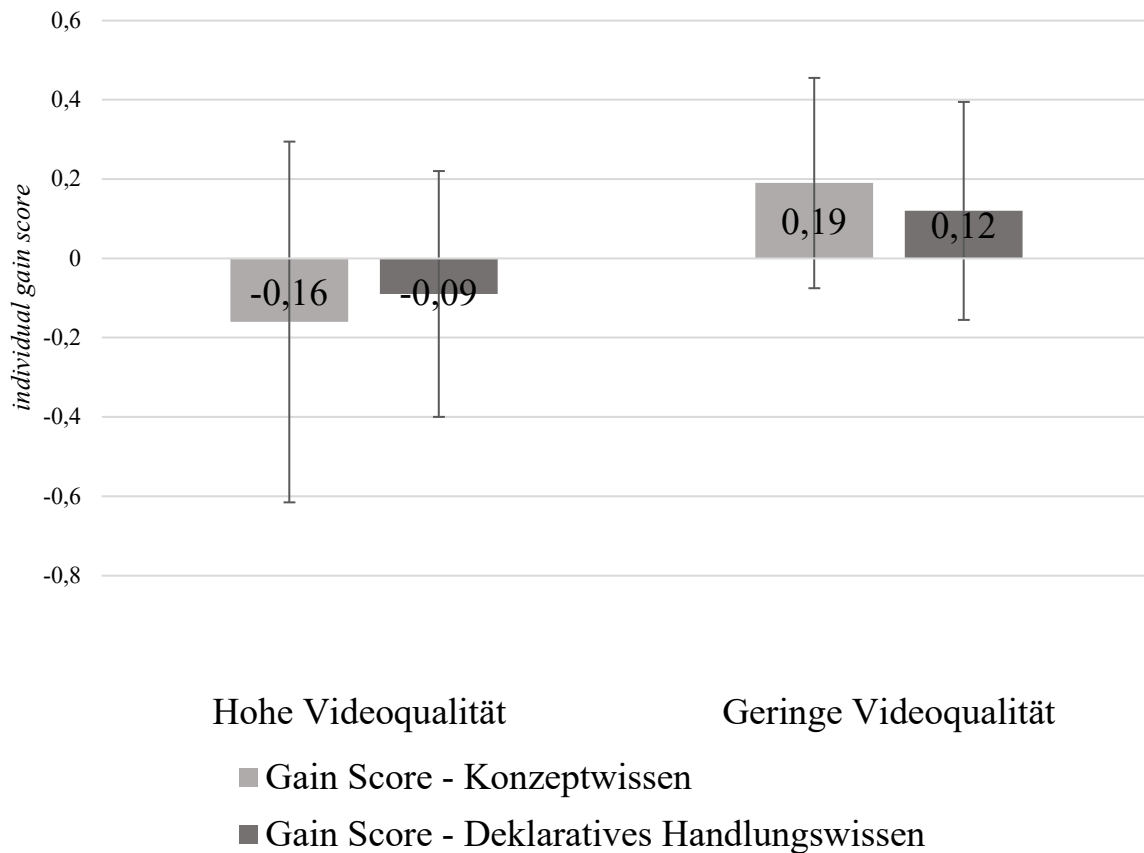


Abbildung 34 Individual Gain Score in Abhängigkeit der Videoqualität für Konzept- und deklaratives Handlungswissen

Um signifikante Unterschiede im Lernzuwachs zu prüfen, wurden Mann-Whitney-U Tests benutzt. In den Gruppen befinden sich $n_{hohe\ Qualität} = 70$ und $n_{geringe\ Qualität} = 72$ Teilnehmer*innen. Die Analyse zeigte zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede im Lernzuwachs im Konzept- (KW) und deklarativen Handlungswissen (DHW) (KW: $mdn_{hohe\ Qualität} = 0,0$; $mdn_{geringe\ Qualität} = 0,28$; $U = 2117$; $Z = -1,645$; $p = 0,1$; DHW: $mdn_{hohe\ Qualität} = 0,25$; $mdn_{geringe\ Qualität} = 0,29$; $U = 2493$; $Z = -0,110$; $p = 0,912$). Durch die Größe der Stichprobe und mit einer noch angemessenen Power von $1 - \beta = 0,80$ (Cohen, 2013) sind die Testinstrumente für mittlere Effekte von $d = 0,42$ sensitiv. Das heißt, es kann nicht ausgeschlossen werden, dass zwischen den Gruppen mittlere Effekte kleiner als $d = 0,42$ vorliegen.

Weiterhin wird die Bewertung der Durchführung der experimentellen Aufgabe auf signifikante Unterschiede geprüft. Hierbei zeigen sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede ($mdn_{hohe\ Qualität} = 5$; $mdn_{geringe\ Qualität} = 6$, $U = 1988$, $Z = -0,135$, $p = 0,892$).

7.6 Lernzuwachs in Abhängigkeit vom Einbettungsformat

Analog zur Untersuchung der ersten Forschungsfrage wird auch für Forschungsfrage 2 zur Wirkung des Einbettungsformats vorgegangen.

Dazu sind in Abbildung 35 die Mittelwerte der *Individual Gain Score* und die Standardabweichung aufgetragen.

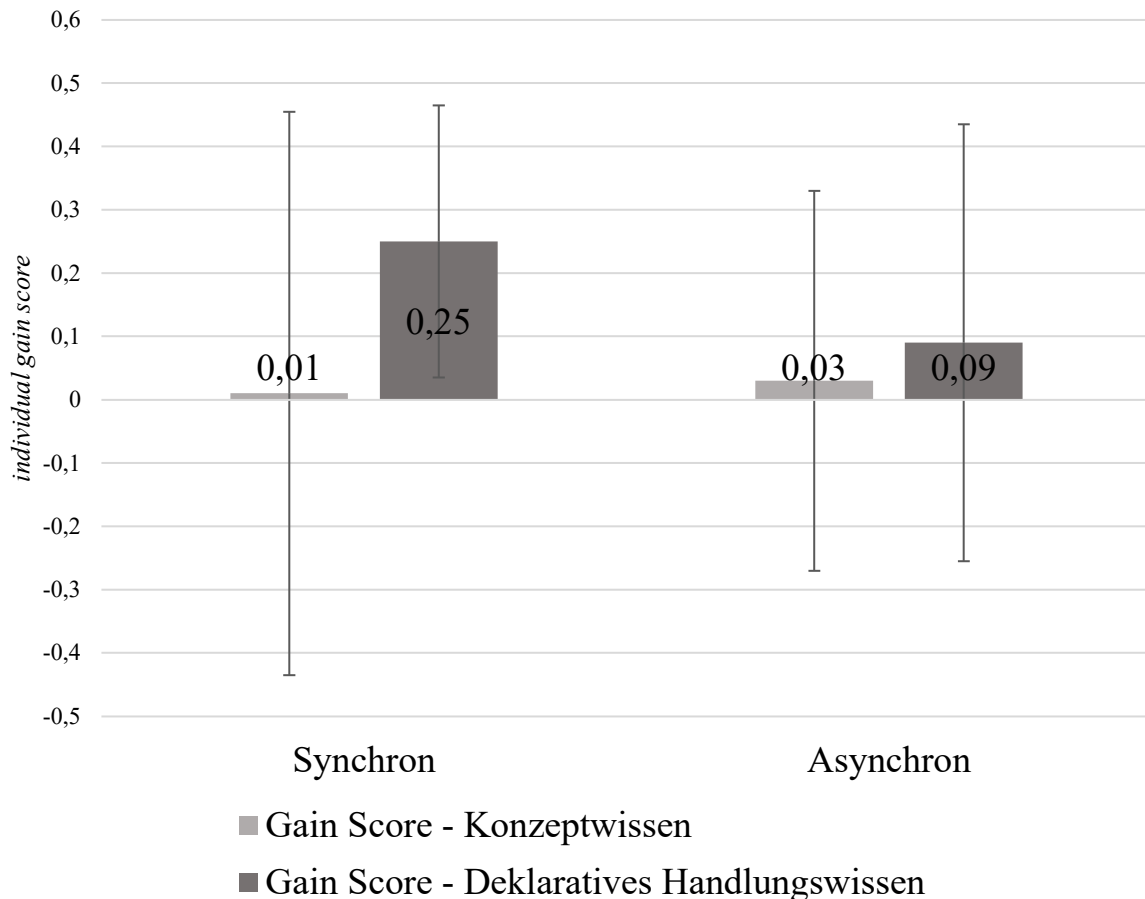


Abbildung 35 Individual Gain Score in Abhängigkeit vom Einbettungsformat für Konzept- und deklaratives Handlungswissen

Eine Analyse mittels Mann-Whitney-U Tests zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen dem asynchronen und synchronen Einbettungsformat der Videos ($n_{sync} = 68$; $n_{async} = 74$ KW: $mdn_{sync} = 0,21$; $mdn_{async} = 0,24$, $U = 5328$; $Z = -0,769$; $p = 0,1$; DHW: $mdn_{sync} = 0,32$; $mdn_{async} = 0,25$; $U = 5103$; $Z = -0,025$; $p = 0,912$). Durch die Größe der Stichprobe und mit einer noch angemessenen Power von $1 - \beta = 0,80$ sind die Testinstrumente für mittlere Effekte von $d = 0,42$ sensitiv.

Eine Untersuchung der Durchführung der experimentellen Aufgabe zeigte ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in den erreichten Punktzahlen ($mdn_{sync} = 7$; $mdn_{async} = 5$, $U = 1878$; $Z = -0,663$; $p = 0,507$).

7.7 Lernzuwächse in Abhängigkeit von den Treatmentgruppen

In Abbildung 36 sind die Ergebnisse über alle Treatmentgruppen dargestellt

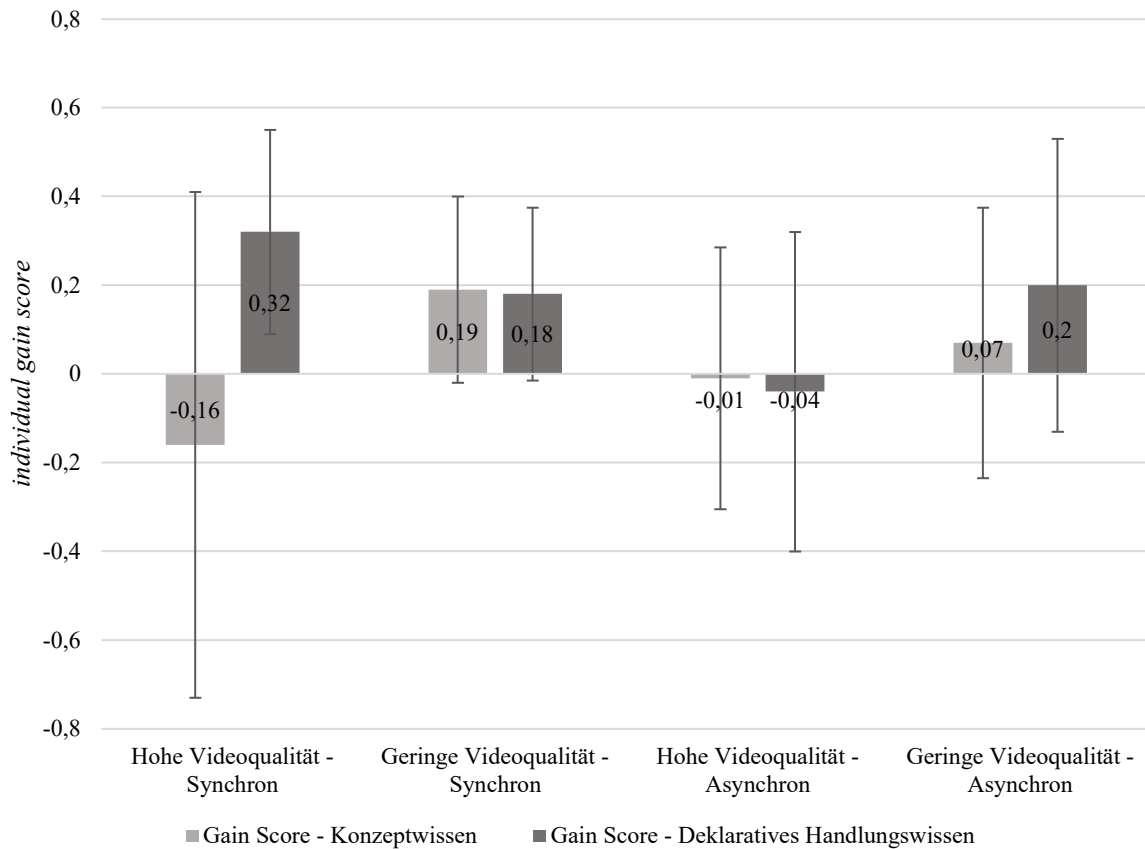


Abbildung 36 Individual Gain Score in Abhängigkeit der Treatmentgruppe für Konzept- und deklaratives Handlungswissen

Mittels Kruskal Wallis Tests wird geprüft, ob zwischen den vier Treatmentgruppen signifikante Unterschiede zu verzeichnen sind. Insgesamt können keine Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich beider Wissensarten ausgemacht werden (KW: $H(3) = 6,123$; $p = 0,106$; DHW: $H(3) = 2,945$; $p = 0,400$). Die Sensitivität der Testinstrumente liegt bei $\eta^2 = 0,05$ ($1 - \beta = 0,80$). Das bedeutet, dass nach Cohen (1988) kleine Effekte zwischen den Gruppen erkannt werden können. Somit kann auch das Vorliegen von kleinen Effekten ausgeschlossen werden.

In der Bewertung der Durchführung der experimentellen Aufgabe zeigen sich ebenfalls keine signifikanten Effekte ($H(3) = 5,73$; $p = 0,903$).

7.8 Extremgruppenvergleiche

Da die großen Lerneffekte zwischen Pre- und Post-Test nicht auf die unterschiedlichen Treatments der vier Gruppen zurückgeführt werden können, soll im Folgenden ein Extremgruppenvergleich hinsichtlich der Pre-Test-Ergebnisse durchgeführt werden.

Da die Pre-Test-Ergebnisse der Studierenden in den verschiedenen Testinstrumenten zum Teil stark voneinander abweichen, werden für jede Wissensart spezifische Extremgruppen gebildet. Dazu wurden anhand der Pre-Test-Ergebnisse jeweils 3 Extremgruppenzentren identifiziert. Danach wurden drei Bereiche für geringes, mittleres und hohes Vorwissen festgelegt und die Studierenden entsprechend ihres Ergebnisses zugeordnet. Insgesamt ergeben sich damit folgende Extremgruppengruppenverteilungen:

Tabelle 23 Mittelwerte der relativen Summenscores und Standardabweichung der Extremgruppen in Pre-Test sowie die Gruppengröße

Extremgruppe	Mittelwert Konzeptwissen	Mittelwert dekl. Handlungswissen
Geringes Vorwissen	$0,34 \pm 0,12$ ($N = 49$)	$0,35 \pm 0,08$ ($N = 44$)
Mittleres Vorwissen	$0,51 \pm 0,05$ ($N = 51$)	$0,57 \pm 0,08$ ($N = 51$)
Hohes Vorwissen	$0,74 \pm 0,08$ ($N = 46$)	$0,78 \pm 0,08$ ($N = 50$)

Für diese Extremgruppen wird ebenfalls der *individual gain score* berechnet. Dieser ist für das Konzeptwissen in Abbildung 37 dargestellt.

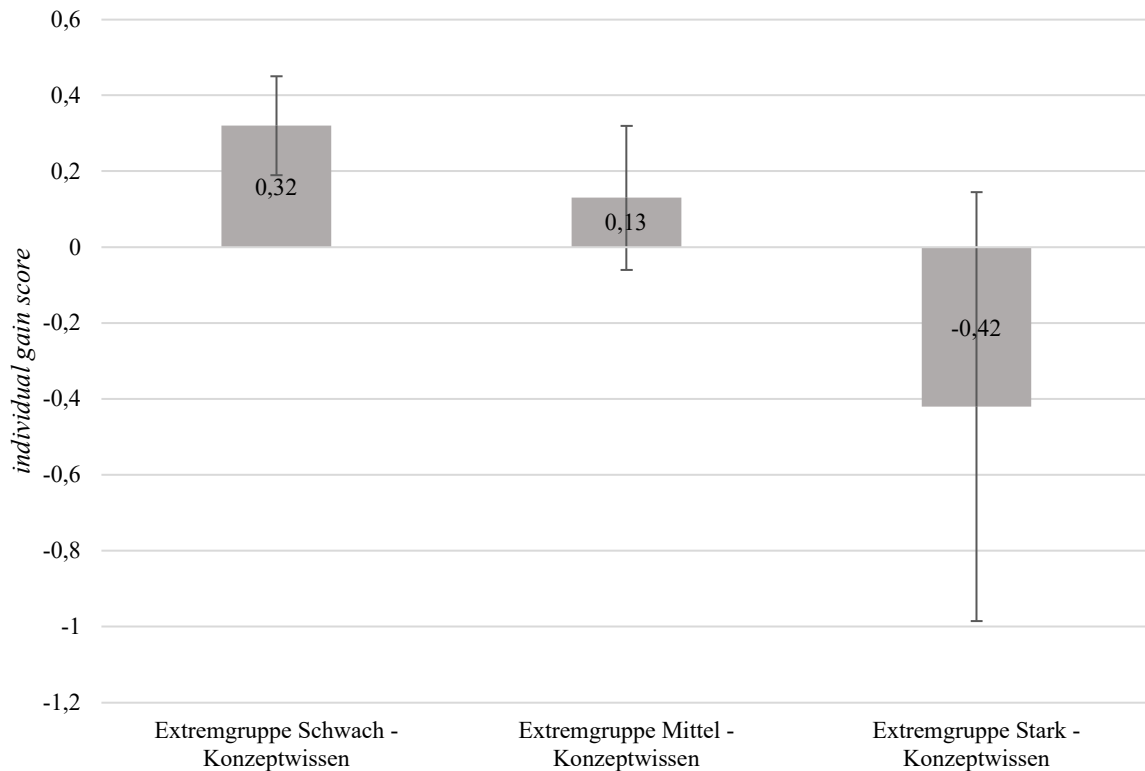


Abbildung 37 Individual Gain Score für das Konzeptwissen in Abhängigkeit von der Extremgruppe des Konzeptwissens

Bei der Betrachtung der Ergebnisse kann festgestellt werden, dass die schwächeren Studierenden zunächst einen höheren Lernzuwachs erzielen als die stärkeren. Diese Beobachtung wird noch einmal verstärkt, da die genutzte Normierung des *gain scores* Studierende mit einem hohen Vorwissen im Lernzuwachs bevorzugt. Studierende mit einem hohen Vorwissen im Konzeptwissen erreichen jedoch im Mittel im Post-Test weniger Punkte als im Pre-Test.

Zunächst wird mittels Kruskal-Wallis-Test geprüft, ob es signifikante Effekte zwischen den Extremgruppen gibt. Es zeigt sich ein nach Cohen (1988) mittlerer Effekt zwischen den Gruppen von $\eta^2 = 0,136$ ($H(2) = 21,420$; $p < 0,05$; $\beta - 1 = 0,99$). Darauf hin wird mittels Mann-Whitney-U Tests mit Bonferroni Korrektur geprüft, welche Gruppen sich voneinander signifikant unterscheiden. Es zeigen sich mittlere bis große signifikante Effekte zwischen allen Extremgruppen, die in Abbildung 38 dargestellt sind.

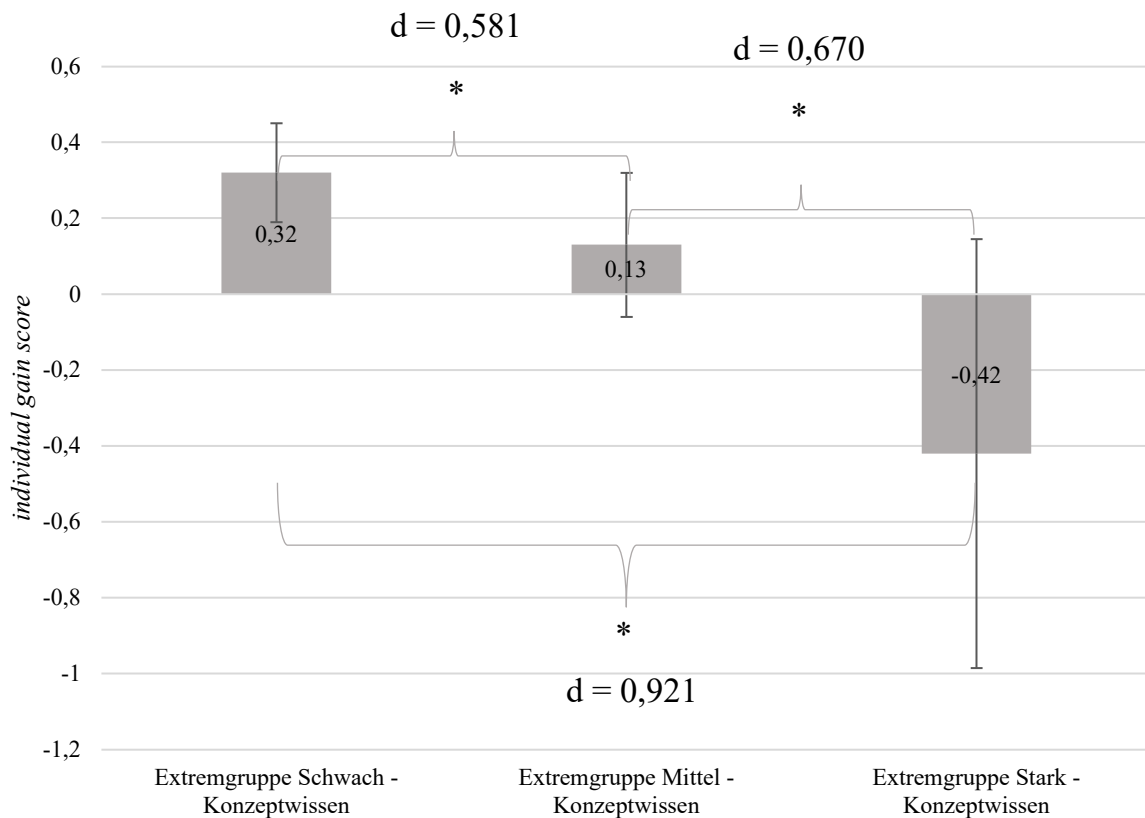


Abbildung 38 Signifikanz der Unterschiede des Individual Gain Score für das Konzeptwissen in Abhängigkeit von der Extremgruppe des Konzeptwissens, * = $p < 0,05$

Es zeigt sich, dass schwache Studierende im Konzeptwissen mit einem mittleren Effekt höhere Lernzuwächse erreichen als die mittlere Studiengruppe und diese mit einem mittleren Effekt höhere als die starken Studierenden. Im Vergleich zwischen schwachen und starken Studierenden zeigt sich ein signifikanter großer Effekt.

Analog wird zum deklarativen Handlungswissen vorgegangen. Die Ergebnisse des *gain scores* sind in Abbildung 39 dargestellt.

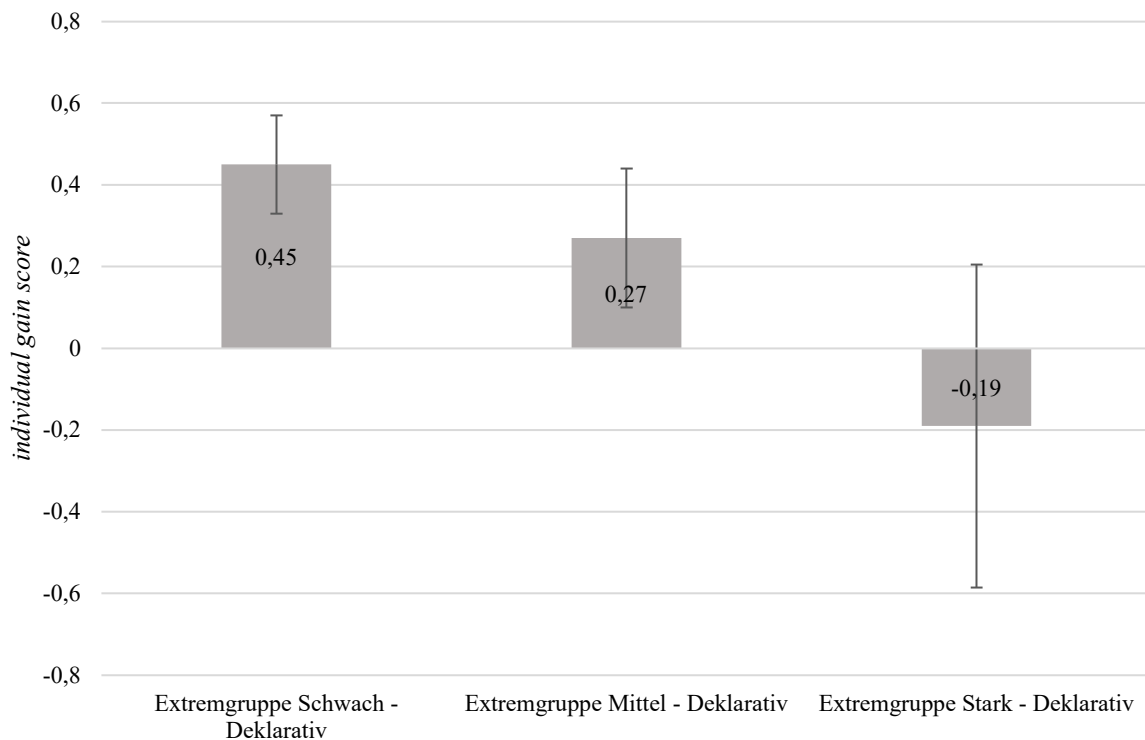


Abbildung 39 Individual Gain Score für das deklarative Handlungswissen in Abhängigkeit von der Extremgruppe des deklarativen Handlungswissens

Hier zeigt sich ein zum Konzeptwissen ähnliches Bild. Studierende mit einem geringen Vorwissen erreichen im Mittel einen höheren *gain score*. Um zu prüfen, ob es signifikante Unterschiede zwischen den Extremgruppen gibt, wird zunächst wieder ein Kruskal-Wallis-Test genutzt. Dabei zeigt sich ein großer signifikanter Effekt zwischen den Gruppen ($\eta^2 = 0,180$; $H(2) = 27,720$; $p < 0,001$; $\beta - 1 = 0,99$). Auch hier wird wieder mittels Mann-Whitney-U Tests mit Bonferroni Korrektur geprüft, welche Gruppen sich voneinander signifikant unterscheiden. Es zeigen sich mittlere bis große signifikante Effekte zwischen allen Gruppen, die in Abbildung 40 dargestellt sind.

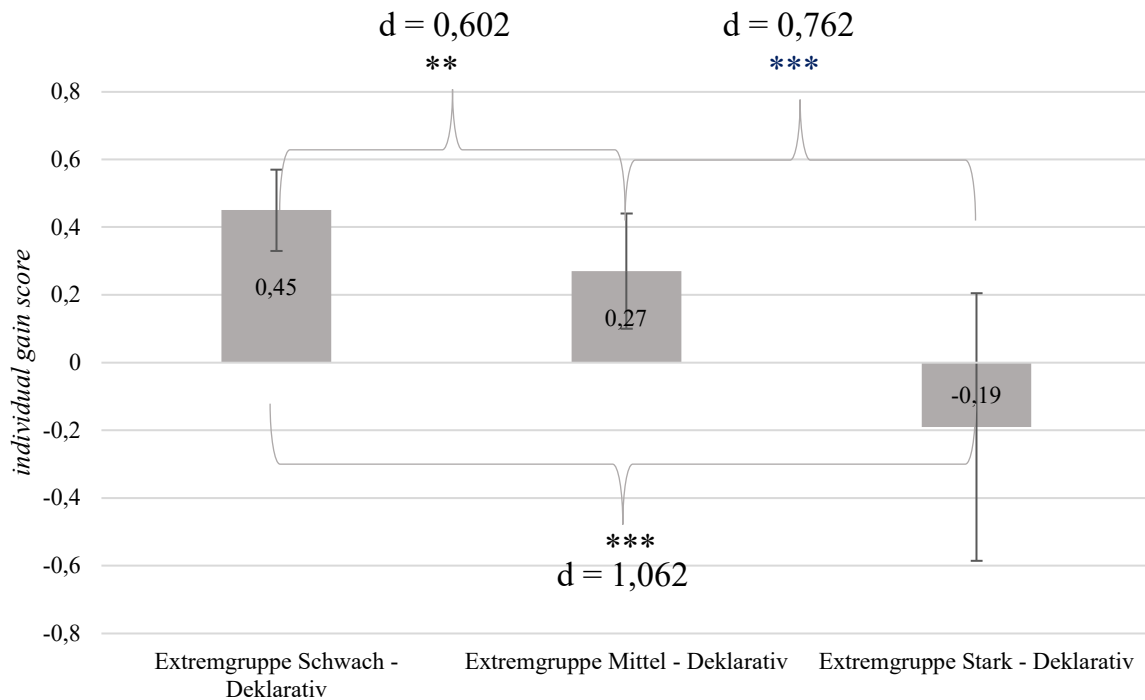


Abbildung 40 Signifikanz der Unterschiede im Individual Gain Score für das deklarative Handlungswissen in Abhängigkeit von der Extremgruppe des deklarativen Handlungswissens; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$

Es können mittlere bis starke Effekte bezüglich des deklarativen Handlungswissens zwischen den Extremgruppen nachgewiesen werden. Die schwache Gruppe unterscheidet sich mit einem mittleren Effekt von der mittleren und diese mit einem mittleren Effekt von der starken Gruppe. Zwischen der schwachen und der starken Gruppe liegt ein großer Effekt vor. Somit bestätigt sich das Bild aus der Betrachtung des Konzeptwissens, dass schwächere Studierende höhere Lernzuwächse erreichen und die stärkeren Studierenden zum Teil im Post-Test geringere Punktzahlen erreichen als im Pre-Test. Auf diesen invertierten Matthäus Effekt und seine Auswirkungen auf die Studie wird in der Diskussion der Ergebnisse genauer eingegangen und ein möglicher Erklärungsansatz dargestellt.

7.9 Einfluss des Interesses und Nutzungsverhaltens

In einem nächsten Schritt soll die Auswertung des Fragebogens zu Interesse an und Nutzungsverhalten von Erklärvideos dargestellt werden. Wie von Szabone Varnai et al. (2020) vorgeschlagen, bietet sich dafür eine Clusteranalyse mit den Dimensionen Nutzung von Erklärvideos innerhalb des Praktikums der Veranstaltung *Physikalische*

Grundlagen und Nutzung und Interesse an Erklärvideos außerhalb der Veranstaltung an. Dazu wird im Folgenden eine K-Means Clusteranalyse genutzt.

Zunächst wird dazu mittels der Berechnung der mittleren Silhouettenbreite die ideale Clusteranzahl bestimmt. Diese liegt laut Abbildung 40 bei 3.

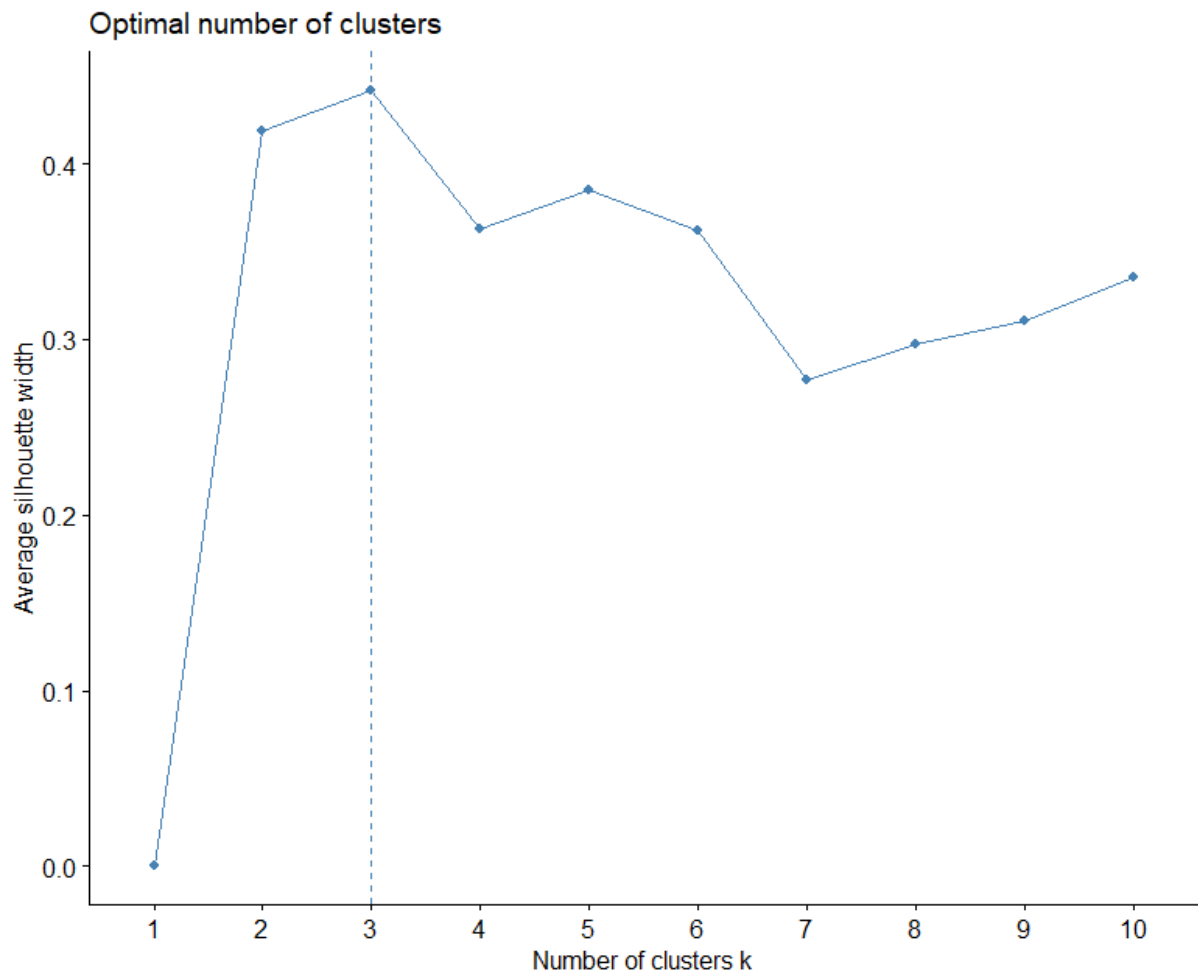


Abbildung 41 X- Achse: Anzahl der Cluster k ; Y-Achse: Durchschnittliche Silhouettenbreite. Je größer die Silhouettenbreite ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass in den Daten die Anzahl der Cluster vorhanden ist. Die Werte reichen von -1 bis 1

In der folgenden Abbildung 42 ist die Clusteranalyse dargestellt. Auf der X-Achse befindet sich die Abweichung vom Mittelwert in Standardabweichungen (Z-Normierung) in der Skala *Nutzung und Interesse außerhalb der Veranstaltung* und auf der Y-Achse die gleiche Normierung für die Skala *Nutzung und Interesse innerhalb der Veranstaltung*.

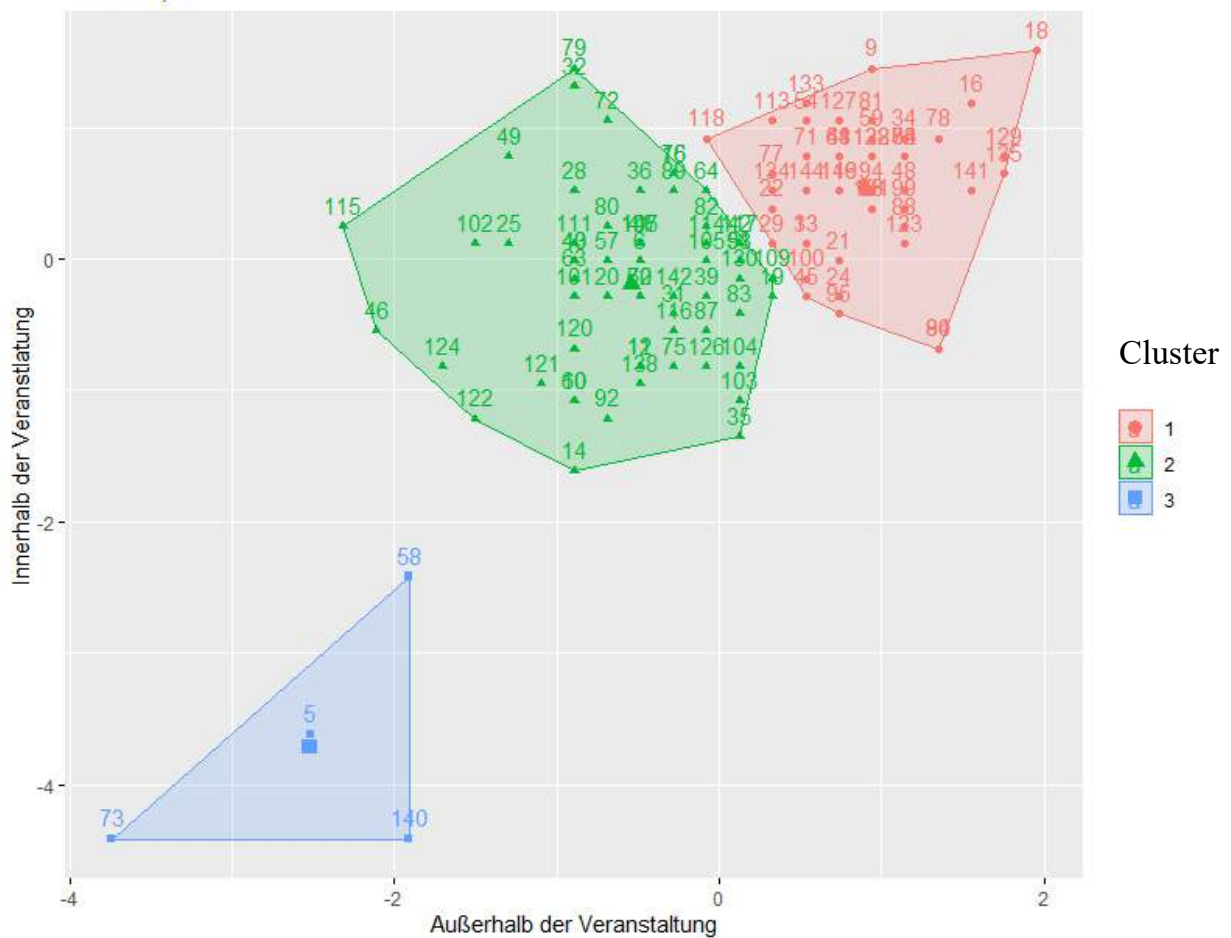


Abbildung 42 Wie durch die Silhouttenbreite vermutet können 3 Clusterzentren voneinander unterschieden werden. Die Cluster sind trennscharf und es gibt keine Überschneidungen.

Insgesamt können drei verschiedene Clusterzentren ausgemacht werden. Das blaue Cluster ($N = 4$) stellt Personen dar, die weder innerhalb noch außerhalb der Veranstaltung Interesse an Erklärvideos haben oder diese benutzen. Das grüne Cluster ($N = 60$) stellt Personen dar, die Erklärvideos innerhalb der Veranstaltung um den Mittelwert nutzen und außerhalb der Veranstaltung eine leicht geringere Nutzungshäufigkeit und ein leicht geringeres Interesse aufweisen. Das rote Cluster ($N = 45$) beschreibt Personen, die sowohl innerhalb als auch außerhalb der Veranstaltung *Physikalische Grundlagen* Erklärvideos häufig nutzen und ein großes Interesse an diesen haben. Insgesamt lassen sich so drei verschiedene Nutzungstypen ausmachen: Eine Gruppe von Nicht-Nutzern (blau), eine Gruppe von Studierenden, die nur für die Veranstaltung *Physikalische Grundlagen* Erklärvideos nutzt und Interesse daran hat (grün), und eine Gruppe von Studierenden, die Erklärvideo-Enthusiasten sind (rot). In einem nächsten Schritt wird überprüft, ob eine Zuordnung zu diesen Clustergruppen einen Einfluss auf den Lernzuwachs und das Abschneiden in der experimentellen Aufgabe hat.

In Abbildung 43 ist der *Individual Gain Score* in Abhängigkeit der Clustergruppenzugehörigkeit für das deklarative Handlungswissen und für das Konzeptwissen dargestellt.

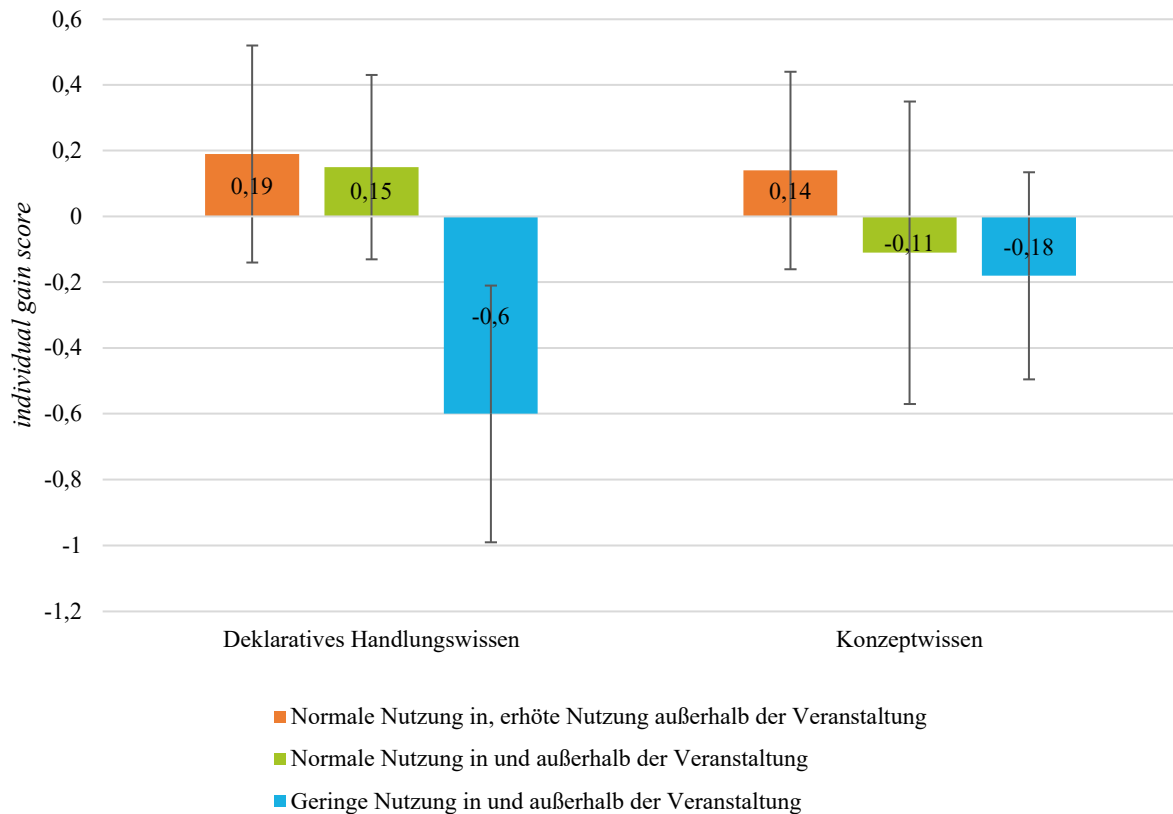


Abbildung 43 Individual gain score für das deklarative Handlungswissen und Konzeptwissen in Abhängigkeit von der Clustergruppe

Zunächst fällt auf, dass die rote Clustergruppe in beiden Wissensarten die höchsten Lernzuwächse erzielt. Die grüne Gruppe wiederum erzielt höhere Lernzuwächse als die blaue Gruppe. Mittels Kruskal-Wallis Test wird geprüft, ob diese Lernzuwächse signifikant werden. Es zeigt sich, dass der Lernzuwachs im deklarativen Handlungswissen mit einem kleinen ($\eta^2 = 0,043$; $H(2) = 6,398$; $p < 0,05$; $\beta - 1 = 0,75$) Effekt sich signifikant zwischen den Gruppen unterscheidet. Der Kruskal-Wallis Test für das Konzeptwissen wird nahezu signifikant ($H(2) = 5,548$; $p = 0,062$) und es zeigt sich ein kleiner Effekt ($\eta^2 = 0,025$). Auf Grund der Sensitivität des Testes³¹, kann ein Vorliegen eines signifikanten Effektes nicht ausgeschlossen werden. Daher werden für beide Wissensarten im folgenden Mann-Whitney-U Tests mit Bonferroni Korrektur zwischen den Gruppen gerechnet. Dabei zeigte sich ein signifikanter Effekt im deklarativen Handlungswissen zwischen der roten und der blauen Gruppe

³¹ Bei einer Power von $\beta - 1 = 0,80$ beträgt die Sensitivität $\eta^2 > 0,05$

($mdn_{blau} = -0,60$; $mdn_{rot} = 0,19$; $U = 23,50$; $Z = -2,433$; $p < 0,05$, $d = 0,74$, $\beta - 1 = 0,34$). Weitere Effekte werden nicht signifikant, können aber auf Grund der kleinen Größe der blauen Gruppe nicht ausgeschlossen werden. Ebenfalls zeigt sich durch die geringe Gruppengröße nur eine schwache Power des Tests.

7.10 Regressionsmodell zum Lernzuwachs

Um einen genaueren Einblick in die Prädiktoren des Lernerfolges beim Einsatz von Erklärvideos zu erhalten (vgl. Forschungsfrage 3), wird im Folgenden je ein multiples Regressionsmodell für den *Individual Gain Score* der Wissensarten deklaratives Handlungswissen und Konzeptwissen entwickelt.

Als Prädiktoren werden auf Grund der vorangegangenen Analysen das Vorwissen in der jeweiligen Wissensdomäne und das Ergebnis der Skalen Interesse und Nutzungsverhalten innerhalb der Veranstaltung *Physikalische Grundlagen* und außerhalb der *Physikalischen Grundlagen* ausgewählt.

Es können zwei signifikante Regressionsmodelle, eines für jede Wissensart erstellt werden. Für das deklarative Handlungswissen können $R^2 = 0,36$ der Varianz aufgeklärt werden. Nach Cohen (2013) ist dies eine große Varianzaufklärung ($F(3, 104) = 21,1$; $p < 0,001$). Für das Konzeptwissen kann eine Varianzaufklärung R^2 von 0,20 erreicht werden ($F(3, 105) = 10,15$; $p < 0,001$). Nach Cohen (2013) ist dies eine mittlere Aufklärung der Varianz. Die genutzten Prädiktoren und Zielvariablen sind in Abbildung 44 dargestellt. Insgesamt konnten $N = 104$ komplette Datensätze für die Regressions genutzt werden. Die Verluste von Probanden sind durch fehlende Daten in einer der Skalen des Fragebogens zu Nutzungsverhalten und Interesse bedingt.

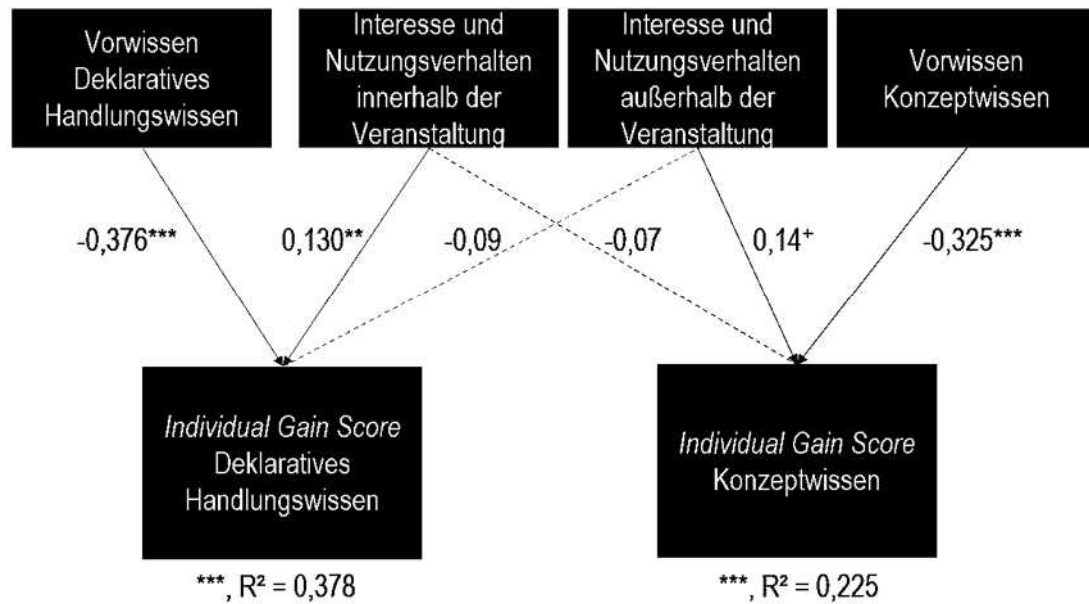


Abbildung 44 Regressionsmodell für das deklarative Handlungswissen und das Konzeptwissen. * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$

Nachfolgend sollen die beiden Regressionsmodelle beschrieben werden. Im Regressionsmodell des deklarativen Handlungswissen ist zunächst das Vorwissen hochsignifikant negativ mit dem *gain score* verbunden ($b = -0,376$; $t(104) = -7,339$; $p < 0,001$). Das bedeutet, dass ein höheres Vorwissen einen geringeren Lernzuwachs prognostiziert und ein geringeres Vorwissen ein Prädiktor für einen höheren Lernzuwachs ist. Ebenso wird das Interesse an und Nutzungsverhalten von Erklärvideos innerhalb der Veranstaltung ein signifikanter Prädiktor für den Lernzuwachs im deklarativen Handlungswissen ($b = 0,130$; $t(104) = 2,173$; $p < 0,01$). Das bedeutet, dass, wenn sich die Studierenden mit den Erklärvideos für die anderen Sitzungen des Praktikums beschäftigen, dies einen höheren Lernzuwachs im deklarativen Handlungswissen prognostiziert. Das Nutzungsverhalten außerhalb der Veranstaltung ist kein signifikanter Prädiktor.

Im Regressionsmodell für das Konzeptwissen wird das Vorwissen ebenfalls ein negativer signifikanter Prädiktor ($b = -0,325$; $t(105) = -4,569$; $p < 0,01$). Das bedeutet, dass ein höheres Vorwissen einen geringeren Lernzuwachs prognostiziert und ein geringeres Vorwissen ein Prädiktor für einen höheren Lernzuwachs beim Konzeptwissen ist. Das Nutzungsverhalten außerhalb der Veranstaltung wird ein nahezu signifikanter Prädiktor für den Lernzuwachs ($b = 0,14$; $t(105) = 1,646$; $p = 0,10$). Das bedeutet, dass es einen Trend dazu gibt, dass für Studierende, die sich abseits der Veranstaltung mit Erklärvideos beschäftigen, ein höherer Lernzuwachs prognostiziert werden kann. Das Nutzungsverhalten von und Interesse an Erklärvideos für die Veranstaltung *Physikalische Grundlagen* ist kein signifikanter Prädiktor.

Weitere Prädiktoren wie das Alter, Abiturnote oder Geschlecht zeigen sich nicht als signifikant und verschlechtern das Regressionsmodell.

7.10.1 Validierung der Regression durch Imputation

Da die Stichprobengröße aufgrund fehlender Daten verkleinert wurde, soll im Folgenden das Ergebnis der Regressionsanalyse durch Imputation der fehlenden Werte validiert werden. Um die fehlenden Werte zu imputieren, wird die einfache Methode des *Predictive Mean Matching* genutzt. Durch diese Imputation kann die Stichprobengröße von $N = 104$ auf $N = 138$ Teilnehmer*innen erhöht werden. Beide Regressionsmodelle bleiben weiterhin signifikant (Deklaratives Handlungswissen: $F(3, 137) = 21,05$; $p < 0,001$, Konzeptwissen: $F(3, 138) = 14,36$; $p < 0,001$). Die Varianzaufklärung verändert sich nur leicht und beträgt für das deklarative Handlungswissen nun $R^2 = 0,32$ und für das Konzeptwissen $R^2 = 0,23$. Das Regressionsmodell nach der Imputation der Werte ist in Abbildung 45 dargestellt.

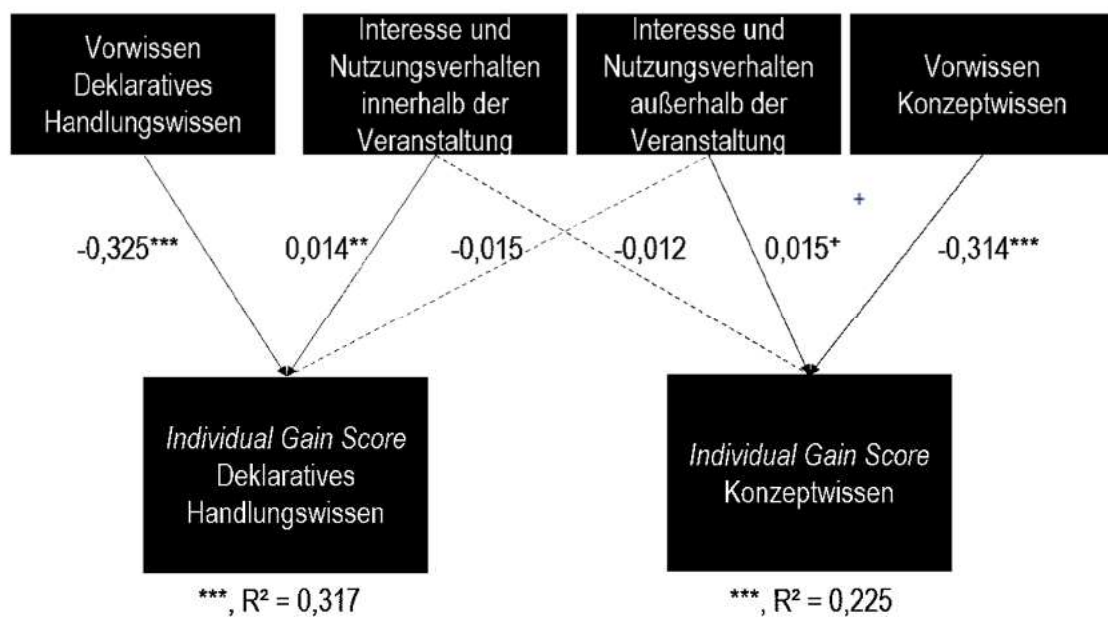


Abbildung 45 Regressionsmodel nach Imputation. $*$ = $p < 0,05$; $**$ = $p < 0,01$; $***$ = $p < 0,001$

Das Vorwissen bleibt für beide Modelle ein signifikanter, negativer Prädiktor. Für das deklarative Handlungswissen bleibt der Prädiktor *Interesse und Nutzungsverhalten innerhalb der Veranstaltung* signifikant ($b = 0,014$; $t(137) = 1,99$; $p < 0,05$). Im Konzeptwissen ist das Interesse an und Nutzungsverhalten von Erklärvideos außerhalb der Veranstaltung *Physikalische Grundlagen* ein fast signifikanter Prädiktor ($b = 0,03$; $t(138) = 1,965$; $p < 0,10$). Somit bestätigt sich der Trend des ersten Regressionsmodells.

Die Imputation bewirkt insgesamt nur kleinere Veränderungen. Damit kann angenommen werden, dass die fehlenden Werte nur einen geringen Einfluss auf das Regressionsmodell haben. Da beide Modelle zu ähnlichen Ergebnissen kommen, wird das einfachere Modell ohne imputierte Daten für die weitere Diskussion bevorzugt genutzt.

7.11 Analyse des Nutzungsverhaltens

In der bisherigen Darstellung der Ergebnisse zeigen sich keine signifikanten Unterschiede in den Lerneffekten hinsichtlich der vier Treatmentgruppen. Jedoch können zwischen Prä- und Post-Test hohe Lernzuwächse ausgemacht werden und auch eine Extremgruppenanalyse zeigt, dass besonders schwache Studierende von den angebotenen Erklärvideos profitieren. Um das Ausbleiben, aber auch das Auftreten von hohen Effekten genauer erklären zu können und um Forschungsfrage 3, d. h. welche Personen besonders von Erklärvideos profitieren, zu bearbeiten, soll im Folgenden der Fokus auf das konkrete Nutzungsverhalten der Erklärvideos im Verlauf der Intervention gelegt werden. Aus der Theorie der kognitiven Aktivierung kann vermutet werden, dass eine intensivere und elaborierte Interaktion mit dem genutzten Erklärvideo zu höheren Lernzuwächsen führt. Dazu wird zunächst das Nutzungsverhalten beschrieben. Es konnte von $N = 135$ Studierenden das Nutzungsverhalten bei der Betrachtung der Erklärvideos ausgewertet werden. Insgesamt wurden dabei 3.071 Interaktionen aufgezeichnet, die ausgewertet werden können. Der Großteil der Interaktionen (2.234; 72 %) beinhaltet das Abspielen, Stoppen und Springen im Video.

7.11.1 Gesamtinteraktionen

Zunächst soll die Häufigkeit der Interaktionen betrachtet und geprüft werden, ob sie sich in den beiden Interventionsformaten Einbettungsform und Videoqualität unterscheiden. Dazu ist in Abbildung 46 der Mittelwert der Interaktionen in Abhängigkeit der Einbettungsform dargestellt. Mittels Mann-Whitney-U Test zeigt sich, dass die synchrone Gruppe signifikant mehr Interaktionen mit den Erklärvideos durchführt ($U = 2183,0$; $Z = -1,886$; $p < 0,5$; $d = 0,807$). Dazu existiert zwischen den Einbettungsformaten ein starker Effekt. Hinsichtlich der Qualität des Videos unterscheidet sich die reine Anzahl der Interaktionen dagegen nicht signifikant.

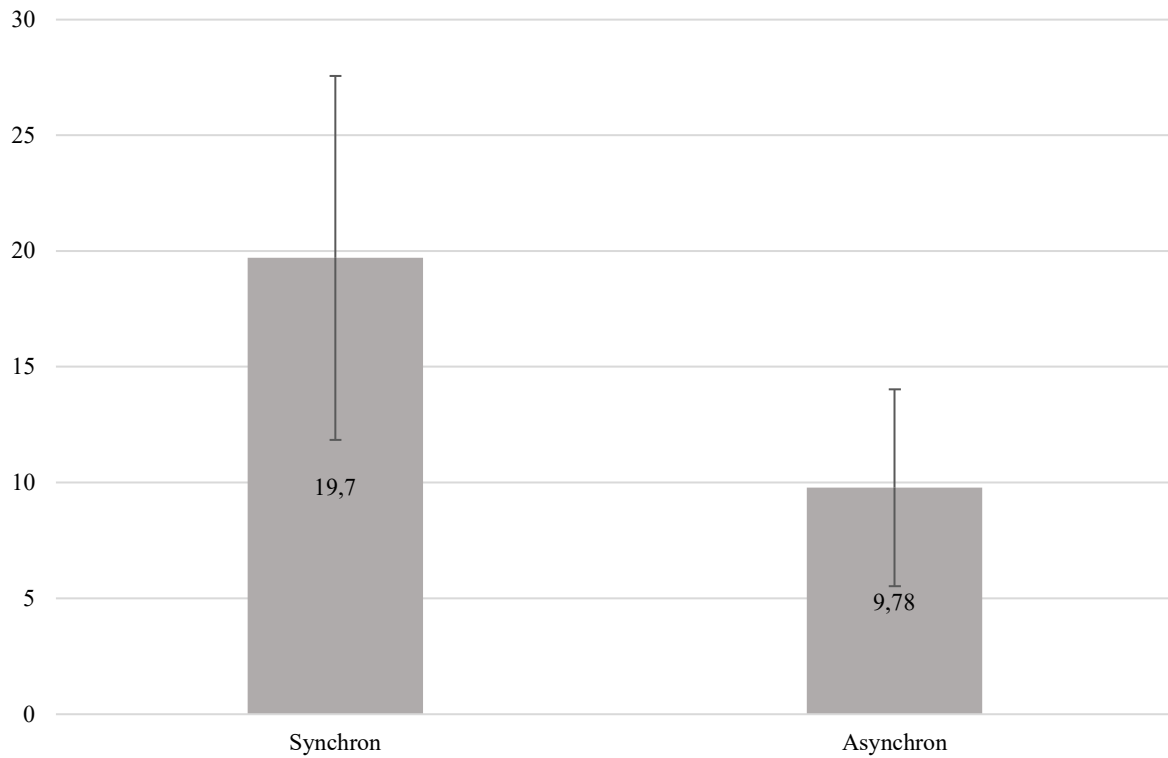


Abbildung 46 Durchschnittliche Anzahl der Interaktionen in Abhängigkeit vom Einbettingsformate

Da sich in der Analyse des Lernzuwachses das Vorwissen als ein hochsignifikanter Prädiktor herausstellt, sollen im Folgenden die in Bezug auf das Konzept- und Handlungswissen gebildeten Extremgruppen hinsichtlich der Interaktionen verglichen werden.

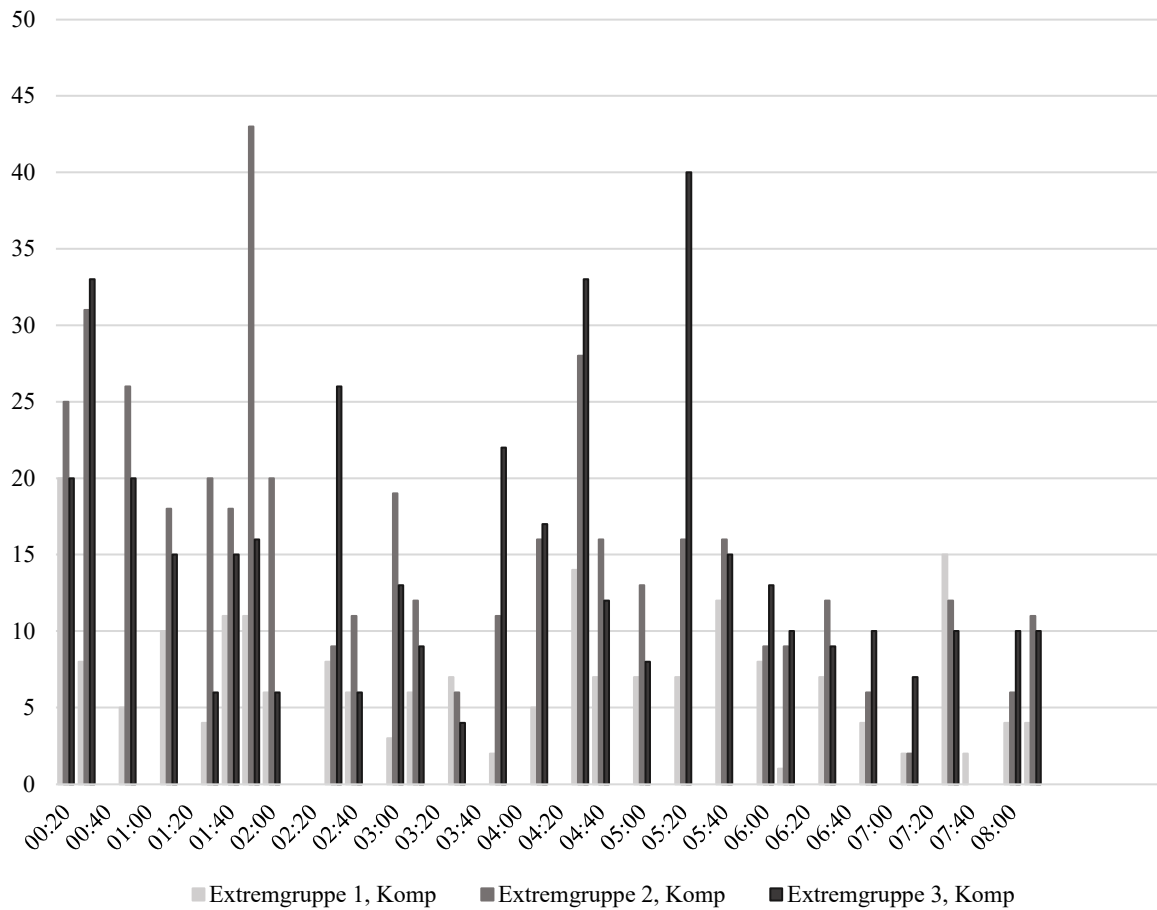


Abbildung 47 Anzahl der Interaktionen im Video in Abhängigkeit von den verschiedenen Extremgruppen des Konzeptwissens. Bei Vor- und Zurückspulvorgängen wird zunächst nur der Startpunkt betrachtet.

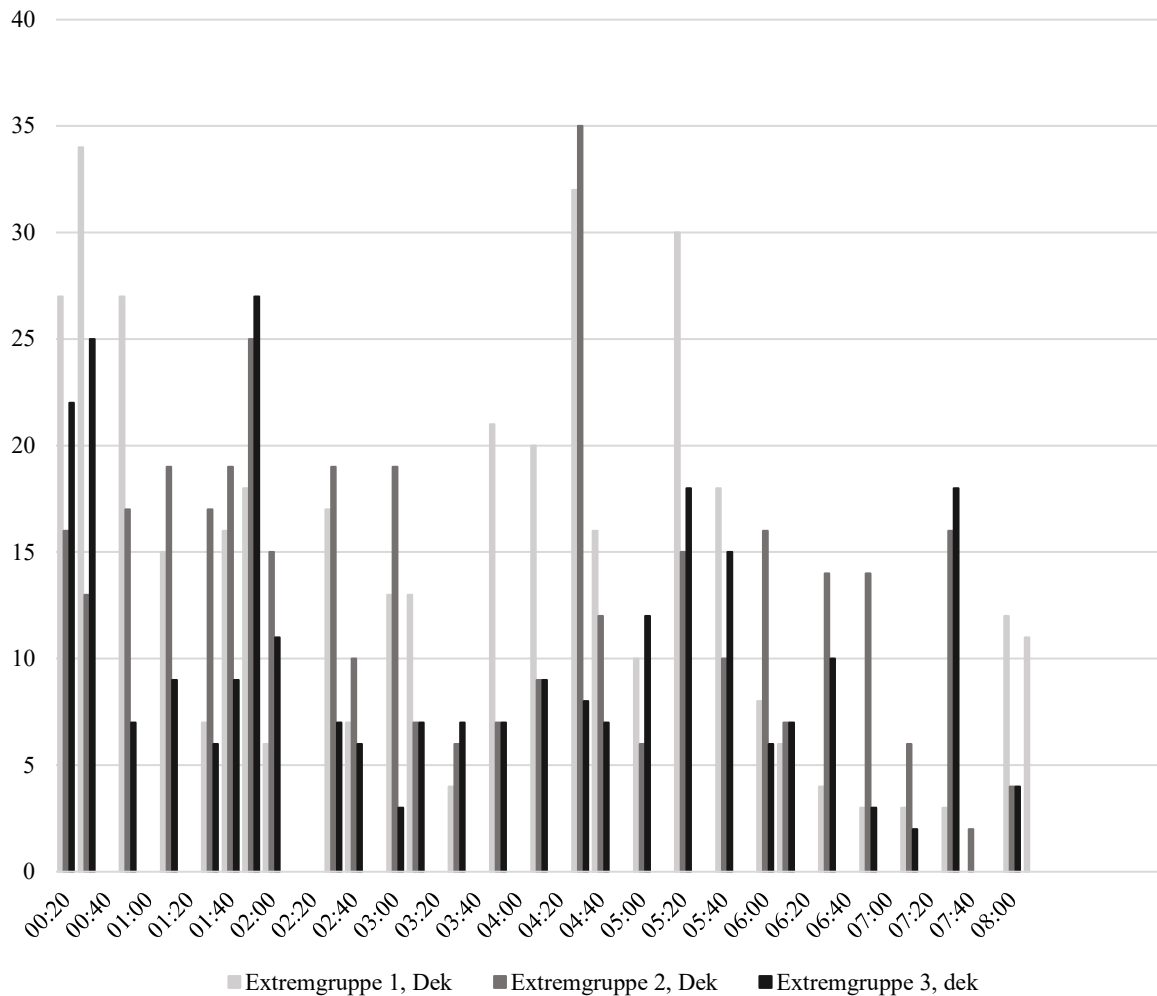


Abbildung 48 Anzahl der Interaktionen im Video in Abhängigkeit von den verschiedenen Extremgruppen des deklarativen Handlungswissens. Bei Vor- und Zurückspulvorgängen wird zunächst nur der Startpunkt betrachtet.

Die Interaktionen zeigen bezogen auf die Extremgruppen ein indifferentes Bild. Die durchschnittliche Anzahl der Interaktionen ist nicht signifikant abhängig von der jeweiligen Extremgruppe (Konzeptwissen: $H(2) = 2,456$; $p = 0,292$; deklaratives Handlungswissen: $H(2) = 1,136$; $p = 0,518$) und es zeigen sich zunächst auch keine typischen Handlungsverläufe. Auffällig ist, dass die Studierenden mit einem schwachen deklarativen Handlungsvorwissen die Tendenz haben, zu Beginn des Videos und in der Beschreibung des Aufbaus des Versuches mit dem Video häufig zu interagieren (05:20).

7.11.2 Beschreibung des Vor- und Zurückspulens

Um genauer zu beschreiben, wie lange sich die Studierenden bei einem bestimmten Inhalt aufhalten und wie intensiv dieser betrachtet wird, soll im Folgenden eine Analyse des Spulverhaltens in Abhängigkeit von der Videoqualität, der Einbettungsform und den hinsichtlich Konzept- und Handlungswissen gebildeten Extremgruppen durchge-

führt werden. Die Sprünge zwischen zwei Zeitpunkten werden dazu als Arc-Diagramme dargestellt. Hierbei werden zwei Zeitpunkte A und B miteinander verbunden. Je häufiger ein Sprung von Zeitpunkt A zu Zeitpunkt B stattfindet, desto dicker wird die Linie zwischen diesen Punkten. Um die Inhalte, die zu den Zeitpunkten zwischen denen gesprungen wird, besser einordnen zu können, ist im Folgenden zunächst eine Tabelle mit den groben Inhalten zu den einzelnen Zeitpunkten dargestellt:

Tabelle 24 Zeitstrahl der Videos aufgelöst in 10 Sekunden Abschnitten

Zeit	Video hoher Qualität	Video geringer Qualität
00:10	Problemstellung	Problemstellung und Frage
00:20	Fragestellungen	Reinzoomen in Lampe
00:30	Reinzoomen in Lampe	Reinzoomen in Lampe
00:40	Animation beginnt	Animation beginnt
00:50	Erklärung was im Leiter passiert	Strom wird erklärt
01:00	Spannung wird angelegt	Wieso leuchtet Lampe
01:10	Wieso leuchtet Lampe	Wieso leuchtet Lampe
01:20	Wieso leuchtet Lampe	Wieso leuchtet Lampe
01:30	Stromstärke	Spannung Erklären
01:40	Elektrischer Widerstand wird erläutert	Stromstärke Erklären
01:50	Elektrischer Widerstand wird erläutert	Widerstand erläutern
02:00	Rückbezug auf Ausgangsfrage	Widerstand erläutern
02:10	Lampe heller leuchten lassen	Verbraucher einführen
02:20	Lampe heller leuchten lassen	Widerstand qualitativ
02:30	Andere Beispiele	Helleres Leuchten
02:40	Berechnung	Berechnung
02:50	Berechnung	Berechnung
03:00	Berechnung	Berechnung
03:10	Berechnung	Berechnung
03:20	Berechnung	Einheiten
03:30	Einheiten	Einheiten
03:40	Material	Material
03:50	Material	Aufbau
04:00	Material	Aufbau
04:10	Material	Aufbau
04:20	Material	Aufbau
04:30	Aufbau	Aufbau
04:40	Aufbau	Aufbau
04:50	Aufbau	Aufbau
05:00	Aufbau	Durchführung
05:10	Aufbau	Durchführung
05:20	Aufbau	Durchführung

Zeit	Video hoher Qualität	Video geringer Qualität
05:30	Aufbau	Auswertung
05:40	Aufbau	Auswertung
05:50	Durchführung	Auswertung
06:00	Durchführung	Auswertung
06:10	Durchführung	Auswertung
06:20	Durchführung	Auswertung
06:30	Auswertung	Ohmsche Widerstände
06:40	Auswertung	Zusammenfassung
06:50	Auswertung	Zusammenfassung
07:00	Auswertung	Zusammenfassung
07:10	Auswertung	Nachfolgende Aufgabe
07:20	Auswertung	Outro
07:30	Zusammenfassung	
07:40	Zusammenfassung	
07:50	Zusammenfassung	
08:00	Nachfolgende Aufgabe	
08:10	Outro	

In Abbildung 49 ist zunächst das Spulverhalten über alle Studierenden dargestellt. Dabei beziehen sich über der X-Achse gelegene Verbindungen auf das Vorspulen und unter der X-Achse gelegene Verbindungen auf das Zurückspulen. Die größte Gruppe der Studierenden betrachtet die Videos jedoch linear (ohne Vorspulen $N = 97$; ohne Zurückspulen $N = 56$)³²:

³² Die genaue Diskussion der Ergebnisse findet im Kapitel 8 statt. Dennoch werden hier schon erste Überlegungen zu den Bedeutungen der Verbindungen gegeben, um die Arc-Diagramme besser einordnen zu können.

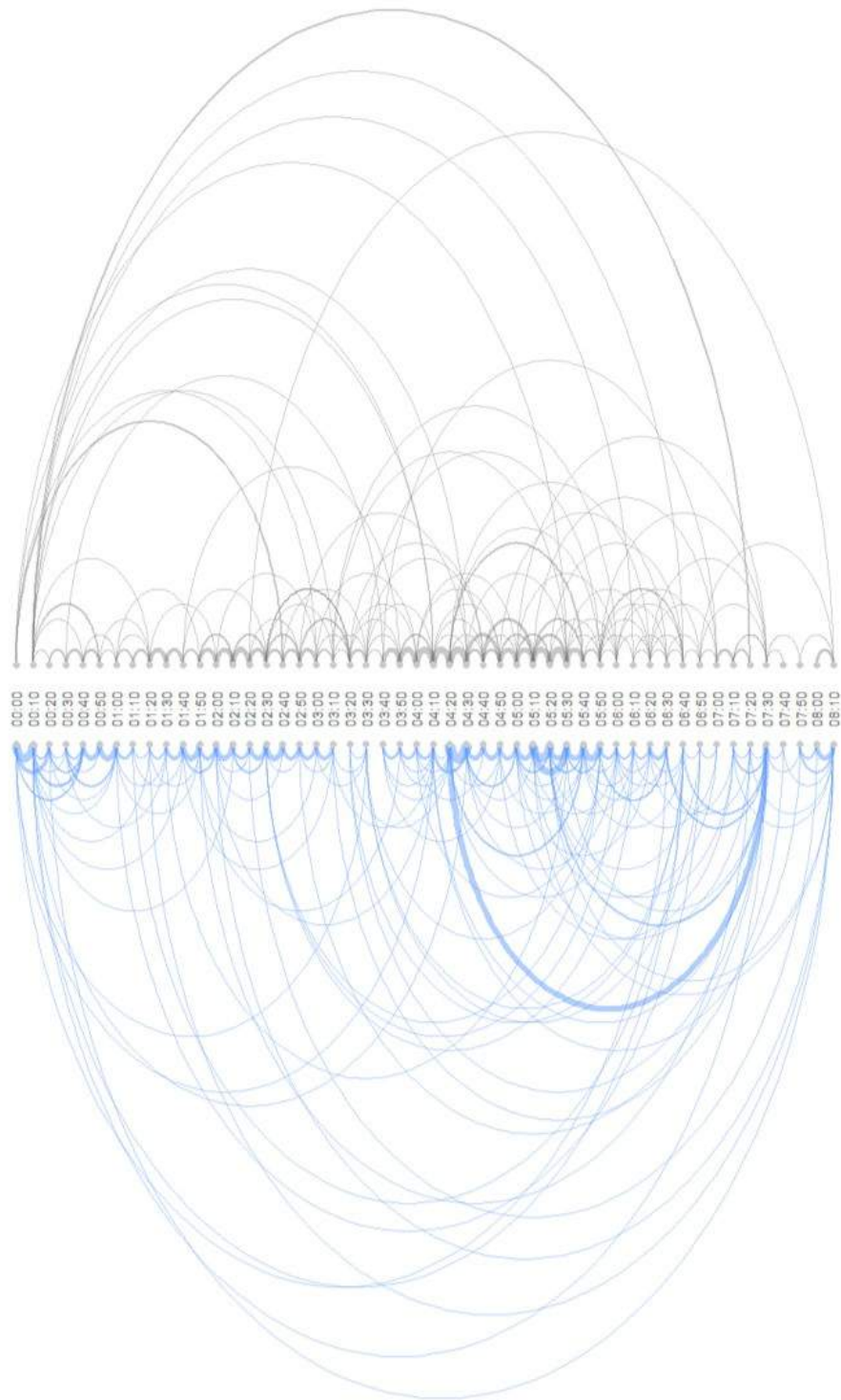


Abbildung 49 Grau: Vorspulen; Blau: Zurückspulen; Je dicker die Linie ist, desto häufiger wurde zwischen den Zeitpunkten gesprungen.

Es gibt sehr viele Verbindungen, die nur zwischen zwei 10 Sekunden Abschnitten, springen. Diese Sprünge deuten darauf hin, dass die Studierenden durch das Video springen und für sie neue Informationen suchen. Es zeigt sich eine höhere Dichte an Verbindungen bei der Beschreibung der experimentellen Handlung (ab ca. 04:10). Es

kann also davon ausgegangen werden, dass besonders in diesem Bereich viele Spulinteraktionen stattgefunden haben. Die am häufigsten vorkommende Verbindung ist das Zurückspulen von 07:10 auf 04:10. Dies ist, abhängig vom Video, der Sprung vom Ende der Zusammenfassung (Video geringerer Qualität) zum Beginn des Aufbaus oder der Sprung von der Auswertung des Experiments zur Vorstellung der Materialien (Video höherer Qualität). Die Studierenden legen somit einen besonderen Fokus darauf, die Handlung des Videos erneut zu betrachten. Um das Springen zwischen den Zeitpunkten genauer zu beschreiben, werden im Folgenden zunächst die Videos einzeln betrachtet. Vorspulen wird dabei immer in Grau dargestellt und Zurückspulen in Blau.

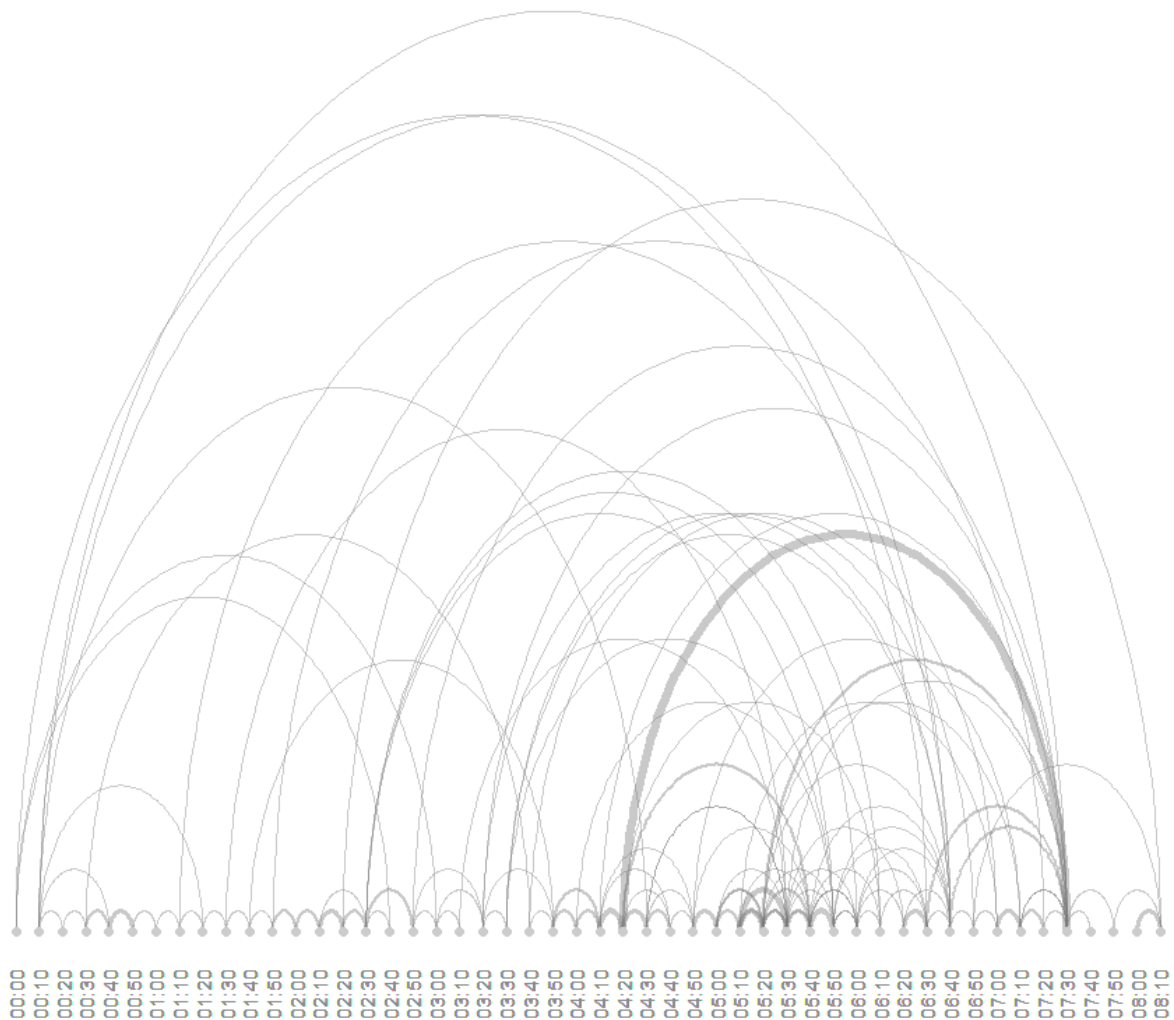


Abbildung 50 Vorspulen des guten Videos.

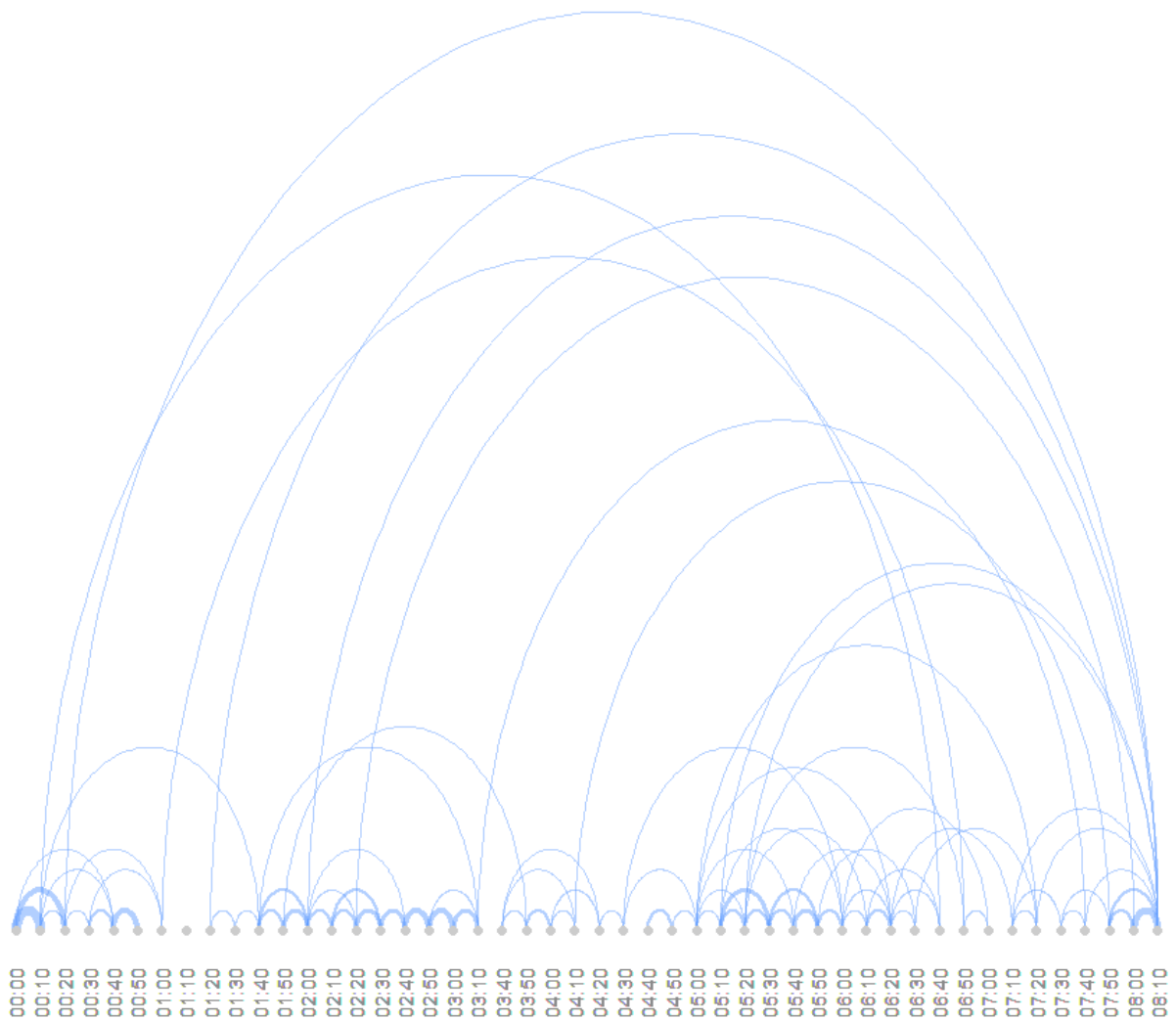


Abbildung 51 Zurückspulen des guten Videos

In Abbildung 50 und 51 sind das Vorspulen und Zurückspulen bei der Nutzung des guten Videos dargestellt. Es fällt zunächst auf, dass mehr Verbindungen im Vorspulen als im Zurückspulen vorhanden sind. Deutlich wird dabei, dass, wie in der Gesamtbeurteilung, die meisten Interaktionen im zweiten Teil des Videos stattfinden. Die häufigste Verbindung ist dabei der Sprung von der Beschreibung des Materials (04:20) zum Beginn der Zusammenfassung (07:30). Zwischen diesen Punkten findet häufig ein Vorspulen von 10 Sekunden statt. Ein solches kurzes Springen findet sich auch im Zurückspulen, jedoch in einer geringeren Intensität. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre, dass die Studierenden versuchen, für sie neue und relevante Inhalte suchen. Häufig spulen Studierende vom Ende des Videos (08:10) zu einer anderen Stelle des Videos zurück. Dies deutet darauf hin, dass die Studierenden bei einer ersten Betrachtung des Videos noch nicht das Gefühl entwickelt haben, den Inhalt verstanden zu haben. Ebenfalls häufig wird am Beginn des Videos (00:10 und 00:20 zu 00:00) zurückgespult.

Insgesamt zeigen die Arc-Diagramme für das Video höherer Qualität häufiger ein Vorspulen, besonders bei der Erklärung der Experimentierhandlung im Video. Eine Erklärung hierfür kann sein, dass in der Erklärung der Handlung eine geringere Informationsdichte vorherrscht und daher die Studierenden bestimmte kleine Stücke überspringen. In Abbildung 52 und 53 werden nun Vor- und Zurückspulen bei der Nutzung des schlechteren Videos dargestellt.

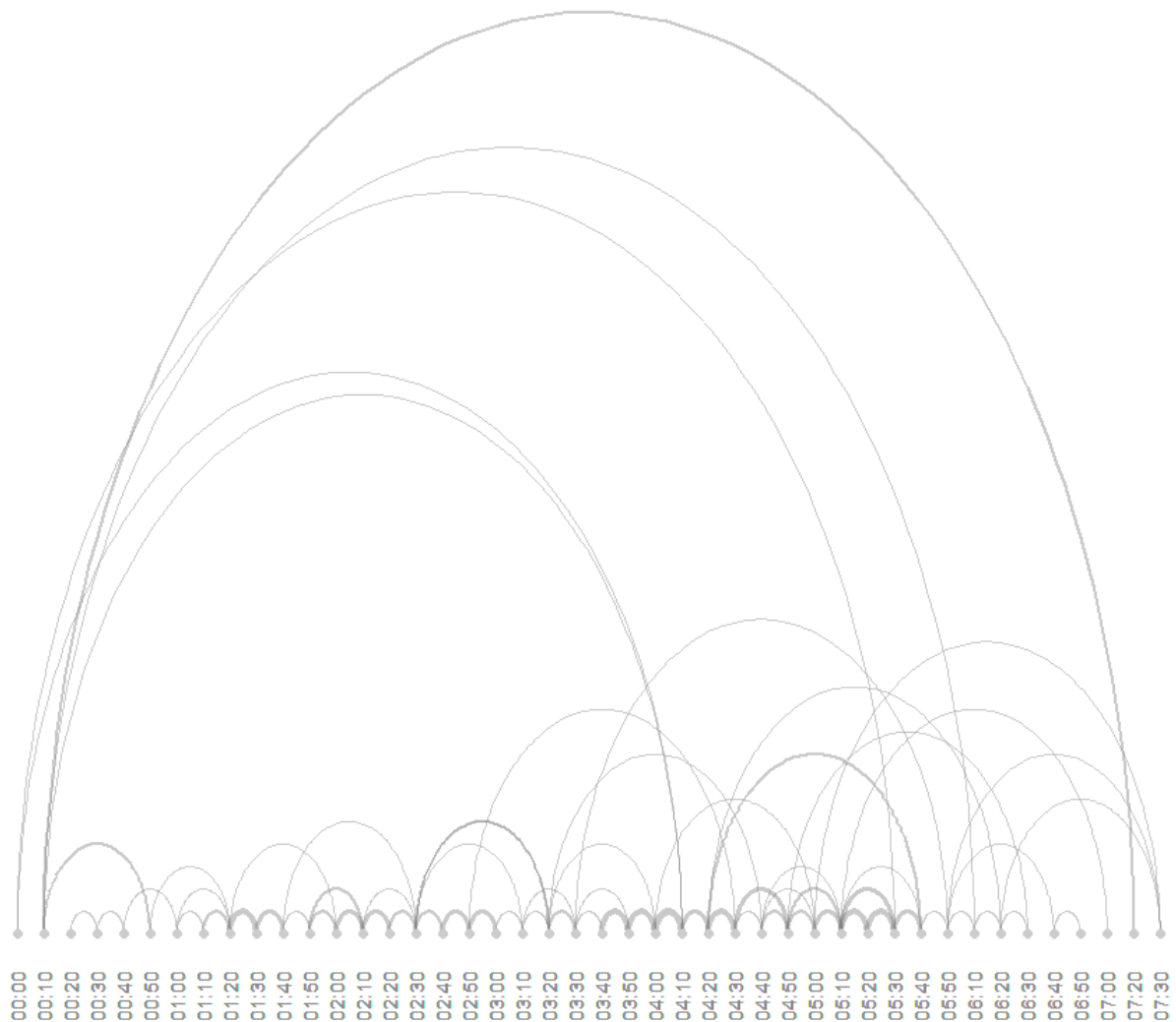


Abbildung 52 Vorspulen im schlechten Video

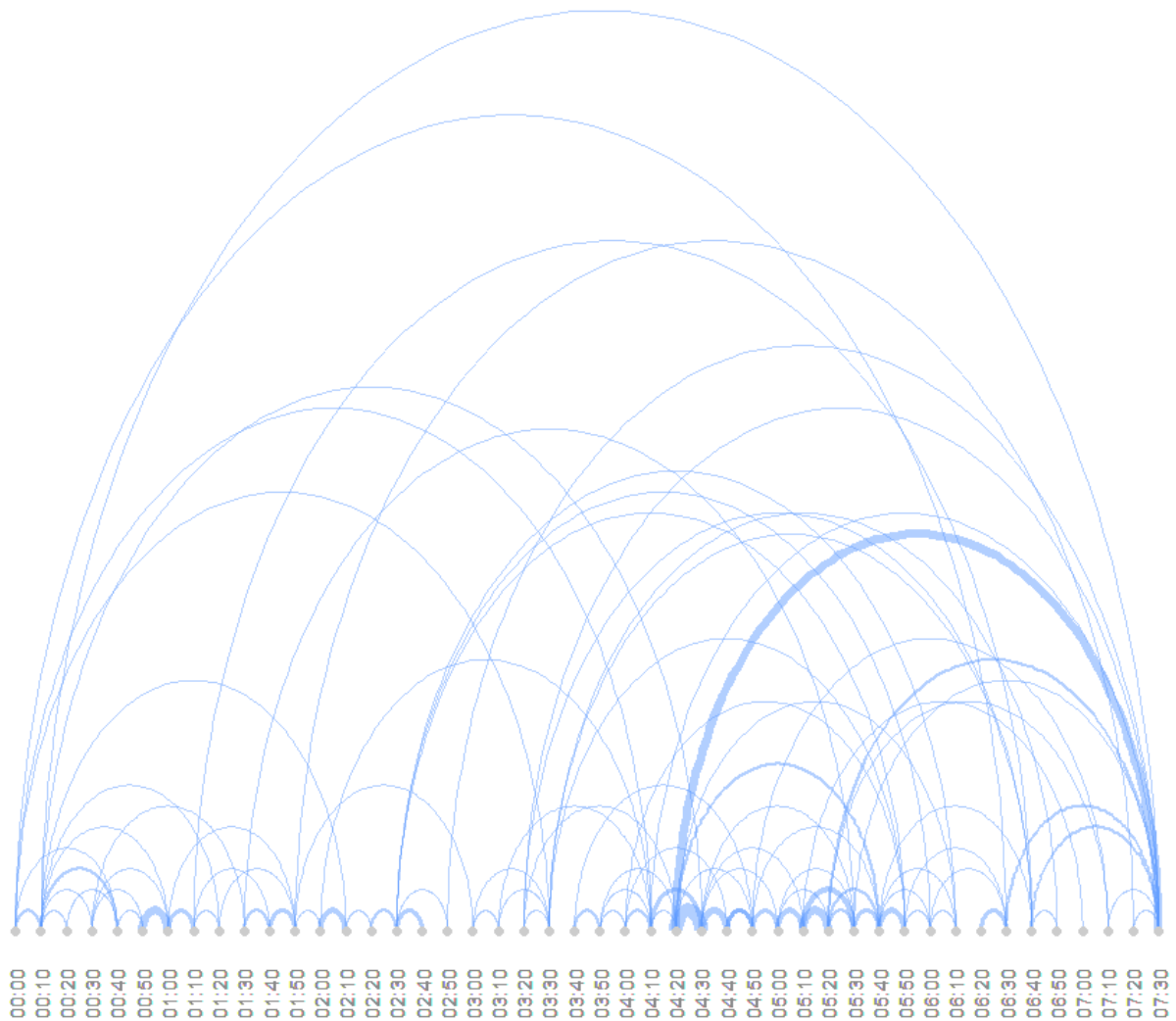


Abbildung 53 Zurückspulen im schlechten Video

Hier zeigt sich im Vergleich zum Erklärvideo höherer Qualität ein invertiertes Verhalten. Es gibt deutlich mehr und dickere Verbindungen im Zurückspulen als im Vorspulen. Dieser Unterschied wird bei der Gesamtbetrachtung des Zurück- und Vorspulens jedoch nicht signifikant (Vorspulen: $U = 2206,5$; $Z = -0,624$; $p = 0,544$; Zurückspulen $U = 2207,5$; $Z = -0,743$; $p = 0,458$). Der häufigste Sprung im Video ist zurück vom Ende des Videos zum Beginn der Präsentation der Handlung. Jedoch wird vom Ende des Videos auch zu anderen Situationen des Erklärvideos (u. a. Erklärung des Konzeptes Widerstand) zurückgesprungen. Des Weiteren sind häufig Sprünge über 10, 20 und 30 Sekunden zurück zu beobachten. Insgesamt zeigt sich im schlechteren Video eine höhere Intensität des Zurückspulens und eine geringere Intensität des Vorspulens im Gegensatz zum guten Erklärvideo. Eine mögliche Erklärung für diesen Unterschied könnte die Suche nach Informationen im schlechteren Video sein. Den Studierenden ist bewusst, dass im schlechteren Video häufig Exkurse vorkommen und Inhalte nicht so gut für die Zielgruppe aufbereitet und angepasst sind. Um dennoch

wichtige Informationen zu erhalten, springen sie im Video zurück und schauen bestimmte Parts mehrfach.

Dieser Unterschied zwischen den Videos wird in der reinen Menge der Interaktionen jedoch nicht signifikant. Aufgrund der Größe der Stichprobe und einer noch angemessenen Power von $1 - \beta = 0,80$ (Cohen, 2013) kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass zwischen den Gruppen mittlere Effekte kleiner als $d = 0,42$ vorliegen (vgl. Kapitel 7.3).

In einer ersten Auswertung zeigt sich, dass sich die Einbettungsformen signifikant in Bezug auf die Häufigkeit der Interaktionen unterscheiden. Daher soll nun auch hier das Spulverhalten genauer untersucht werden.

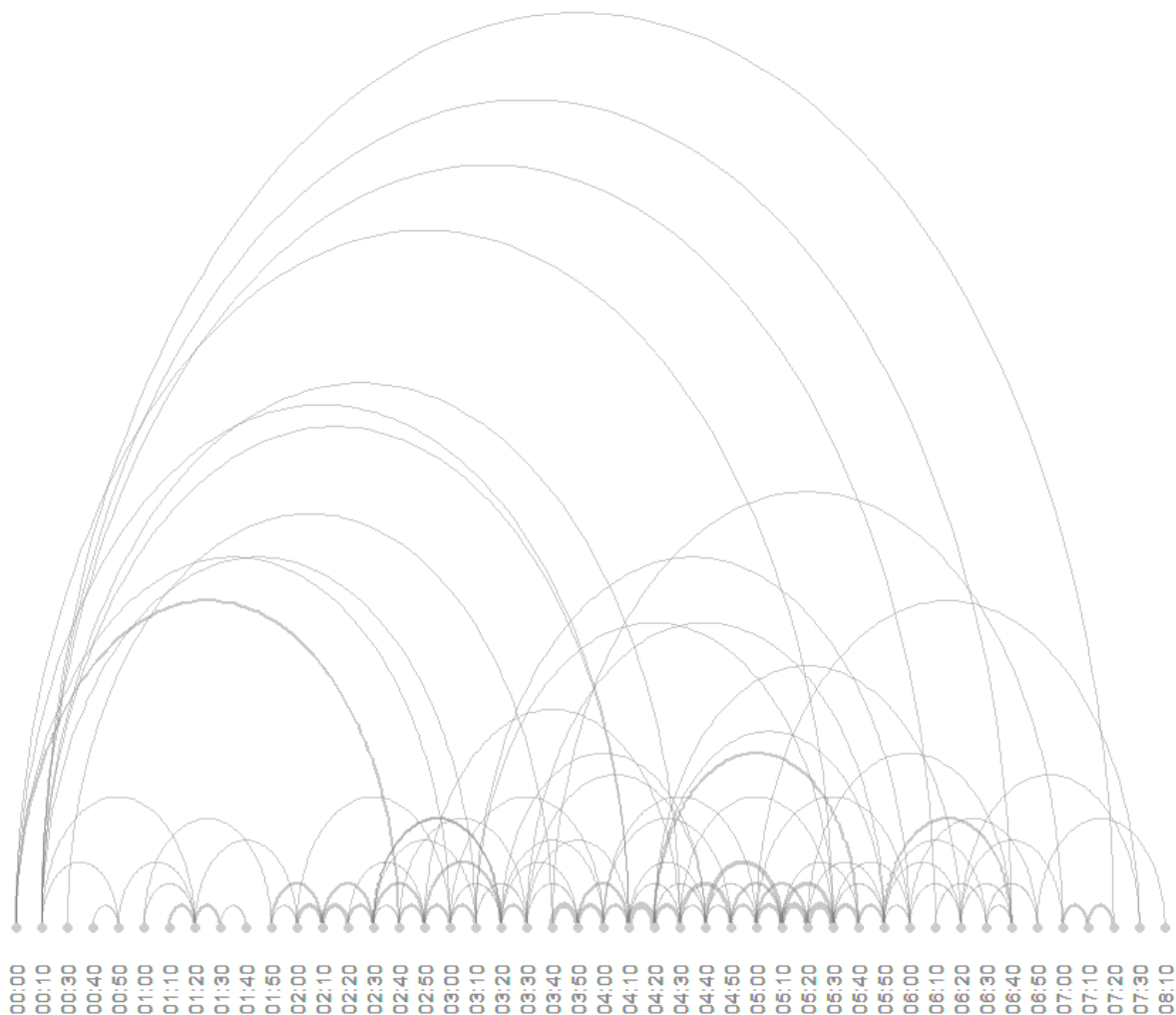


Abbildung 54 Vorspulen im synchronen Einbettungsformat

In Abbildung 54 sieht man im Vorspulen der synchronen Einbettungsformen neben einigen Sprüngen von 00:00 und 00:10 zu späteren Stellen vor allem kurze Sprünge von 10 Sekunden. Eine Häufung von Sprüngen ist ab 03:40, dem Beginn der Erklärung der Handlung zu erkennen.

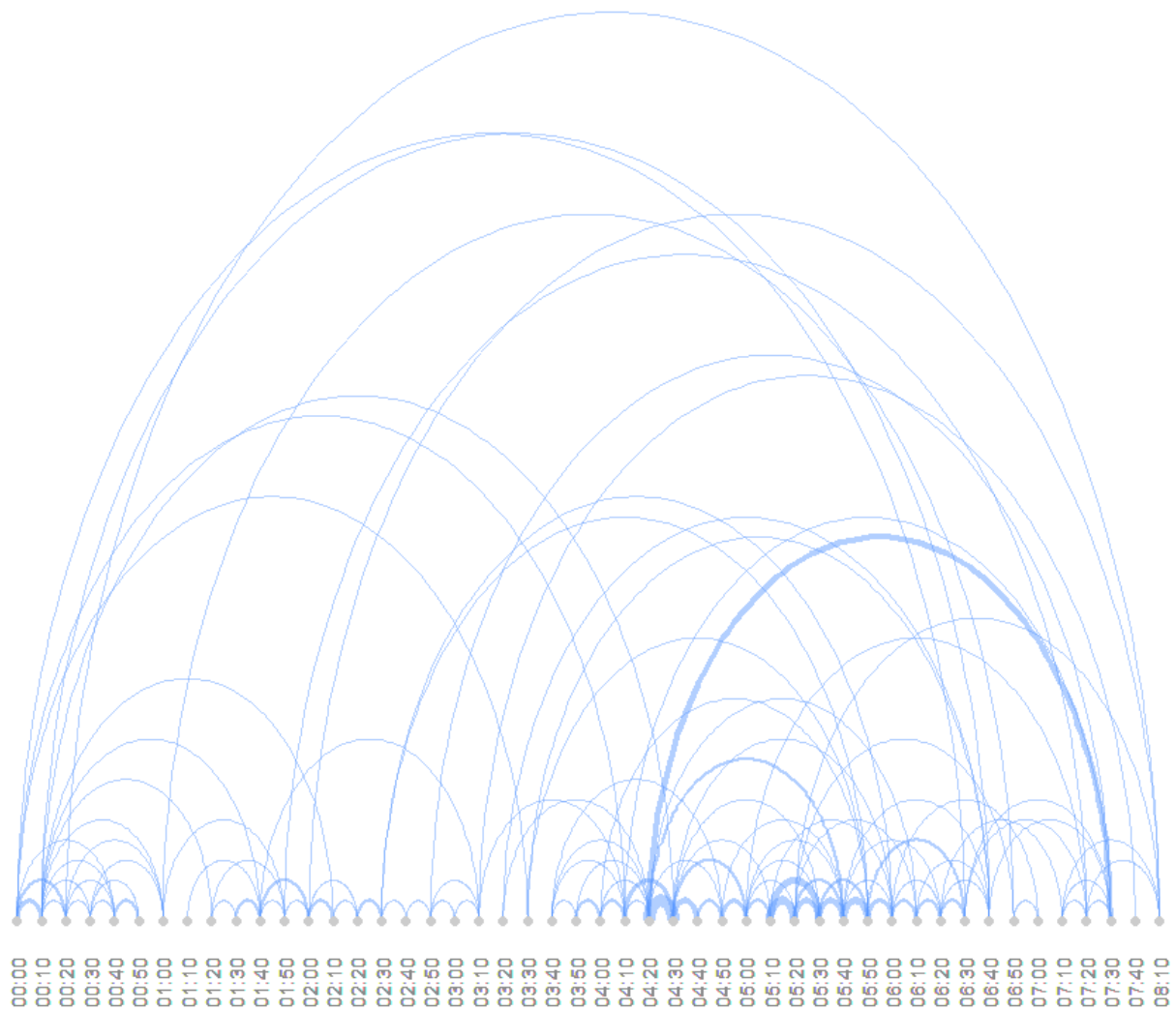


Abbildung 55 Zurückspulen im synchronen Einbettungsformat

Das Verhalten beim Zurückspulen oder Springen ist ähnlich dem des Vorspulens: Es gibt einige Sprünge zum Beginn des Videos bei 00:00 oder 00:10. Weiterhin gibt es ein gehäuftes Zurückspulen in der Erklärung der Handlung mit 10 – 20 Sekunden Sprüngen und einem Springmaximum von 07:30 auf 04:20. Der Fokus der Interaktionen im synchronen Format kann durch die Nähe der Aufgabe zum Erklärvideo vermutet werden. Im Erklärvideo werden die konkreten Schritte beschrieben, um die den Studierenden gestellte experimentelle Aufgabe bearbeiten zu können. Diese Erklärung der Handlung befindet sich im zweiten Teil des Videos, sodass der erste Teil des Videos vermutlich weniger fokussiert geschaut wird.

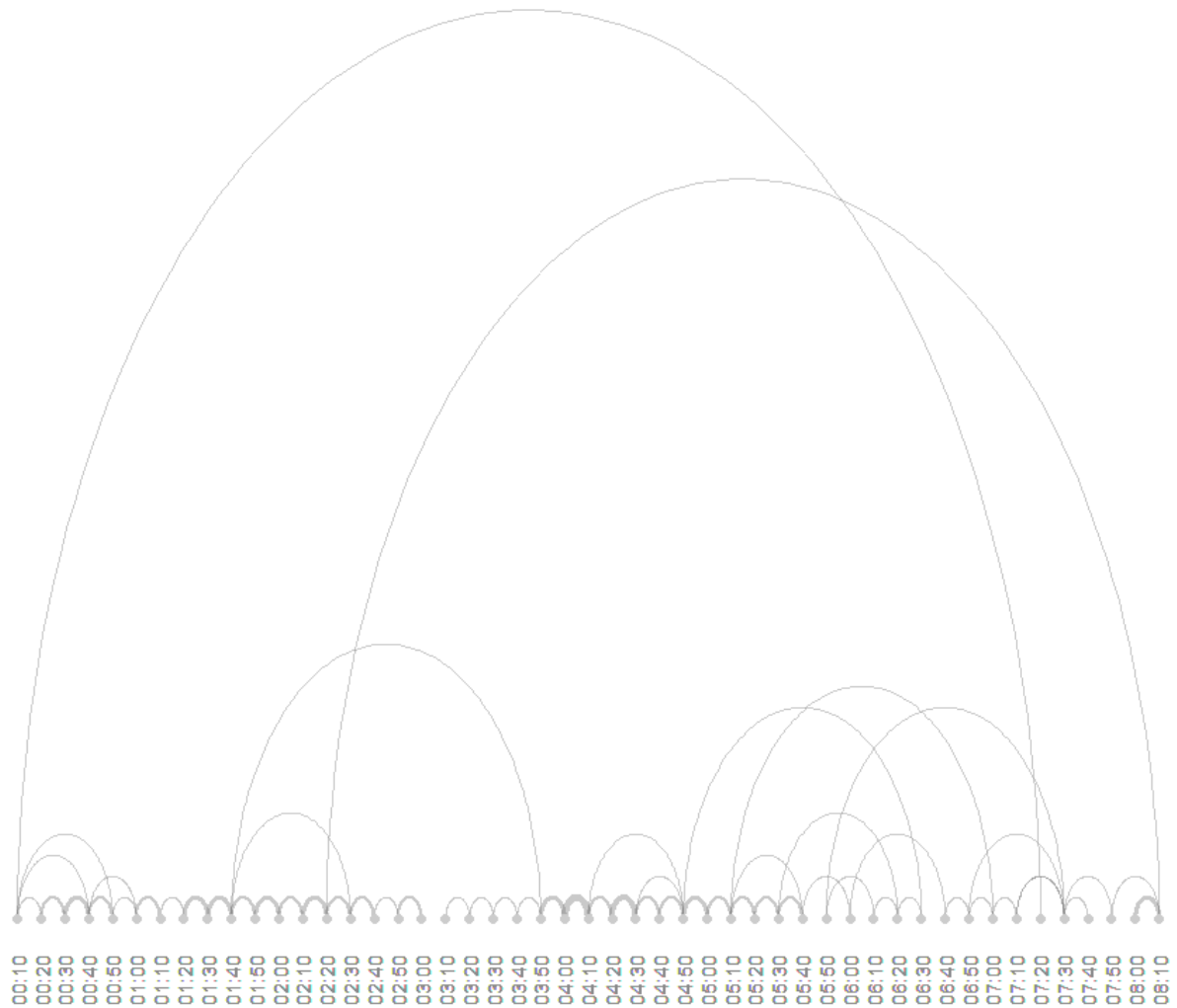


Abbildung 56 Vorspulen im asynchronen Einbettungsformat

In der asynchronen Einbettungsform sind kaum Vorspulvorgänge zu erkennen. Insgesamt betrachten die Studierenden in der asynchronen Einbettungsform das Video sehr linear und es gibt nur vereinzelte Sprünge, die häufig nur 10 Sekunden überbrücken. Im asynchronen Format wird das Video vornehmlich linear geschaut. Die häufigen Interaktionen bei der Erklärung der Handlung, die in der synchronen Einbettungsform zu beobachten sind, fallen hier weg. Dies verstärkt die Vermutung, dass die höhere Anzahl an Interaktionen besonders durch die Nähe von Video und Aufgabe entsteht. Diese Nähe zwischen Video und Aufgabe ist in der asynchronen Einbettungsform so nicht vorhanden. Daher fallen diese Interaktionen weg.

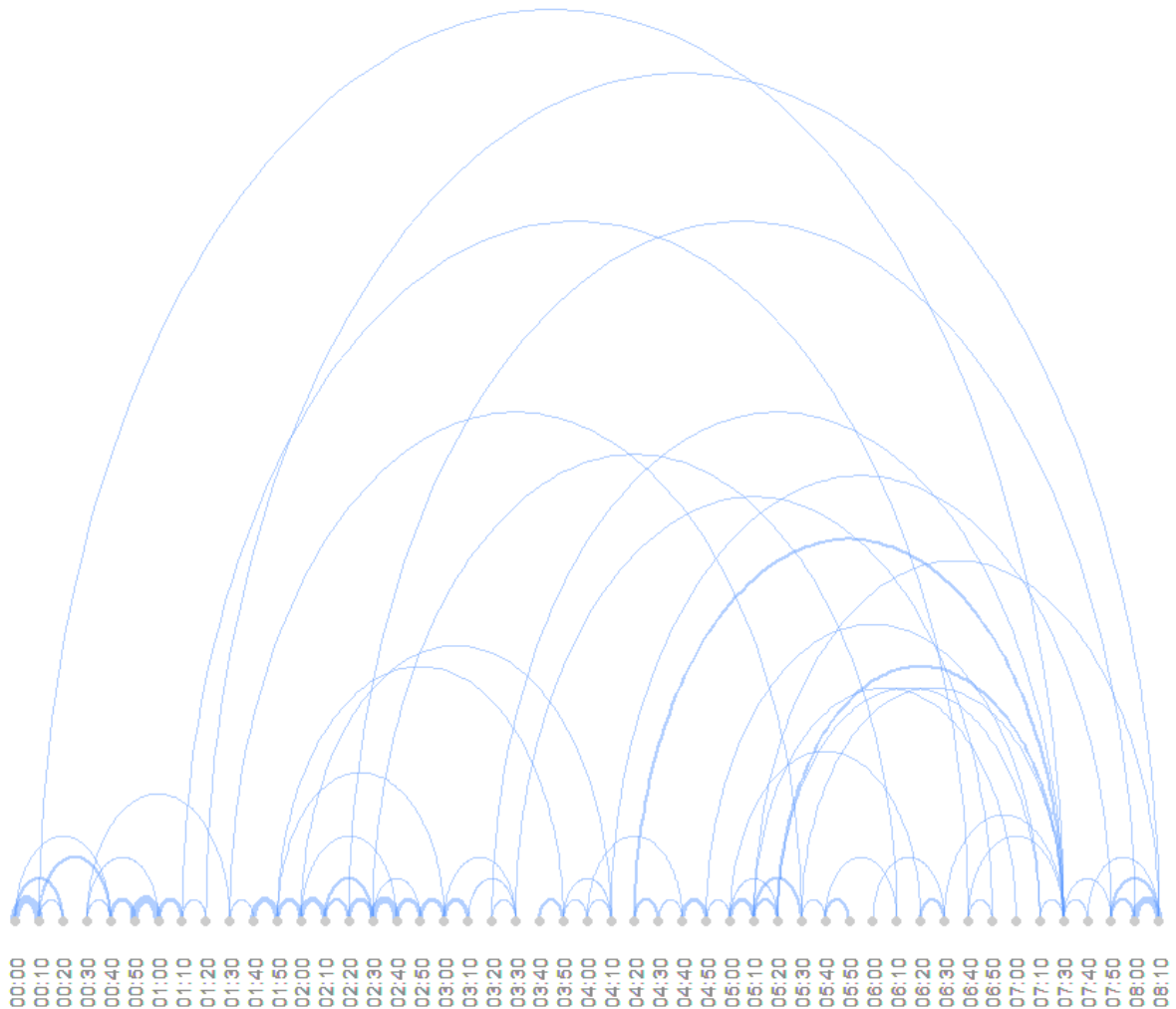


Abbildung 57 Zurückspulen im asynchronen Einbettungsformat

Wie beim Vorspulen sind in der asynchronen Einbettungsform auch beim Zurückspringen kaum Interaktionen zu beobachten. Zwar werden diese mehr und es scheint, dass sich die Studierenden die für sie interessanten Stellen mehrfach angucken. Dies findet aber dennoch mit deutlich weniger Interaktionen als in der synchronen Einbettungsform statt. Bei der Erklärung des Konzeptes sind gehäuft 10 Sekunden Sprünge zu finden. Die Sprünge in der Erklärung der Handlung sind eher länger und starten besonders häufig von Minute 07:30 (Ende der Zusammenfassung Video geringerer Qualität, Ende der Handlungserklärung Video höherer Qualität).

Auffällig ist jedoch, dass in der synchronen Einbettungsform deutlich mehr gespult und gesprungen wurde als im asynchronen Format. Dies lässt darauf schließen, dass in einem asynchronen Setting das Video eher linear und in einem synchronen Format das Video in Abhängigkeit der Aufgabe rezipiert wird. Diese Unterschiede werden jedoch nicht signifikant (Vorspulen: $U = 2214,5$; $Z = -0,689$; $p = 0,491$; Zurückspulen $U = 2268,0$; $Z = -0,335$; $p = 0,737$).

In einem nächsten Schritt sollen Vor- und Zurückspulen in Abhängigkeit der gebildeten Extremgruppen genauer betrachtet werden. Zunächst werden dazu die Extremgruppen im Konzeptwissen betrachtet:

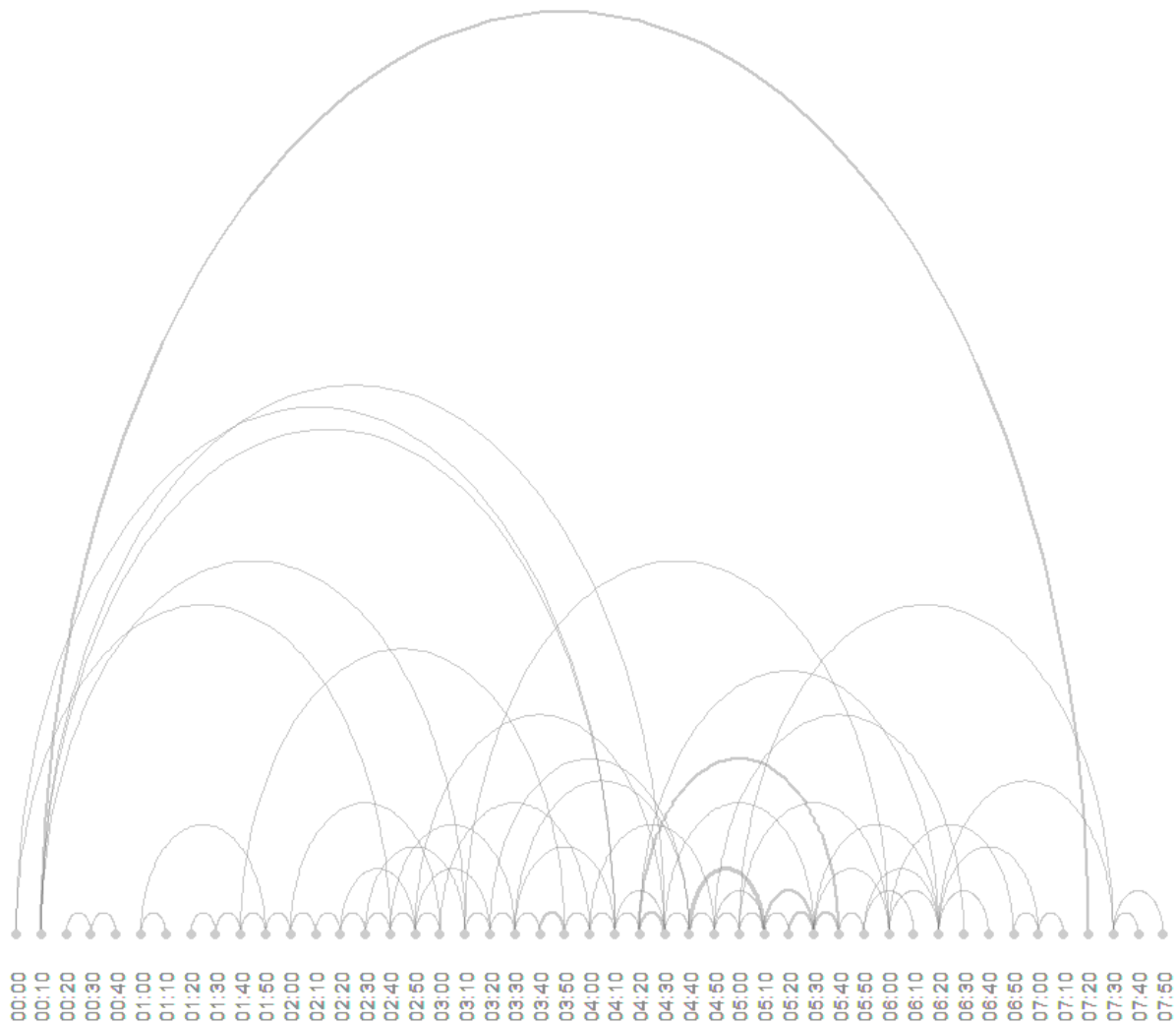


Abbildung 58 Vorspulen der schwachen Extremgruppe (Konzeptwissen)

Die im Konzeptwissen schwache Extremgruppe schaut den ersten Teil des Videos vornehmlich linear. Interaktionen des Typs Vorspulen gibt es vor allem in der zweiten Hälfte des Erklärvideos. Vom Beginn des Videos gibt es einige Sprünge zu späteren Zeitpunkten.

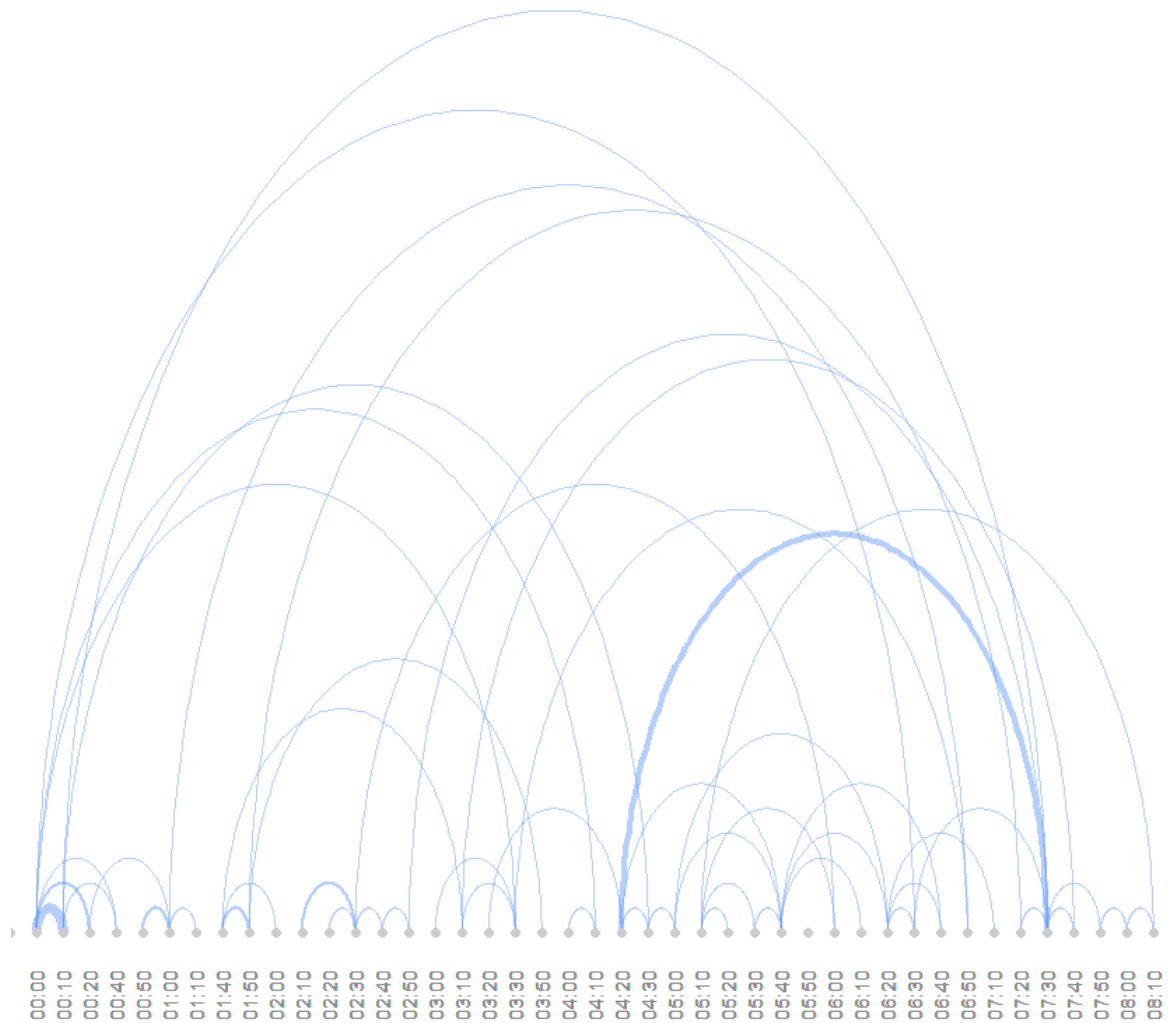


Abbildung 59 Zurückspulen der schwachen Extremgruppe (Konzeptwissen)

Die hinsichtlich des Konzeptwissens schwache Extremgruppe zeigt im Zurückspulen ein ähnliches Verhalten wie im Vorspulen: Besonders in der zweiten Hälfte des Videos finden Interaktionen statt. Es gibt jedoch einige Studierende, die vom Ende des Videos zur Erklärung des Konzeptes zurückspringen oder die Handlung erneut betrachten. Dies ist besonders ab 07:30 der Fall. Der Schwerpunkt der Interaktionen liegt auf der zweiten Hälfte des Videos. Die Sprünge der Studierenden mit einem geringeren Vorwissen im Konzeptwissen sind eher weit und es werden weniger 10 Sekunden Sprünge durchgeführt. Häufiger werden ganze Parts des Erklärvideos erneut betrachtet, um relevante Inhalte zu verstehen.

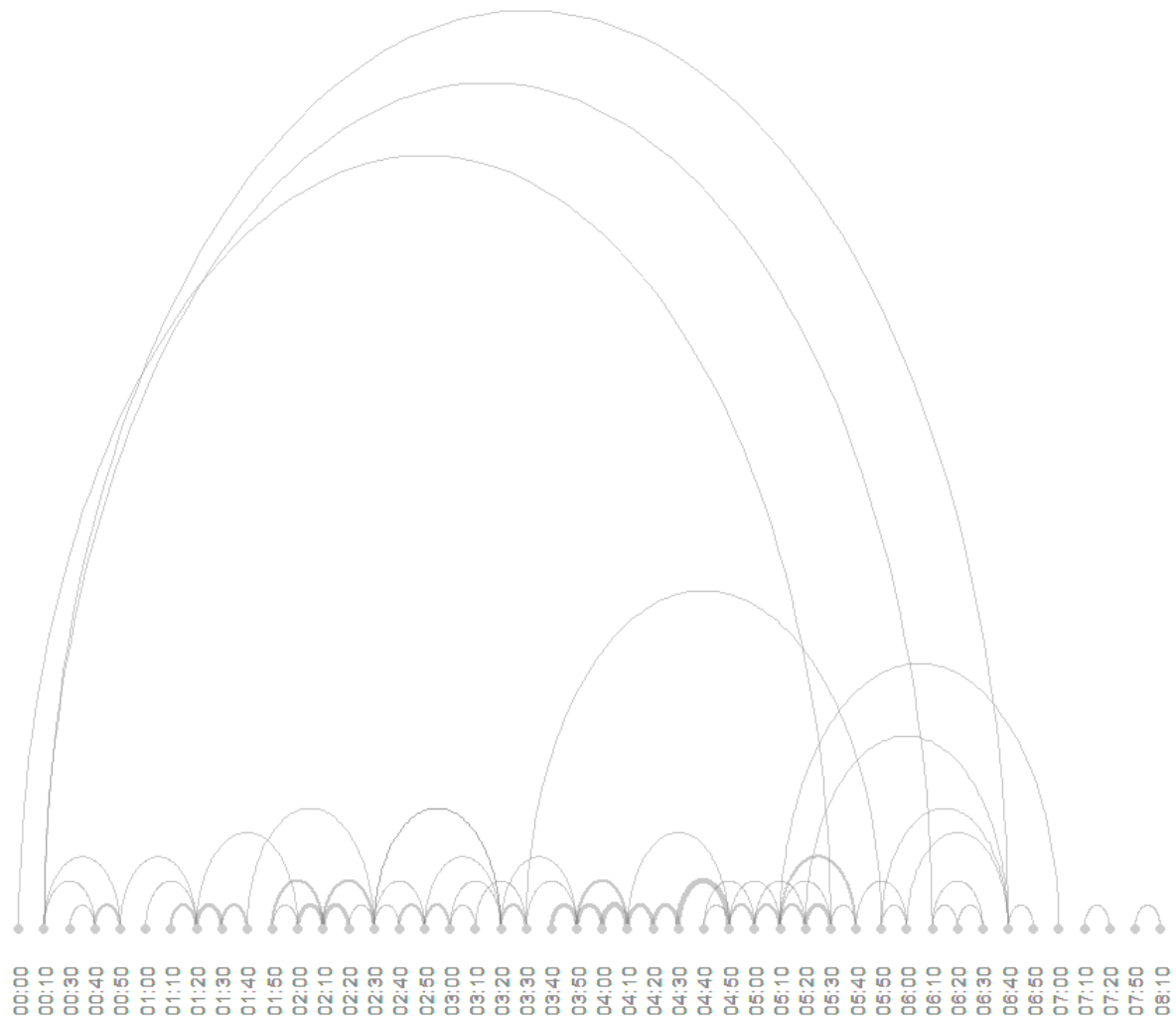


Abbildung 60 Vorspulen der mittleren Extremgruppe (Konzeptwissen)

Die mittlere Extremgruppe (Konzeptwissen) zeichnet sich vor allem durch eine Vielzahl von kurzen 10 Sekunden Sprüngen aus. Diese sind über das ganze Video verteilt, nehmen jedoch zu Beginn und am Ende des Videos ab.

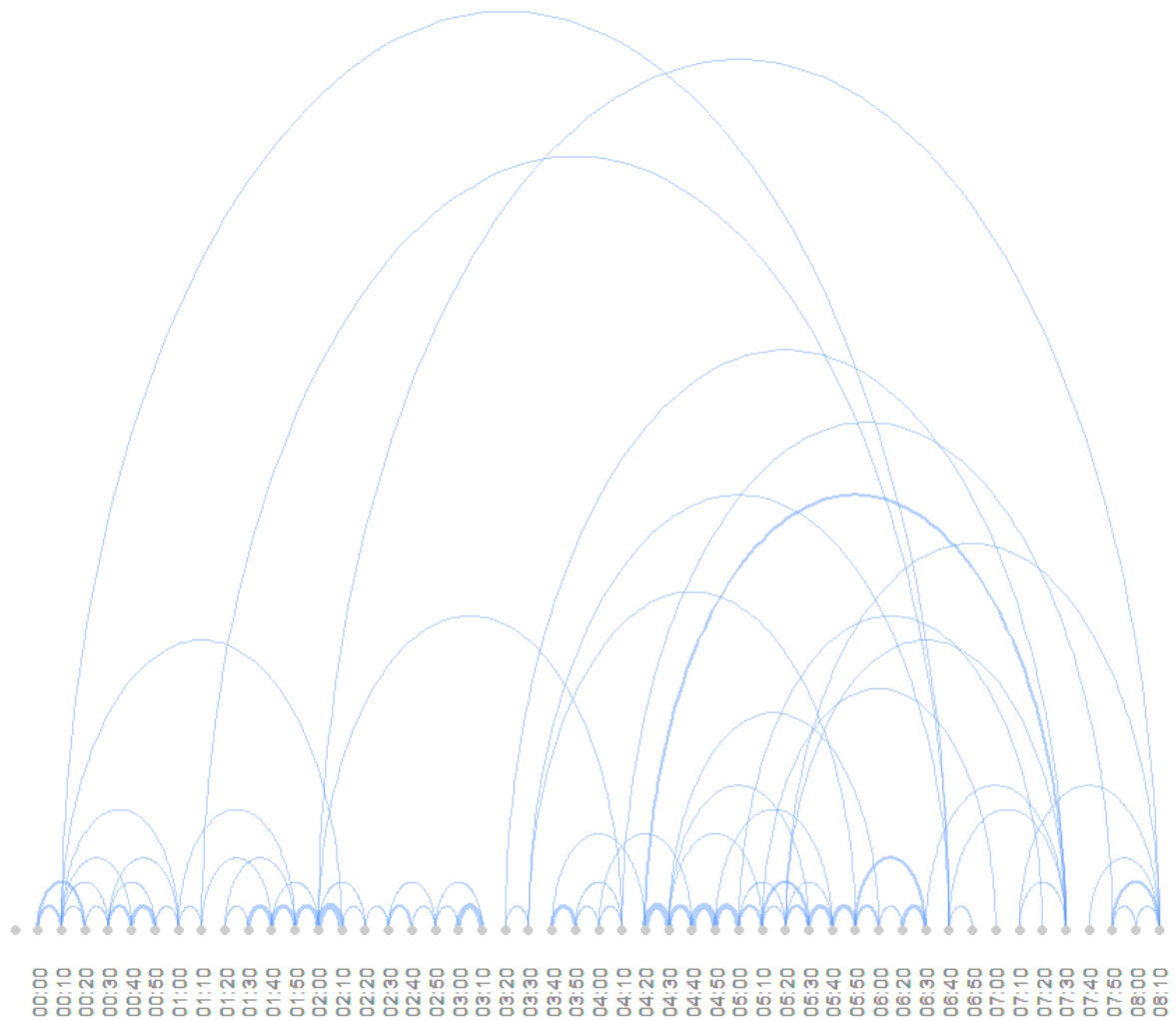


Abbildung 61 Zurückspulen der mittleren Extremgruppe (Konzeptwissen)

Wie schon beim Vorspulen dominieren auch beim Zurückspulen viele Sprünge über 10 Sekunden. Zusätzlich dazu gibt es beim Zurückspulen eine Häufung an Interaktionen im zweiten Teil des Erklärvideos. Häufig wird zum Beginn der Erklärung der Handlung oder mitten in die Erklärung der Handlung gesprungen. Hier zeigt sich ein Gegensatz zu den schwachen Studierenden. Die Dominanz von kurzen 10 Sekunden Sprüngen könnte darauf schließen lassen, dass die Studierenden entweder auf kleine Details des Videos achten oder schnell durch das Video skippen auf der Suche nach für sie neuen Inhalten.

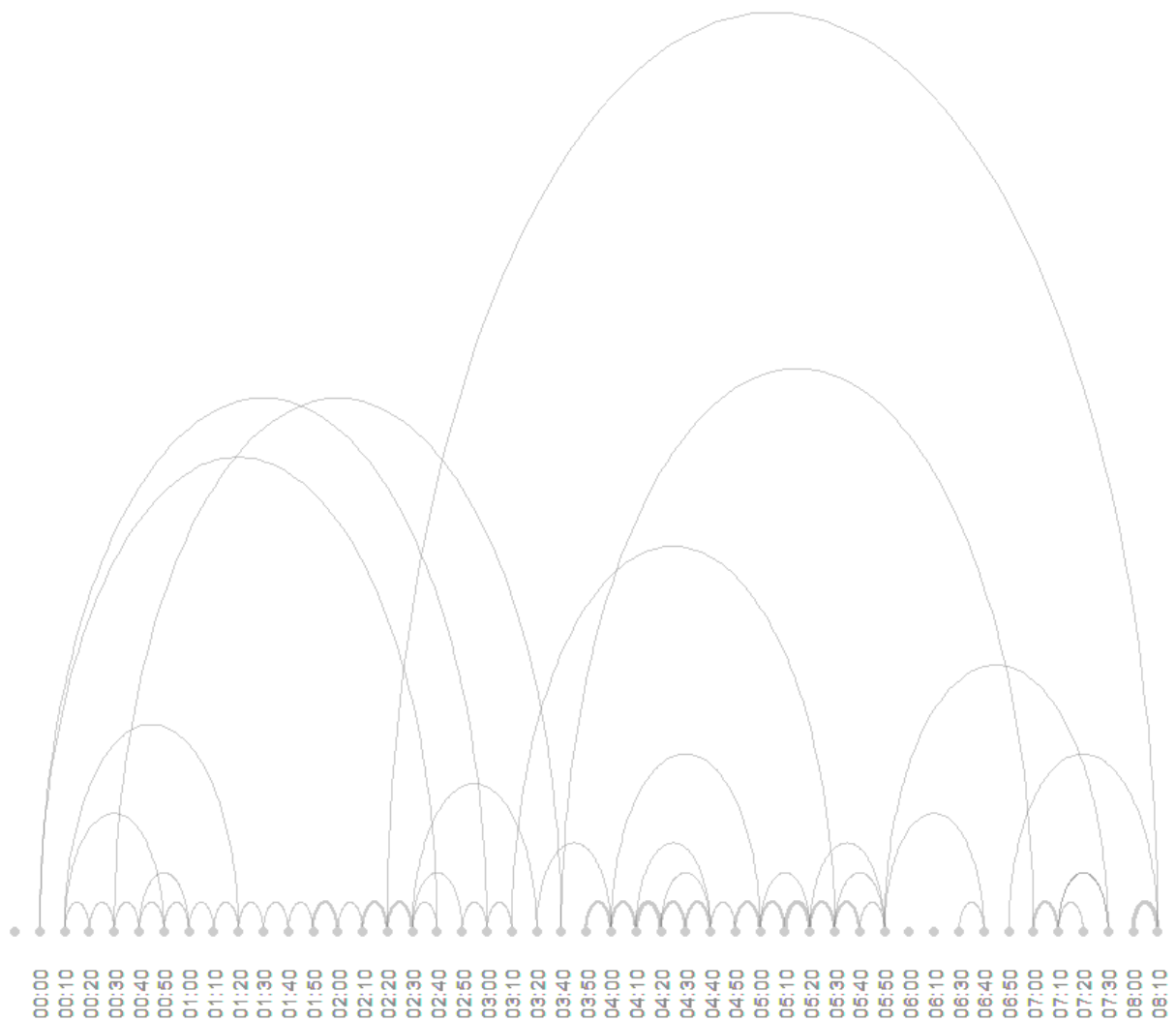


Abbildung 62 Vorspulen der starken Extremgruppe (Konzeptwissen)

Die starke Extremgruppe (Konzeptwissen) zeigt, wie schon die Mittlere, vor allem 10 Sekunden Sprünge. Einige Studierende überspringen jedoch zusätzlich die gesamte Erklärung des Konzeptes oder der Handlung.

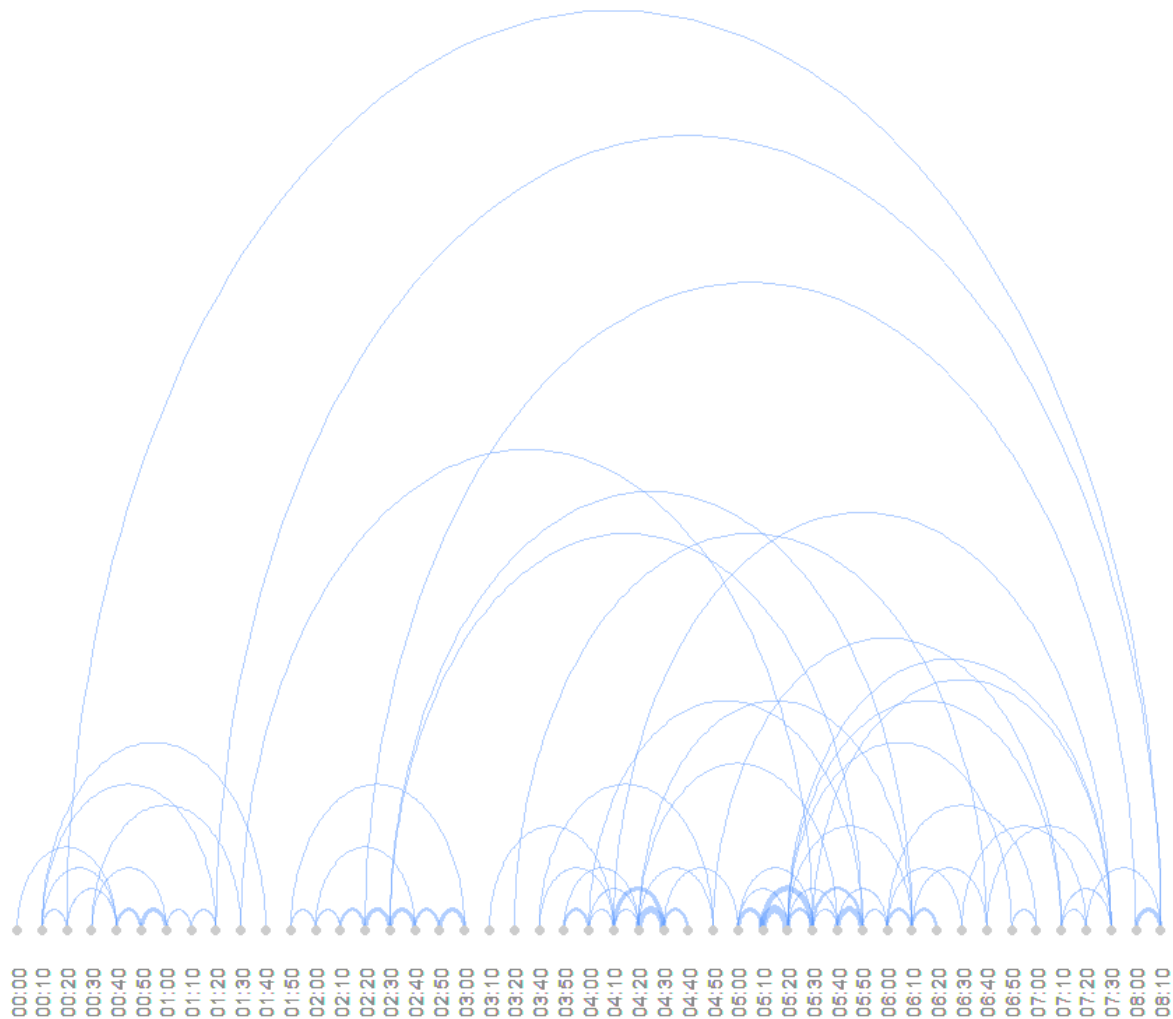


Abbildung 63 Zurückspulen der starken Extremgruppe (Konzeptwissen)

Die starke Extremgruppe springt vor allem im zweiten Teil des Videos zurück, häufig in Sprüngen mit mehr als 10 Sekunden. Es gibt jedoch auch einige längere Sprünge entweder zurück zum Beginn des Videos oder dem Beginn der Erklärung der Handlung. Das Bild der mittleren Gruppe wird durch die starke Extremgruppe weiter verstärkt. Die Studierenden skippen häufig durch das Video, womöglich auf der Suche nach für sie neuen, interessanten Inhalten.

Zunächst kann festgehalten werden, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Extremgruppen (Konzeptwissen) in der Intensität des Vor- und Zurückspulens gibt (Vorspulen: $H(2) = 1,171$; $p = 0,557$; Zurückspulen: $H(2) = 1,108$; $p = 0,575$). Auf Grund der Sensitivität des Tests können jedoch kleinere Effekte als $\eta^2 = 0,005$ nicht ausgeschlossen werden.

Bei der Betrachtung der Handlungsmuster im Vor- und Zurückspulen lassen sich Unterschiede zwischen den Extremgruppen beobachten. Bei Studierenden mit schwachem Vorwissen gibt es eine Häufung von Zurückspulereignissen zwischen dem Ende des schlechten Videos bzw. dem Ende der Auswertung im guten Video und dem Be-

ginn der Erklärung der experimentellen Handlung. Insgesamt wirkt es so, als würden häufiger Sprünge größerer Distanz von den schwachen Personen durchgeführt werden und die mittleren und starken Extremgruppen springen eher in kleineren Schritten. Zusätzlich springen manche Studierende der starken Extremgruppe (Konzeptwissen) über ganze Parts des Videos hinweg. Im Folgenden werden die Vor- und Zurückspulinteraktionen der Extremgruppen im deklarativen Handlungswissen dargestellt:

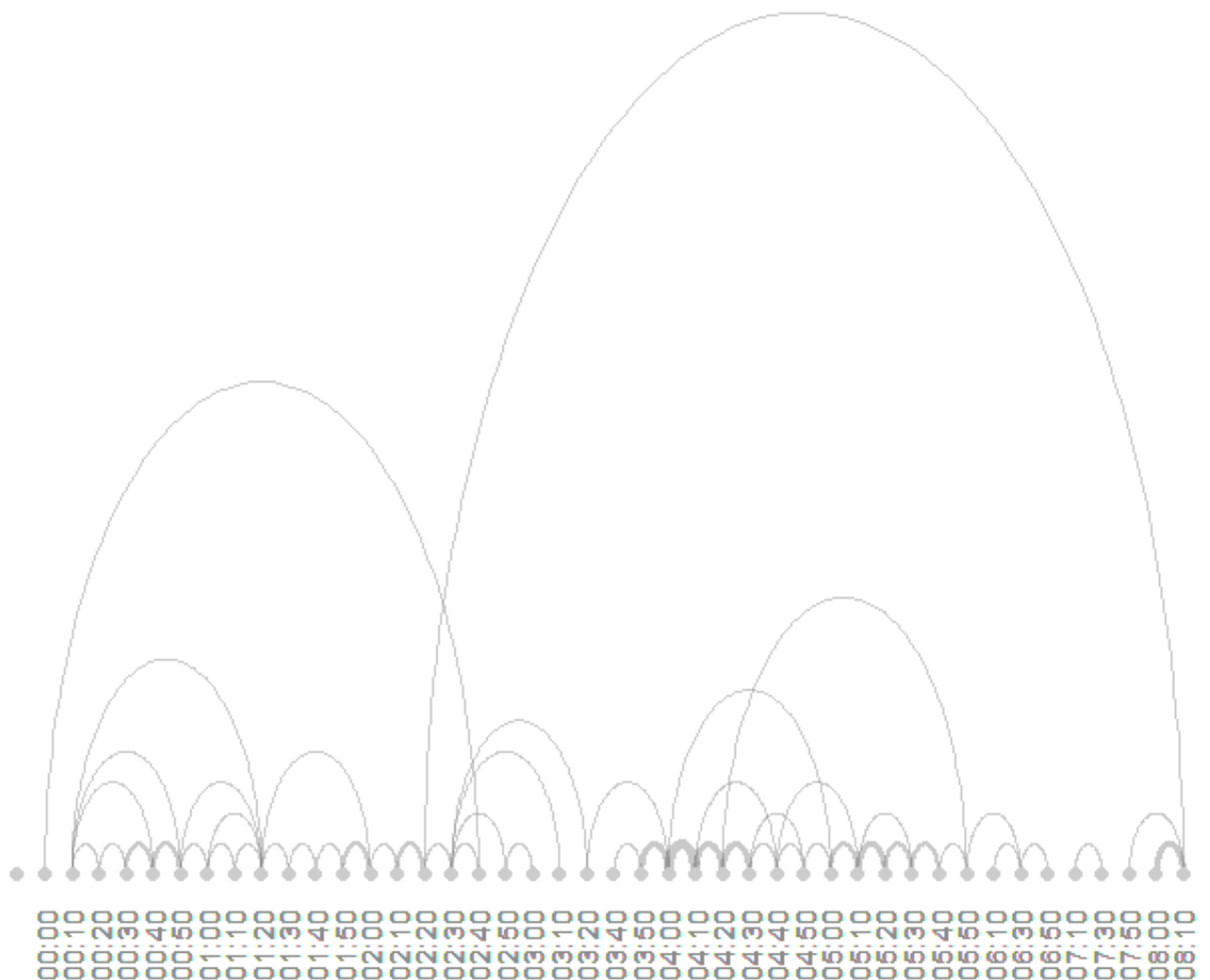


Abbildung 64 Vorspulen der schwachen Extremgruppe (deklartives Handlungswissen)

Die im deklarativen Handlungswissen schwache Extremgruppe springt häufig mit Sprüngen von mehr als 10 Sekunden. Häufige kurze Sprünge können bei der Erklärung des Konzeptes und vor allem bei der Erklärung der Handlung beobachtet werden. Insgesamt wird das Video aber eher linear geguckt.

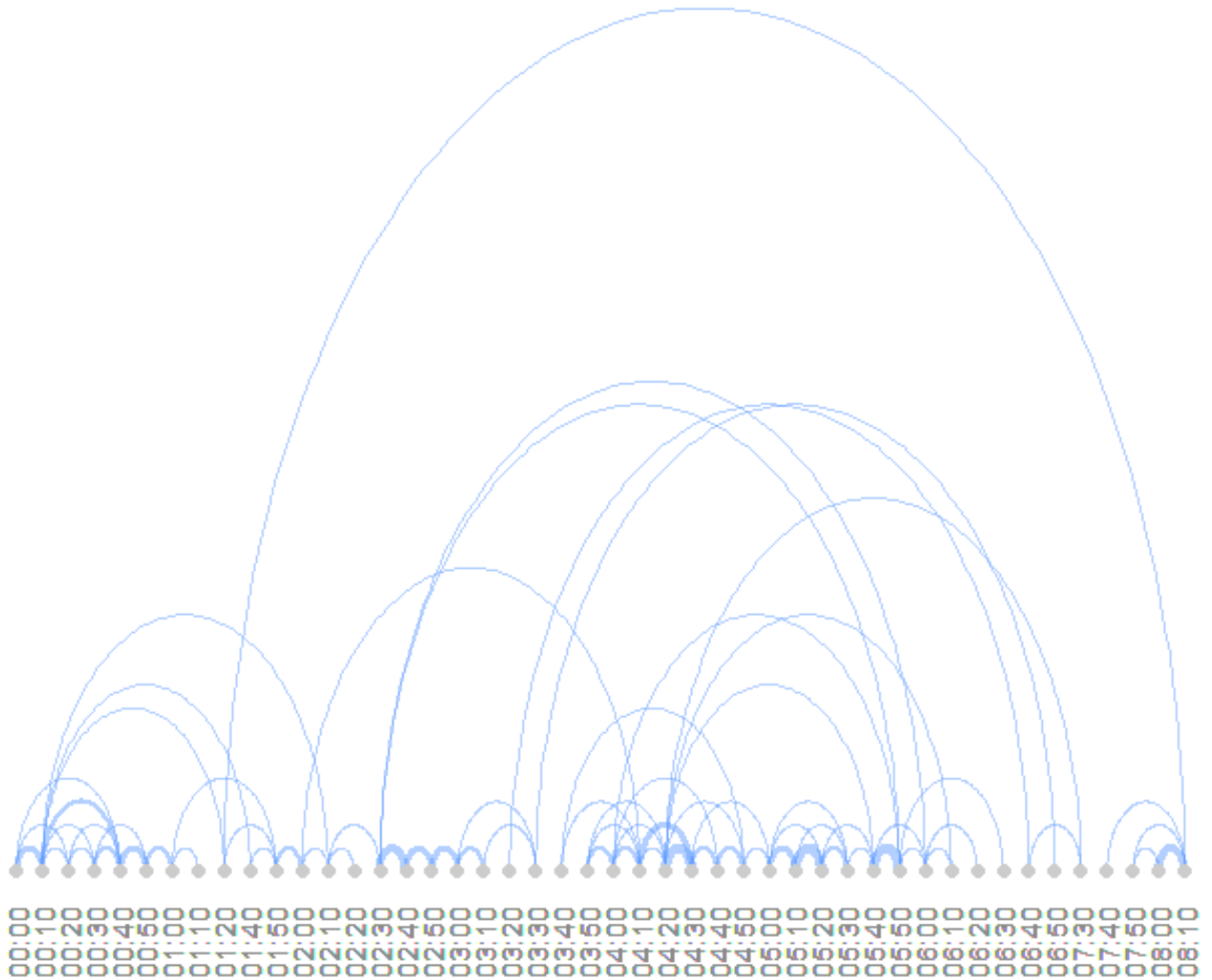


Abbildung 65 Zurückspulen der schwachen Extremgruppe (deklaratives Handlungswissen)

Beim Zurückspulen zeigen sich häufig 10 Sekunden Sprünge. Ergänzend dazu gibt es eine Häufung von Zurückspulvorgängen auf das Ziel 00:10, also dem Beginn des Videos und eine Häufung von Interaktionen während der Erklärung der Handlung. Insgesamt scheinen die im deklarativen Handlungswissen schwachen Studierenden das Video eher linear zu betrachten und wenig vorzuspulen. Spulen diese Studierenden zurück, ist es häufig innerhalb der Erklärung der Handlung und dabei häufig in 10 Sekunden Sprüngen. Eine Erklärung hierfür wäre, dass diese Studierenden Details der Erklärung erneut betrachten wollen oder ihnen nicht klar ist, vor welche Herausforderungen sie durch das Experiment gestellt werden.

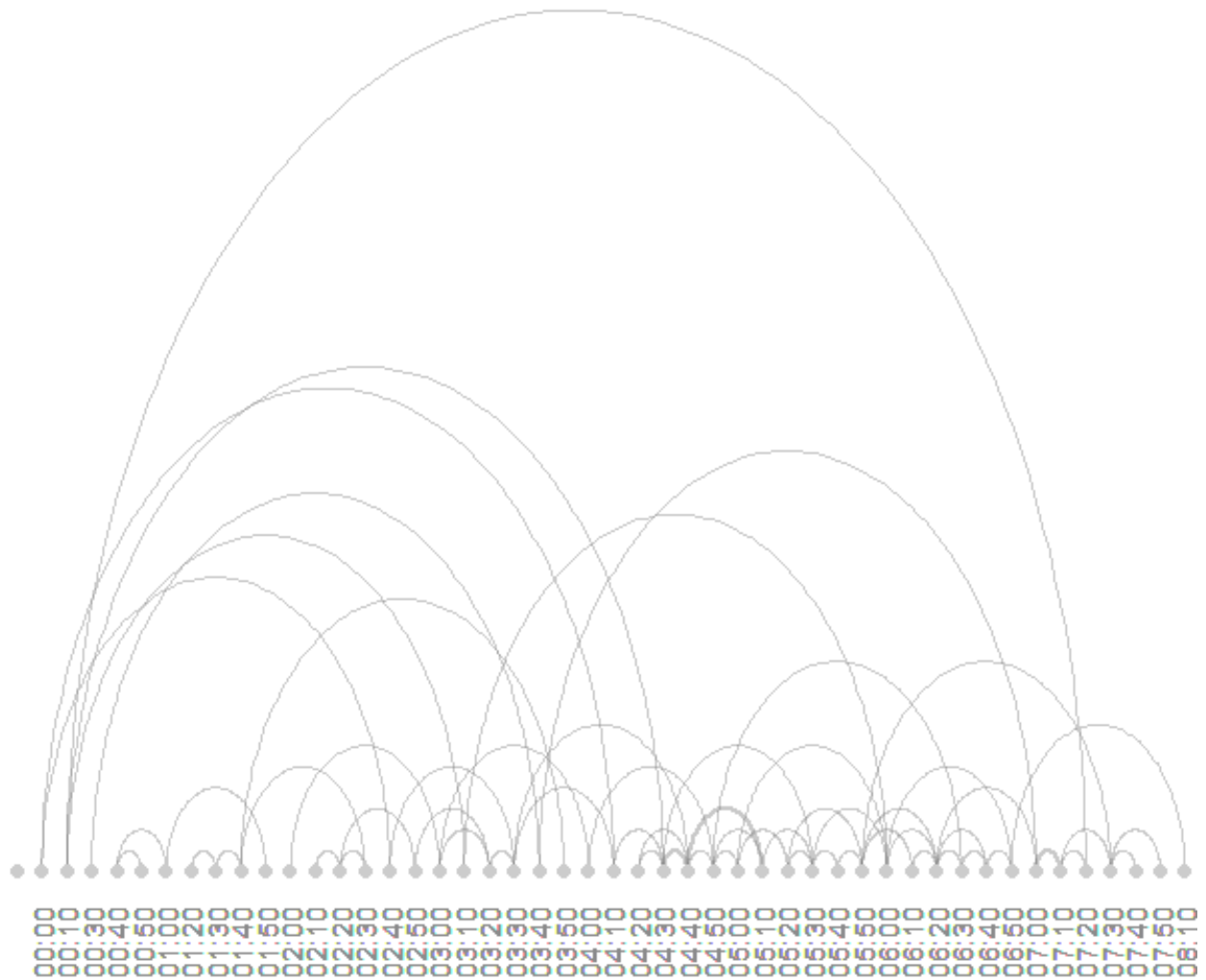


Abbildung 66 Vorspulen der mittleren Extremgruppe (deklaratives Handlungswissen)

Die mittlere Extremgruppe zeigt nicht die für die anderen Extremgruppen typischen Vorsprünge von 10 Sekunden. Es dominieren hier eher längere Vorspulvorgänge von 30 Sekunden und mehr. Die Studierenden springen also mehr durch das Video als die anderen Gruppen.

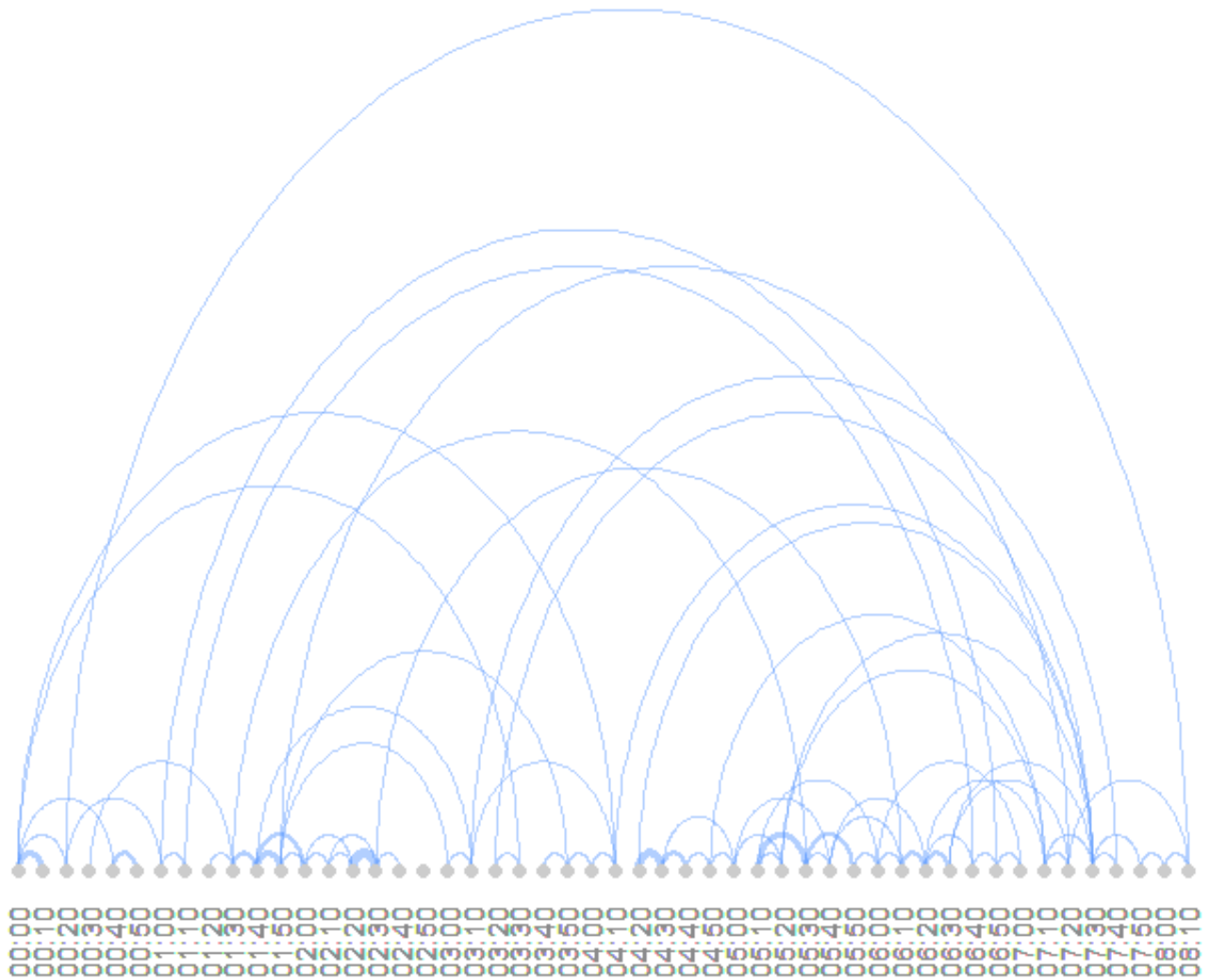


Abbildung 67 Zurückspulen der mittleren Extremgruppe (deklaratives Handlungswissen)

Das Bild des Vorspulens bestätigt sich beim Zurückspulen. Zwar gibt es einige häufige 10 Sekunden Sprünge bei der Erklärung der Handlung, aber ein Großteil des Zurückspulens ist länger als 30 Sekunden. Häufig wird am Ende der Erklärung der Handlung gestartet mit dem Ziel entweder in der Erklärung der Handlung oder der Erklärung des Konzeptes. Die Studierenden mit einem mittleren Vorwissen springen somit über größere Distanzen im Video. Beim Vorspulen wird dabei z. T. die gesamte Erklärung des Konzeptes übersprungen. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass sie sich insgesamt bei der Erklärung der Handlung sicherer fühlen und diesen Part deswegen schauen, um die kognitive Belastung durch das Video zu senken.

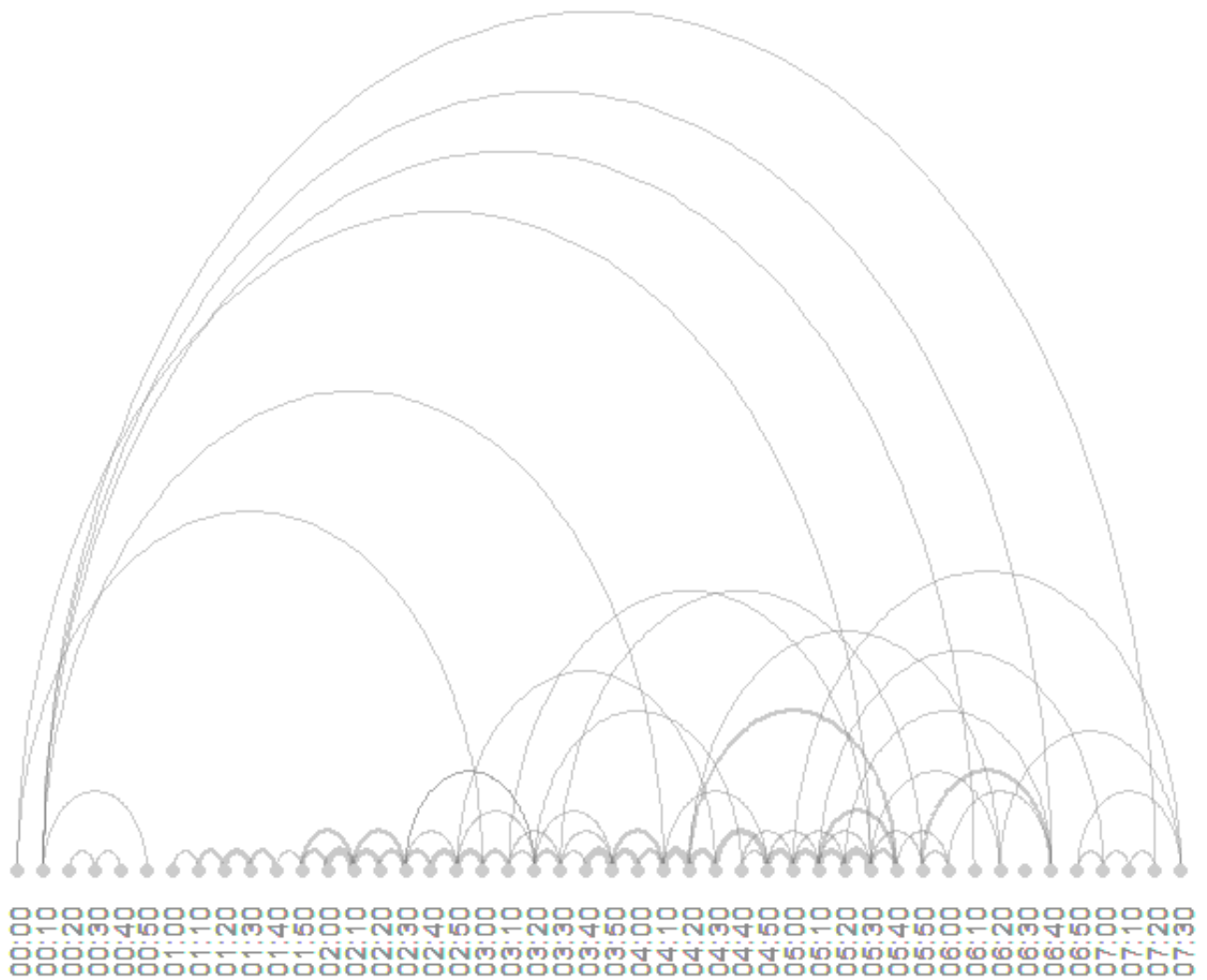


Abbildung 68 Vorspulen der starken Extremgruppe (deklaratives Handlungswissen)

Die starke Extremgruppe im deklarativen Handlungswissen springt vor allem vom Beginn des Videos zu späteren Zeitpunkten in der Erklärung des Experimentes. Zusätzlich können viele 10 Sekunden Sprünge über das ganze Video gefunden werden. In der Erklärung der Handlung werden diese um längere Sprünge von 30 Sekunden und mehr ergänzt. Hier verdeutlicht sich das Bild der mittleren Extremgruppe. Der Fokus im deklarativen Handlungswissen der starken Studierenden liegt auf der Erklärung des Experimentes. In der Erklärung der Handlung werden Teile übersprungen, um eventuell neue Details einer Versuchsdurchführung erklärt zu bekommen.

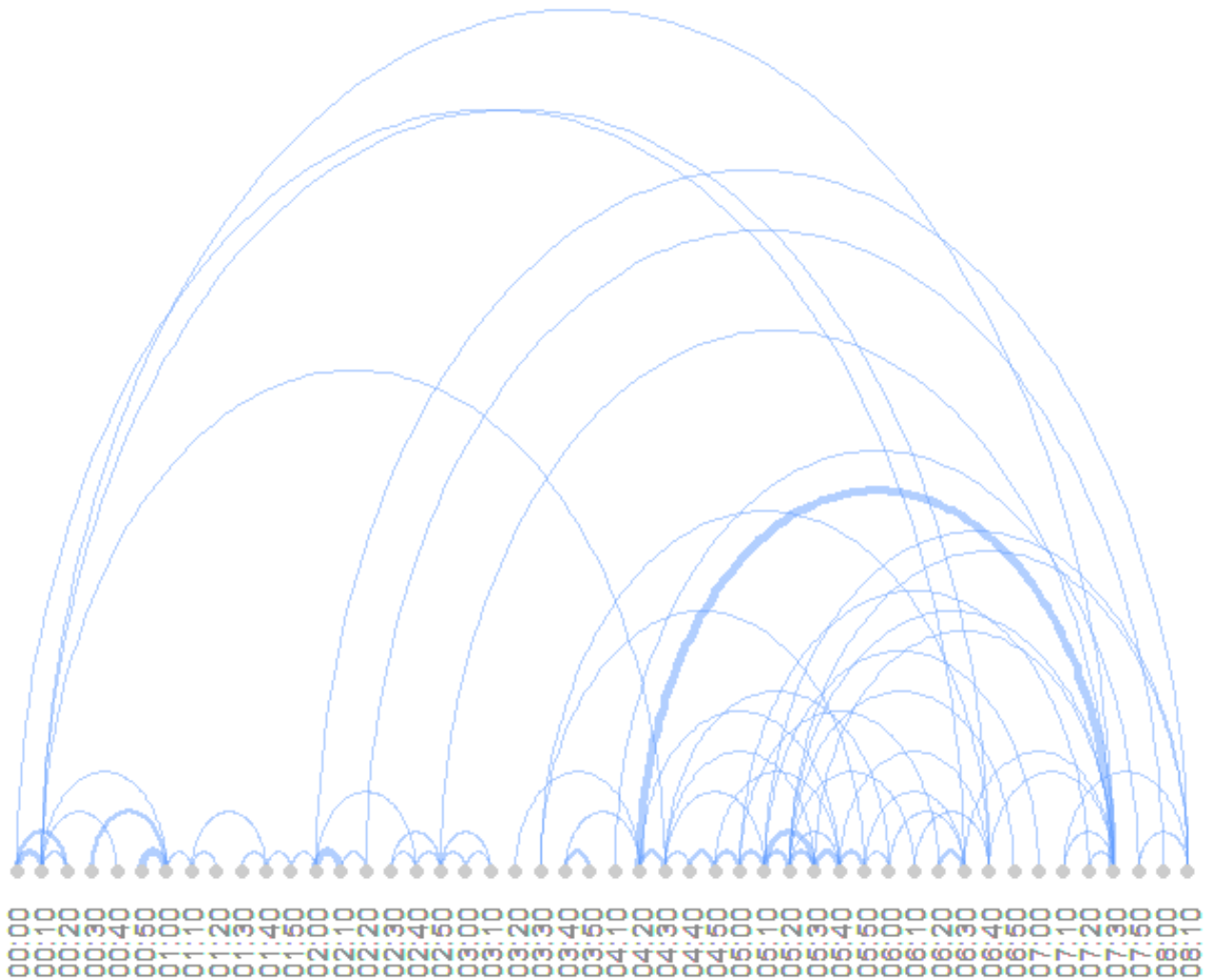


Abbildung 69 Zurückspulen der starken Extremgruppe (deklaratives Handlungswissen)

Im Zurückspulen zeigt sich ein ähnliches Bild: Häufig wird zum Beginn des Videos zurückgesprungen. Dazu gibt es eine Häufung von Sprüngen in der Erklärung der Handlung. Insbesondere von dem Ende der Erklärung der Handlung zurück zum Beginn.

Zunächst kann kein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit des Vor- und Zurückspulens zwischen den Extremgruppen (deklaratives Handlungswissen) (Vorspulen: $H(2) = 2,255$; $p = 0,324$; Zurückspulen: $H(2) = 0,123$; $p = 0,940$) festgestellt werden. Verglichen mit den Extremgruppen des Konzeptwissens zeigt sich bei den Extremgruppen des deklarativen Handlungswissens ein invertiertes Bild: Studierende mit einem hohen Vorwissen springen besonders im zweiten Teil des Videos in größeren Abständen und Studierende mit einem geringen Vorwissen springen weniger weit. Der häufigste Sprung ist in der starken Vorwissensgruppe vom Ende des Videos zum Beginn der Erklärung der Handlung und vom Beginn des Videos zur Erklärung der Handlung. Es wird also die Erklärung des Konzeptes übersprungen.

8 Diskussion der Ergebnisse

Im nachfolgenden Kapitel sollen die Ergebnisse diskutiert und auf die Forschungsfragen bezogen werden. Zusätzlich werden die Ergebnisse der Nutzungsanalyse und die generelle Durchführbarkeit einer Online-Erhebung diskutiert.

8.1 Gesamtergebnisse der Erhebung

Zunächst kann festgehalten werden, dass trotz einer kurzen Interventionszeit starke Lerneffekte erzielt wurden ($d = 0,5 - 0,8$). Dieser Effekt zeigte sich bereits in anderen kurzen Interventionen mit Erklärvideos (Findeisen et al., 2019; Kay, 2012). Somit kann zunächst bestätigt werden, dass Erklärvideos schon nach einer kurzen Zeit ein lerneffektives Medium sind. Vor diesem Hintergrund sollen nun die einzelnen Forschungsfragen betrachtet werden.

8.2 Diskussion der Ergebnisse zu den einzelnen Forschungsfragen

8.2.1 Zu Forschungsfrage 1 (FF1)

Die erste Forschungsfrage fokussiert sich auf den Einfluss der didaktischen Qualität des Videos auf den Lernzuwachs bei der Nutzung von Erklärvideos. Dazu wurde folgende Frage und Hypothese formuliert:

FF1 Welchen Einfluss hat die didaktische Qualität von Erklärvideos auf den Lernzuwachs im Handlungs- und Konzeptwissen?

H1 Ein Video mit einer höheren didaktischen Qualität wird zu höheren Lernzuwächsen führen.

Im Rahmen der hier durchgeführten Studie muss diese Hypothese abgelehnt werden. Es können keine signifikanten Effekte zwischen den Gruppen mit Videos unterschiedlicher didaktischer Qualität gefunden werden. Die Erhebung ist für Effektstärken größer als $d = 0,42$ sensitiv. Das heißt, es liegen keine Effekte größer als $d = 0,42$ und somit nach Cohen (2013) keine mindestens mittleren und nach Hattie (2018) keine Effekte im erwünschten Bereich vor.

Dieses Ergebnis steht nicht im Anschluss an bisherige Forschungsvorhaben zur Qualität von Erklärvideos (Kulgemeyer, 2018a). Um dieses Ergebnis zu interpretieren, lassen sich verschiedene Erklärungsansätze heranziehen.

Zunächst könnte der Qualitätsunterschied zwischen den Videos zu gering gewesen sein. Zwar erkennen Expert*innen zwischen den Videos signifikante Unterschiede in der didaktischen Qualität mit zum Teil großen Effektstärken. Diese Qualitätsunterschiede könnten so jedoch nicht von den Studienteilnehmer*innen wahrgenommen werden. Das könnte bedeuten, dass die Unterschiede im Video auf einem hohen fachdidaktischen Niveau zu finden sind und daher von Laien nicht zu identifizieren und

wahrzunehmen sind. Das würde bedeuten, dass durch noch größere Qualitätsunterschiede zwischen zwei Videos entsprechend den zugrunde gelegten Kriterien zur Gestaltung von Erklärvideos ein signifikanter Unterschied im Lernzuwachs hätte erreicht werden können. Dieser Überlegung stehen jedoch zwei Argumente entgegen: So könnten zwar durch eine Variation im Modell zur Erklärung des elektrischen Widerstands größere Qualitätsunterschiede erzeugt werden. Dies würde allerdings die Vergleichbarkeit der Videos in Frage stellen, weil durch die Art der Erklärung dann unterschiedliche Informationen gegeben würden. Weiterhin setzt ein fairer Vergleich voraus, dass beide Videos fachlich angemessen sind, sich also nicht etwa durch fachliche Fehler unterscheiden. Unter diesen Prämissen wurde in dieser Erhebung versucht, eine maximal mögliche Differenz in der Videoqualität zu erzeugen. Für eine weitere Verschlechterung der didaktischen Qualität hätte bei der Gestaltung der Videos mit weniger Abbildungen, weniger Farben und nur Standbildern gearbeitet werden können. Bei der Verwendung eines solchen schlecht gestalteten Videos besteht jedoch die Gefahr, ein reines Laborartefakt zu erstellen. Wie die ökologische Validierung der hier genutzten Videos zeigt, liegen beide Erklärvideos hinsichtlich ihrer Qualität in der Bandbreite von im Internet zu findenden Erklärvideos. Hätte man ein Video verwendet, welches eine noch geringere Qualität besitzt, wäre es nicht mehr mit dem vergleichbar, was in Schulen und Universitäten genutzt wird. Eine solche Untersuchung könnte keine Aussage mehr darüber treffen, welchen Einfluss die Qualität eines für YouTube typischen Erklärvideos auf den Lernerfolg hat.

Eine zweite Möglichkeit zur Erklärung des Ausbleibens eines Effektes bietet die Beliebtheit des Mediums Erklärvideo selbst. Studierende sind es gewohnt, mit Erklärvideos sehr unterschiedlicher Qualität zu lernen und wissen daher aus Erfahrung, an welchen Stellen des Videos die wichtigen Informationen gegeben werden. Bei der Stichprobe handelt es sich um Studierende des 1. und 2. Semesters. Aufgrund ihrer Lebenserfahrung hatten sie vermeintlich bereits hinreichend Gelegenheit, verschiedene Strategien einzuüben, wie sie mit schlechten Erklärvideos umgehen können. Eine Wiederholung mit beiden Videos in einer Klasse der Sekundarstufe I könnte hier eventuell andere Ergebnisse liefern. Eine empirische Evidenz für diese Erklärungsansätze kann durch die reine Zählung der Interaktionen nicht gefunden werden. Jedoch sind im schlechteren Video häufiger Interaktionen der Art *Zurückspulen* zu beobachten und viele inhaltliche relevante Teile des Videos werden öfter geschaut. Weiterhin kann sich das Filtern und Heraussuchen von relevanten Informationen auch auf einer rein kognitiven Ebene abspielen. Zur weiteren Prüfung der beiden Erkläransätze könnte mittels Eyetracking (Blake, 2013) genauer untersucht werden, wie die Studierenden mit beiden Videos umgehen und ob es Konzentrationsspitzen in den relevanten Parts der Videos gibt.

8.2.2 Zu Forschungsfrage 2 (FF2)

Die zweite Forschungsfrage beschäftigt sich mit dem Einfluss des Einbettungsformats des Erklärvideos. Dazu wurde folgende Frage und Hypothese formuliert:

FF2 **Welchen Einfluss hat die Einbindungsform in Lehr-Lerprozesse des Erklärvideos auf den Lernzuwachs im Handlungs- und Konzeptwissen?**

H2 Das Einbindungsformat von Erklärvideos in Unterrichts- und Seminarverläufe hat einen Einfluss auf den Lernzuwachs.

Die Hypothese **H2** muss abgelehnt werden. Im Rahmen der Erhebung zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den entsprechenden Treatmentgruppen. Die Erhebung ist für Effektstärken von größer als $d = 0,40$ sensitiv. Das heißt, es liegen keine Effekte größer als $d = 0,40$ und somit nach Cohen (2013) keine mittleren und nach Hattie (2018) keine Effekte im erwünschten und für Interventionen relevanten Bereich vor. Betrachtet man zusätzlich die Interaktionen mit dem Video, so zeigt sich, dass es in den synchronen Gruppen zwar signifikant mehr Interaktionen mit einem großen Effekt ($d = 0,809$) gab. Diese höhere Anzahl an Interaktionen hat jedoch keinen Einfluss auf den Lernzuwachs. In der Betrachtung des Vor- und Zurückspulens zeigte sich dieser Unterschied ebenfalls. Dieses Mehr an Interaktionen findet sich besonders im zweiten Teil des Videos, der Erklärung der experimentellen Handlung, wieder. Im Gegensatz dazu wird in den asynchronen Treatmentgruppen noch häufiger linear geschaut.

Das Ausbleiben eines signifikanten Effektes in der Testbedingung Einbettungsformat kann eventuell durch die Laborbedingungen erklärt werden. Während in der Realität in zeitlich asynchronen Angeboten, wie dem *Flipped Classroom* häufig mehrere Stunden oder Tage zwischen der Betrachtung eines Erklärvideos und dem Absolvieren einer Aufgabe liegen, sind es in dieser Laborstudie nur wenige Minuten gewesen. Eventuelle Effekte des Vergessens konnten so nicht so stark auftreten. Ebenfalls war den Studierenden durch die Art der Videos die nachfolgende Aufgabe klar. Dadurch war ihnen wie von u. a. Finkenberg (2018) gefordert bewusst, was sie später leisten müssen. Zwar zeigen sich zwischen den Treatmentgruppen unterschiedliche Betrachtungsweisen, jedoch dominiert in beiden Gruppen ein linearer Ansatz, der in der asynchronen Variante noch deutlicher wird, da hier kaum Interaktionen zu erkennen sind.

8.2.3 Zu Forschungsfrage 3 (FF3)

In der dritten Forschungsfrage sollte untersucht werden, welche Personentypen insbesondere von Erklärvideos profitieren:

FF3 Von welchen Persönlichkeitsmerkmalen hängt ein höherer Lernzuwachs bei der Nutzung von Erklärvideos ab?

Um diese Forschungsfrage zu bearbeiten, wurden verschiedene Daten erhoben und analysiert. Zunächst soll genauer auf den Einfluss des Vorwissens auf den Lernerfolg mit Erklärvideos eingegangen werden. Sowohl die Extremgruppenanalyse als auch das Regressionsmodell zeigen, dass das Vorwissen einen negativen Prädiktor für den Lernzuwachs bei der Nutzung von Erklärvideos darstellt. Personen mit einem geringen Vorwissen profitieren von Erklärvideos besonders. Zum Teil verringert sich das Wissen der Studierenden mit einem hohen Vorwissen im Post-Test sogar. Hierfür bieten sich zwei verschiedene Erklärungen an.

Einerseits kann ein Erklärvideo wie eine mündliche Erklärung im Unterricht gesehen werden. Bei einer solchen Sichtweise wäre das Ergebnis typisch für die Forschung zum Erklären. Hier stellen u. a. Wittwer und Renkl (2008) heraus, dass häufig schwache Schüler*innen und Studierende von Erklärungen profitieren. Personen mit einem hohen Vorwissen profitieren nicht von gegebenen Erklärungen, sondern bilden vor allem z. B. nach Kulgemeyer (2018a) und Kulgemeyer und Wolf (2016) durch das Selbst-Erklären und Anwenden neues Wissen aus oder nach Nielsen und Hoban (2015) durch die Gestaltung von Erklärvideos. Dadurch könnte sich durch das Treatment ein negativer motivationaler Effekt eingestellt haben und die im Vorwissen starken Studierenden haben den Post-Test nicht mehr motiviert bearbeitet und eventuell sogar geraten. Hierfür würde auch die abgesunkene Reliabilität des Post-Tests zum deklarativen Handlungswissen sprechen.

Andererseits kann auch das Erklärvideo an sich für die schwachen Ergebnisse der starken Studierenden verantwortlich sein. Das Erklärvideo erklärt das Konzept und die Bestimmung des elektrischen Widerstandes unter Zuhilfenahme des Modells der freien Elektronen und der Kollision von Elektronen mit Atomrümpfen. Dabei werden bestimmte Abbildungen und Erkläransätze genutzt (vgl. Kapitel 5). Aus der Erklärforschung und auch den Überlegungen zur Elementarisierung ist bekannt, dass eine hohe Passung von Erklärung und Vorwissen vorhanden sein muss (Kulgemeyer & Tomczyszyn, 2015). Bei Studierenden mit geringem Vorwissen ist dies weniger problematisch, da neue Modelle nicht oder nur sehr wenig an vorhandene Modelle anknüpfen müssen. Studierende mit einem hohen Vorwissen haben möglicherweise bereits ein mentales Modell für die Erklärung des Widerstandes entwickelt. Passt nun das im Erklärvideo genutzte Modell nicht zum mentalen Modell der Studierenden, könnte ihr Vorwissen verunsichert werden. Eine solche Verunsicherung würde dann zu stagnierenden oder sogar sinkenden Ergebnissen im Post-Test führen.

Weiterhin zeigt sich in der Analyse des Nutzungsverhaltens, dass insbesondere Studierende mit einem starken Vorwissen im deklarativen Handlungswissen häufig über

ganze Teile des Videos hinwegspringen und somit diese Informationen gar nicht aufnehmen.

Es kann weiter ein zweiter Prädiktor für den Lernerfolg mit Erklärvideos identifiziert werden: Das generelle Interesse und Nutzungsverhalten bei der Betrachtung von Erklärvideos. Sowohl in der Betrachtung des Lernzuwachses hinsichtlich der Nutzungsclustergruppe als auch im Regressionsmodell kann signifikant bzw. nahezu signifikant gezeigt werden, dass das Interesse an und Nutzungsverhalten von Erklärvideos einen Einfluss auf den Lernzuwachs haben. Dies ist vergleichbar mit anderen Studien zur Mediennutzung (z. B. Mayer, 2009), die berichten, dass die Vorerfahrung mit einem Medium determiniert, wie mit diesem gelernt werden kann. Im Regressionsmodell zeigt sich, dass die Vorerfahrung mit Erklärvideos innerhalb der Veranstaltung *physikalische Grundlagen* ein Prädiktor für den Lernzuwachs im deklarativen Handlungswissen ist. Dies kann mit der Art der Erklärvideos erklärt werden, für die in der Veranstaltung Werbung gemacht wird. Diese Videos legen den Fokus darauf, bestimmte Handlungen zu erklären und fokussieren dabei stark auf Aufbau, Durchführung und Auswertung von Experimenten. In diesen Videos wird somit ein eher technisches Verständnis für das Experimentieren in der Physik gefördert, welches auch für die Bearbeitung des Fragebogens zum deklarativen Handlungswissen notwendig ist. Dem gegenüber steht das Nutzungsverhalten außerhalb der Veranstaltung als nahezu signifikanter Prädiktor. Studierende, die sich allgemein mit Erklärvideos beschäftigen und diese für private, aber auch andere akademische Zwecke nutzen, profitieren von diesen Erfahrungen beim Aufbau von Konzeptwissen. Diese Interpretation erscheint plausibel, da dieses Konzeptwissen in den für die Veranstaltung genutzten Erklärvideos als Hilfestellungen nicht im Mittelpunkt steht und man Erfahrungen mit Videos, die vornehmlich Konzepte erklären, in einem anderen Themenfeld gemacht haben muss. Es erscheint also für den Lernzuwachs bei der Nutzung von Erklärvideos relevant zu sein, dass dieses Medium vertraut ist und den Studierenden klar ist, welche Informationen sie aufnehmen müssen, um entweder Konzeptwissen oder Handlungswissen aufzubauen.

Durch die Regressionsmodelle konnte insgesamt ein erheblicher Anteil der Varianz (20 % – 36 %) aufgeklärt werden und es können Personen beschrieben werden, welche besonders von Erklärvideos profitieren.

Besonders Studierende mit einem geringen Vorwissen profitieren von den in dieser Studie genutzten Erklärvideos. Weiterhin profitieren Studierende von Erklärvideos, die bereits Erfahrungen mit dem Medium machen konnten. Dieses Ergebnis schließt sich an andere bereits durchgeführte Studien zu Erklärungen (Kulgemeyer & Schecker, 2013; Simonsmeier, Flaig, Deiglmayr, Schalk & Schneider, 2021) oder zur Nutzung von Medien an (Girwidz, 2014; Mayer, 2009) und kann somit helfen, den Einsatz von Erklärvideos zielgruppengerechter zu planen.

8.3 Diskussion des Nutzungsverhaltens

Aufgrund der automatisierten Aufnahme der Nutzung war es möglich, das Nutzungsverhalten von 135 Studierenden aufzuzeichnen. Eine Häufung von Interaktionen am Beginn des Videos kann als Test der Studierenden erklärt werden. Zunächst überprüfen die Studierenden, ob das Video abspielt und ob der Ton richtig eingestellt ist. Danach startet die eigentliche Betrachtung des Videos.

Bei der Auswertung der Daten kann beobachtet werden, dass Studierende in einem synchronen Format signifikant häufiger mit dem Video interagieren. Dieses Mehr an Interaktionen schlägt sich jedoch nicht in einem signifikant höheren Lernzuwachs nieder. Eine Erklärung für die höhere Anzahl an Interaktionen kann durch die konkrete Verbindung von Erklärvideo und Aufgabe begründet werden. Die Studierenden können vor allem bei der Erklärung der Handlung genau sehen, welche Schritte notwendig sind und können diese zeitgleich nachmachen oder sich mehrfach anschauen. Einen Hinweis darauf liefern die Daten zum Vor- und Zurückspulen. Im synchronen Design können viele Spulvorgänge bei der Erklärung der Handlungen beobachtet werden. Diese Häufung von Ereignissen ist in der asynchronen Einbettung des Erklärvideos nicht zu finden. Insgesamt zeigt sich in der asynchronen Einbettung der Erklärvideos insgesamt eine linearere Betrachtung des Videos. Dies entsteht möglicherweise durch die fehlende Verknüpfung von Video und konkreter Aufgabe (Finkenberger, 2018). Bei der Betrachtung des Videos ist den Studierenden noch nicht klar, welche Herausforderungen sie bei der Bewältigung der Aufgabe haben werden und schauen sich daher das Video ohne Interaktion an. Zu beachten ist dabei, dass ein großer Teil der Studierenden unabhängig vom Einbettungsformat das Video insgesamt linear betrachtet hat. Nur ca. 30 % der Studierenden haben im Video vorgespult und 60 % zurückgespult. Insgesamt zeigt sich somit eine Präferenz einer linearen Betrachtungsweise bei den Studierenden, die im asynchronen Format noch beliebter ist, während in der synchronen Einbettung eine Tendenz dazu vorhanden ist, während der Erklärung der Handlung viele Interaktionen durchzuführen. Das kann möglicherweise durch die zeitliche Nähe zu der experimentellen Aufgabe erklärt werden. Diese Unterschiede in der Interaktion erzeugen jedoch keine signifikanten Unterschiede im Lernzuwachs.

Bei der Betrachtung der Interaktionen können zwischen den Videos unterschiedlicher Qualitätsstufen geringe Unterschiede ausgemacht werden. Studierende, die das qualitativ geringere Video nutzen, spulen häufig um 10 Sekunden zurück und spulen auch insgesamt häufiger zurück. Möglicherweise ist dies ein Indiz dafür, dass die Studierenden die relevanten Informationen im Erklärvideo suchen und filtern. Um dies genauer zu untersuchen, erscheint es sinnvoll, in einem ähnlichen Studiendesign Videos unterschiedlicher Qualität in einem Eyetracking Labor einzusetzen. Damit könnten eventuell Konzentrationsspitzen erkannt werden und gezeigt werden, dass geübte Lerner auch in einem schlechteren Video relevante Informationen herausfiltern können.

Bei der Betrachtung der Extremgruppen hinsichtlich des Vorwissens zeigt sich zunächst, dass sie sich in der reinen Anzahl der Interaktionen nicht voneinander signifikant unterscheiden. Betrachtet man jedoch das Nutzungsverhalten qualitativ durch die Arc-Diagramme (vgl. Kapitel 7.11) können folgende Schlüsse gezogen werden: Studierende mit einem geringeren Vorwissen im Konzeptwissen neigen dazu, größere Sprünge im Video durchzuführen. Sie gucken sich ganze Teile des Videos erneut an, um die erklärten Inhalte genauer zu verstehen. Personen mit einem höheren Vorwissen springen eher in kurzen Abständen durch das Video. Diesen Personen könnte unterstellt werden, dass sie durch das Video skippen auf der Suche nach Inhalten, die ihnen noch nicht bekannt sind. Dies könnte auch den negativen Lernzuwachs zum Post-Test hin erklären. Die Studierenden mit einem hohem Konzeptwissen schauen das Video oberflächlicher und achten nicht auf Details der Erklärung. Diese Details der Erklärung, wie die mathematischen Zusammenhänge zwischen elektrischem Widerstand, Stromstärke und elektrischer Spannung werden jedoch für die Bearbeitung des Fragebogens zum Konzeptwissen benötigt. Studierende mit einem geringen Vorwissen wissen eher um ihre Schwächen und betrachten die Erklärungen insgesamt und mehrfach, um für sie wichtige Informationen zu erhalten.

Bei der Betrachtung der Extremgruppen des deklarativen Handlungswissens wandelt sich dieses Bild. Studierende mit geringem Vorwissen springen schneller durch die Erklärung der Handlung und wiederholen das Video insgesamt. Eine mögliche Erklärung dafür könnte sein, dass diesen Studierenden nicht klar ist, vor welche Herausforderungen sie gestellt werden könnten, wenn sie das gezeigte Experiment selbst durchführen müssen. Studierende mit einem größeren Vorwissen im Handlungswissen schauen sich die Erklärung des Experiments häufiger am Stück an und springen aktiv dahin. Teile der Erklärung des Konzeptes werden insgesamt übersprungen. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass sie sich die einzelnen Schritte von Aufbau bis Auswertung mehrfach anschauen wollen, um die möglicherweise komplexeren Schritte zu identifizieren. Alternativ dazu könnte auch ein motivationaler Aspekt das Überspringen der Erklärung des Konzeptes erklären: Studierende versuchen die kognitive Belastung zu verringern und springen sofort zu den ihnen, aus z. B. anderen Erklärvideos zum Praktikum bekannten Handlungen.

Zusammenfassend kann zu der Interaktion mit dem Video festgehalten werden, dass diese Auswertung Anhaltspunkte für das Abschneiden der Extremgruppen, aber auch dem Ausbleiben von Effekten hinsichtlich der Treatmentvariablen geben kann. Insgesamt dominiert bei den Studierenden eine lineare Betrachtungsweise von Erklärvideos, doch es können Unterschiede in den typischen Verhaltensmustern zwischen den verschiedenen Treatments aber auch zwischen den Extremgruppen ausgemacht werden. Studierende im synchronen Treatment zeigen mehr Interaktionen mit dem Video als Studierende in asynchronen Einbettungsformaten. Dabei liegt der Fokus der Interaktionen auf der Erklärung der Handlung, die in der synchronen Einbettungsform direkt

durchgeführt werden kann. Studierende mit einem geringen Vorwissen interagieren anders mit dem Video als Studierende mit einem hohen Vorwissen. Die im Konzeptwissen schwache Extremgruppe fokussiert sich darauf, ganze Teile des Videos erneut zu schauen, während die stärkeren Studierenden durch das Video springen und so wichtige Details eventuell übersehen. Im deklarativen Handlungswissen schwache Studierende neigen dazu, sich die einzelnen Handlungsschritte des Experimentes sehr kleinteilig anzusehen und springen so über etwaige schwierige Stellen hinweg, da ihnen nicht bewusst wird, wo sie vor Probleme in der Durchführung der Handlung gestellt werden. Starke Studierende gucken sich die Erklärung der Handlung eher mehrfach an und legen darauf einen Fokus bei der Betrachtung, eventuell um sich einzelne Handlungsschritte genau einzuprägen. Dabei überspringen sie häufig die wichtige Erklärung des Konzeptes des elektrischen Widerstandes. Das Ausbleiben eines Effektes zwischen den Videos verschiedener didaktischer Qualität kann durch die Analyse der Handlungsmuster nur teilweise aufgelöst werden. Im schlechteren Erklärvideo finden häufig kleinere Sprünge zurück statt, um sich Teile des Videos erneut anzuschauen. Um das Auftreten oder Ausbleiben von Effekten weiter zu ergründen, könnte eine aufwendige qualitative Analyse der Handlungsverläufe einzelner Studierenden Aufschluss geben. Bei einer solchen Analyse würden zunächst Handlungstypen für jeden Studierenden auf Grundlage individueller Arc-Diagramme gebildet werden und in einem zweiten Schritt würde geprüft, ob diese Handlungstypen gehäuft in Treatment- oder Extremgruppen auftreten. Für weitere Analysen des Konzentrationsverhaltens könnten z. B. Eyetracking Studien sinnvoll sein, die prüfen, wie mit den Erklärvideos unterschiedlicher Qualität umgegangen wird.

8.4 Diskussion des Einflusses der Durchführung der Studie als Online-Erhebung

Aufgrund der weltweiten Corona-Pandemie musste die Erhebung in einem zeitlich synchronen Online-Format durchgeführt werden. Erklärvideos und Instrumente waren zunächst jedoch für eine analoge Erhebung mit einer anderen Stichprobe entwickelt worden. Dadurch ergaben sich z. T. Schwierigkeiten der Übertragung. Es können jedoch auch für die zukünftige Forschung wichtige Designideen aus der hier vorliegenden Studie gezogen werden.

Die größte Problematik in der Übertragung in ein Online-Format ergab sich durch die experimentelle Aufgabe zum Erklärvideo. Sowohl die Aufgabe an sich, als auch das Bewertungsmanual wurde für den Einsatz am Realexperiment geplant und optimiert. Für die Online-Erhebung musste zunächst eine ähnliche Simulation ausgewählt und darauf aufbauend das Bewertungsmanual verändert werden. Da die Simulation verschiedene experimentelle Handlungen, wie das Anschließen und Auswählen einer passenden Skala am Multimeter vereinfacht, gehen Informationen darüber verloren, wel-

che Handlungen die Studierenden durchführen können. Vergleicht man jedoch die Gesamtergebnisse der Bewertung der Handlungen in der Hauptstudie mit denen der Pilotierung ausgehend von einem Realexperiment, so fällt eine ähnliche Punkteverteilung auf. Pilotierung und Hauptstudie sind zudem in einer ähnlichen Stichprobe, Studierende des Grundschullehramts im 1. und 2. Semester, durchgeführt worden. Daher kann davon ausgegangen werden, dass zumindest ähnliche Fähigkeiten gemessen werden.

Weiterhin ist die Kontrolle der Interaktionen der Studierenden untereinander in einer Online-Erhebung aufwendiger. Die Studierenden haben ihren gesamten Bildschirm mittels der Software OBS-Studio gefilmt und mussten die Kamera während der gesamten Erhebung eingeschaltet lassen. Dadurch war es möglich etwaige Interaktionen über Soziale Medien aufzuzeichnen. Dies war nur bei wenigen Studierenden der Fall ($N = 2$). Ohne diesen Aufwand wäre diese Quote sicherlich höher gewesen. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass die Studierenden sich z. B. über Smartphones ausgetauscht haben. Weiterhin wurde aufgrund der Verwendung verschiedener Software ein Trainingstermin mit den Studierenden notwendig, um die Nutzung der Bildschirmaufzeichnung etc. einzuüben. Insbesondere der Dateiupload in sciebo stellte sich dabei als kompliziert heraus, da die Internetverbindung nicht bei allen Studierenden die benötigte Bandbreite zu Verfügung stellen konnte. Diese Probleme konnten durch Testläufe im Rahmen des Pre-Tests festgestellt und behoben werden, indem den Studierenden mehr Zeit zum Upload oder alternative Uploadplattformen zur Verfügung gestellt wurden.

Positiv für diese digitale Form der Erhebung kann die Quote an unvollständigen Daten gesehen werden. Die Wissenstests und Daten der Bildschirmaufzeichnungen der meisten Studierenden konnten ausgewertet werden.

Bei dem Fragebogen zum Nutzungsverhalten von und Interesse an Erklärvideos ist eine etwas höhere Ausschussquote zu beobachten. Dies liegt vor allem daran, dass häufig eine der beiden Skalen – Nutzung und Interesse innerhalb der Veranstaltung oder Nutzung und Interesses außerhalb der Veranstaltung – nicht bearbeitet wurden. Das Imputationsmodell zeigte jedoch, dass daraus nur ein geringer Informationsverlust entstanden ist. Die Regressionsmodelle mit Imputation unterscheiden sich nur unwesentlich von denen der vollständigen Datensätze. Insgesamt zeigt sich jedoch, dass Studierende die Online-Erhebung akzeptiert und die an sie gestellten Aufgaben konzentriert bearbeitet haben. Dies zeigt sich auch in den Bearbeitungszeiten der LimeSurvey Umfragen, die immer im Bereich der maximal möglichen Bearbeitungszeit liegen und daran, dass sich nur wenige Studierenden schnell durch die Fragen klicken. Ebenfalls wurden die Erklärvideos von den Studierenden betrachtet und auch die Nutzungsdaten hochgeladen. Die Vielzahl an Interaktionen und auch die Betrachtung der Bildschirmaufnahmen als Ergänzung lässt darauf schließen, dass die Videos konzentriert geschaut wurden. Für eine noch höhere Rücklaufquote der Nutzungsdaten

hätte das Programm zur Aufzeichnung der Videonutzung diese Daten automatisiert auf einen Server hochladen können. Hierdurch wäre zusätzlich der Trainingsaufwand verringert worden.

Das in den theoretischen Grundlagen formulierte Ziel, möglichst viele Variablen der Erhebung zu kontrollieren, konnte somit auch bei der Durchführung der Studie als Online-Untersuchung eingehalten werden. Sowohl Angaben zu den Personen als auch zum Nutzungsverhalten bei der Betrachtung der Erklärvideos sind vorhanden und konnten ausgewertet werden.

Diese Studie kann auch als ein Beispiel für die Durchführung einer Online-Erhebung angesehen werden. Vor der eigentlichen Studie wurden Abläufe und technische Probleme identifiziert und behoben, um während der eigentlichen Erhebung mit möglichst wenigen technischen Problemen und Fragen konfrontiert zu werden. Dies resultierte in einer hohen Quote an auswertbaren Daten, die in verschiedenen Umgebungen erhoben werden konnten.

Zukünftige Studien, die keine komplizierte Softwareinfrastruktur wie Simulationen benötigen oder gänzlich ohne weitere Software außer LimeSurvey auskommen, können auf Grundlage der hier gemachten Erfahrungen als Online-Studie geplant werden. Hierdurch könnte eine Akquise von Teilnehmer*innen leichter fallen und es könnten in relativ kurzen Zeiträumen große Stichproben untersucht werden. Für komplizierte Studiendesigns, insbesondere bei der Nutzung von Experimenten, empfiehlt sich allerdings weiterhin eine klassische Erhebung vor Ort oder unter Laborbedingungen.

8.5 Grenzen der Arbeit

Insgesamt unterliegen die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie einigen Einschränkungen. Zunächst ist die Studie für eine gymnasiale Mittelstufe geplant worden. Schlussendlich wurde sie jedoch aufgrund der Corona-Pandemie mit Lehramtstudierenden des 1. und 2. Semesters des Sachunterrichts durchgeführt. Auch wenn viele Studierende nur bis zum Ende der Mittelstufe Physik hatten und die Selbstwirksamkeitserwartung in dieser Kohorte im Bereich der Physik insgesamt gering ist, haben die Studierenden durch ihre Lebenserfahrung und diverse Prüfungen vermutlich komplexere kognitive Strategien entwickelt, um Informationen zu verarbeiten oder Tests und Prüfungen zu bestehen. Zwar konnten keine Deckeneffekte in der Haupterhebung beobachtet werden, jedoch hätten Schüler*innen der Mittelstufe vermutlich mit dem schlechten Erklärvideo nicht so hohe Lernzuwächse erreichen können, da es sowohl inhaltlich als auch formal nicht für diese Zielgruppe angemessen gewesen wäre. Studierende des 1. und 2. Semesters können mit diesen unpassenden Lerngelegenheiten vermutlich deutlich besser umgehen, da sie mehr Zeit hatten, Strategien für solche Situationen zu entwickeln. Ein weiterer einschränkender Faktor dieser Arbeit ist der kur-

ze Zeitabstand im asynchronen Einbettungsformat. Dieser wurde so gewählt, damit die Studierenden unter kontrollierten Bedingungen das Erklärvideo schauen. Dies ist so jedoch nicht mit den realen Bedingungen eines *Flipped Classroom* vergleichbar, bei dem oft mehrere Tage zwischen Betrachtung des Videos und Bearbeitung einer Aufgabe liegt. In der hier durchgeführten Studie waren es nur wenige Minuten. Es zeigt sich zwar, dass in den synchronen Treatmentgruppen signifikant mehr Interaktionen mit dem Video stattfinden, dies spiegelt sich jedoch nicht im Lernzuwachs wider. Durch eine Vergrößerung dieses Zeitraums könnte sich hier ein signifikanter Unterschied im Lernzuwachs ergeben. Ein kurzer Zeitraum wurde in dieser Studie gewählt, um möglichst viele Versuchsbedingungen kontrollieren zu können.

Um die Forschungsfragen 1 und 2 weitergehend bearbeiten zu können und nach Gründen für das Ausbleiben von Effekten zu suchen, fehlen an dieser Stelle weitere z. T. qualitative Daten. Durch Interviews mit den Studierenden nach der Bearbeitung der Aufgaben wäre ein Einblick in die Vorgehensweise zur Informationsgewinnung bei der Betrachtung der Erklärvideos oder im Umgang mit dem asynchronen Format möglich gewesen. Diese Informationen wären über das hier analysierte Nutzungsverhalten etc. hinausgegangen.

Weiterhin kann die hier genutzte Expertenvalidierung der Erklärvideos und Definition von Expert*innen kritisch gesehen werden. Als Expert*innen werden hier Fachdidaktiker*innen der Physik angesehen. Diese Expert*innen sind sehr sensibel für didaktische Qualitätsunterschiede. Die von den Expert*innen wahrgenommenen großen, signifikanten Unterschiede in der didaktischen Qualität könnten von anderen Personen so nicht wahrgenommen werden. Möglicherweise erkennen Schüler*innen, Studierende aber vielleicht sogar Lehrer*innen die Unterschiede in der didaktischen Qualität nicht und würden beide Videos gleich bewerten. In zukünftigen Studien sollten daher die Teilnehmer*innen zusätzlich befragt werden, welche Qualität das ihnen präsentierte Video hat und eventuell zwei Videos unterschiedlicher Qualität miteinander vergleichen. Somit könnte man erkennen, ob den Teilnehmer*innen die Qualitätsunterschiede bewusst sind.

Eine weitere Einschränkung dieser Studie ist die Fokussierung ausschließlich auf die Elektrizitätslehre. Zwar erscheint es zunächst sinnvoll, einen neuen Kriterienkatalog zur Erstellung von Erklärvideos in einem Themengebiet zu testen. Wie dieser Kriterienkatalog jedoch in anderen Themenfeldern genutzt werden kann, ist noch nicht bekannt.

Durch das Design als reine Pre-Post-Studie können keine Aussagen über die langfristige Wirkung von Erklärvideos getroffen werden. Das heißt, es ist nicht bekannt, wie das aufgebaute Wissen durch das Erklärvideo in verschiedenen Szenarien angewandt oder für komplexere Modelle erweitert wird. Weiterhin kann nicht gesagt werden, wie lange der Zuwachs im deklarativen Handlungswissen und Konzeptwissen insgesamt

vorhanden ist. Hierzu wären Follow-Up-Tests nach mehreren Wochen nötig gewesen. Dieser langfristige Wissensaufbau von Erklärvideos wäre ein möglicher Anknüpfungspunkt für weitere Studien.

9 Fazit und Ausblick

Trotz der beschriebenen Grenzen der Arbeit wurden verschiedene gesetzte Ziele erreicht. Zunächst konnte auf Grundlage der politischen Forderungen an die Digitalisierung in der Schule und den didaktischen Konzepten der Elementarisierung, der Erklärqualität und der Theorie des multimedialen Lernens ein Kriterienkatalog, basierend auf Kulgemeyer (2018a), entwickelt werden, der es ermöglicht, didaktisch hochwertige Erklärvideos zu gestalten. Mithilfe dieses Kriterienkataloges wurde ein Erklärvideo entwickelt, dessen didaktische Qualität durch Expert*innen validiert wurde. Die Handhabung dieses Kriterienkatalogs ist trotz der Vielzahl von 24 Kategorien möglich. Insgesamt scheint dieser Kriterienkatalog für die Erstellung von Erklärvideos hilfreich zu sein. In weiteren Studien könnte diskutiert werden, ob ein einzelner Kriterienkatalog für verschiedene Erklärvideos ausreichend ist und sich die Kategorien nicht je nach Lernziel unterscheiden müssten. Weiterhin konnte im Rahmen dieser Arbeit ein Überblick über die aktuelle Forschungslage zu Erklärvideos und Einbettungsformaten von Erklärvideos in Lehr-Lernprozesse gegeben werden. Dabei stellt sich heraus, dass in Medienvergleichsstudien Lernsettings mit Erklärvideos häufig signifikant höhere Lernzuwächse erreichen als Settings ohne Videos. Offene Stellen der Forschung an und mit Erklärvideos zeigen sich dabei insbesondere in der Systematisierung der Qualität und den Einsatzformen von Erklärvideos als auch darin, zu bestimmen welche Personengruppen insbesondere von Erklärvideos profitieren. Diese offenen Stellen wurden in dieser Laborstudie durch ein 2x2 Design aufgegriffen. Dabei konnte die Qualität der Erklärvideos durch Expert*innen und auch ökologisch validiert werden und das Einsatzformat wurde synchron und asynchron variiert. Geplant war die Studie für Schüler*innen der Mittelstufe. Aufgrund der Corona-Pandemie wurde die Studie mit Studierenden des 1. und 2. Semesters des Sachunterrichts in zeitlich synchroner Fernlehre durchgeführt.

Im Rahmen der Studie zeigt sich, dass sowohl im Konzept- als auch im deklarativen Handlungswissen bei der Nutzung von Erklärvideos signifikante, mittlere bis große Lernzuwächse erreicht werden und dies sogar nach einer vergleichsweise sehr kurzen Interventionszeit. Dies schließt sich an bereits vorher durchgeführte Studien an und bestätigt abermals das Bildungspotenzial von Erklärvideos.

Im Rahmen dieser Studie konnte nicht gezeigt werden, dass mit höherer didaktischer Qualität eines Erklärvideos ein höherer Lernzuwachs einhergeht. Ebenfalls konnten keine Unterschiede zwischen synchronem und asynchronem Format ausgemacht werden. Möglicherweise kann das Ausbleiben von Effekten durch den Wechsel in der Stichprobe von Schüler*innen zu Studierenden erklärt werden. Studierende haben vermutlich ein deutlich elaborierteres metakognitives Wissen, wodurch sie möglicherweise auch in einem schlechteren Video relevante Informationen erkennen. Um dies weiter zu untersuchen, können in späteren Studien Interviews mit den Studienteilneh-

mer*innen geführt werden oder die Nutzung der Erklärvideos mit *Eyetracking* genauer untersucht werden. Dadurch könnte genauer aufgeklärt werden, wie Personen mit Erklärvideos lernen. In weiteren Studien sollte weiterhin der Zeitabstand in asynchronen, an *Flipped Classroom* angelehnten, Designs zwischen Video und nachfolgender Aufgabe vergrößert oder variiert werden, um etwaige Zeiteffekte zu erkennen.

Durch ein Regressionsmodell konnte gezeigt werden, dass insbesondere Studierende mit geringem Vorwissen von Erklärvideos profitieren. Dies ist vergleichbar mit anderen Ergebnissen zur Erklärforschung. Studierende mit einem höheren Vorwissen erreichen im Post-Test zum Teil niedrigere Ergebnisse als im Pre-Test. Dies kann möglicherweise durch eine Verwirrung aufgrund des Videos erklärt werden. Studierende mit einem hohen Vorwissen haben möglicherweise bereits ein ausgeschärftes mentales Modell zum Thema des Erklärvideos. Passt nun das Modell der Erklärung nicht zum mentalen Modell, entsteht möglicherweise ein kognitiver Konflikt, was dann den geringen oder z. T. negativen Wissenszuwachs erklären könnte.

Die automatisierte Nutzungsaufzeichnung der Erklärvideos zeigte sich als einfach durchzuführen und bietet einen Mehrwert an Informationen. Personenmerkmale können so bestimmten Nutzungsprofilen zugeordnet und ausgewertet werden, ohne einen übermäßig großen Aufwand mit händischen Transkripten zu erzeugen. Bei der Auswertung der Daten ergibt sich, dass es einen Unterschied in der Art der Interaktion mit dem Video in einem synchronen und asynchronen **Einbettungsformat** gibt. Weiterhin zeigt sich, dass schwächere Studierende anders mit dem Video umgehen als Studierende mit hohem Vorwissen. Das Programm zur Aufzeichnung des Nutzungsverhaltens kann noch so weiterentwickelt werden, dass es nativ auf Windows-PCs läuft. Dieses Programm ließe sich auch in weiteren Studien zu Erklärvideos nutzen, um wichtige Einblicke in das Nutzungsverhalten zu gewinnen.

Es kann festgehalten werden, dass durch die Einschränkungen der Corona-Pandemie eine aussagekräftige Studie ganz als Online-Erhebung durchgeführt werden konnte. Dabei zeigte sich, dass auch eine Laborstudie unter möglichst kontrollierten Bedingungen in einem Online-Format durchführbar ist. Es trat kein überproportional häufiger Datenverlust auf. Dieses Ergebnis kann für das Design weiterer Studien hilfreich sein, um eine möglichst breite Datenbasis zu erzeugen und die Akquise von Teilnehmer*innen zu vereinfachen.

Für weitere Studien im Bereich der Erklärvideos sollte der Fokus daraufgelegt werden, ob Rezipienten der Videos Qualitätsunterschiede wahrnehmen und welche erfolgreichen Strategien im Umgang mit schlechten Erklärvideos vorhanden sind. Neben kurzen Interventionen in punktuellen Studien ist ein weiterer offener Punkt der Erklärvideoforschung eine längsschnittliche Betrachtung des Lernens mit Erklärvideos. Interessant kann z. B. die Untersuchung der Entwicklung der Fähigkeit mit Erklärvideos umzugehen sein, um diese in verschiedenen Lernsettings, wie z. B. Experimenten

einsetzen zu können. Insgesamt bieten Erklärvideos weitere Forschungsdesiderate, die einer genaueren Betrachtung bedürfen, die sowohl physikdidaktisch als auch medienpädagogisch von Bedeutung sind. Weitere Studien zu digitalen Medien aber auch zu Erklärvideos im Besonderen sollten daher nicht mehr allein einen Medienvergleich im Blick haben, sondern bestimmte Aspekte von Erklärvideos und deren Einsatzform variieren oder den langfristigen Erfolg des Einsatzes Digitaler Medien, auch in Feldstudien, untersuchen

.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Systematik von Lehr-Lernvideos nach Wolf (2015b, S. 132).....	8
Abbildung 2 Beispielbild eines Experiments aus der Egoperspektive	11
Abbildung 3 Systematik der Arten von Erklärvideos	12
Abbildung 4 Qualität einer Erklärung nach Kulgemeyer & Tomczyszy (2015, S. 121)	16
Abbildung 5 Zweikanaltheorie nach Mayer (2009) zitiert nach Schanze & Girwidz (2018, S. 179).....	21
Abbildung 6 Ablauf des Flippedclassrooms nach Finkenberg (2018)	40
Abbildung 7 Grober Ablauf der Studie.....	65
Abbildung 8 Zeitlicher Ablauf der Studie in Abhängigkeit der Treatmengruppen synchron oder asynchron	66
Abbildung 9 Beispiel für das Modell zur Erklärung des elektrischen Widerstandes (Prisma Physik, 2012, S. 115).....	69
Abbildung 10 Ausschnitt aus dem Storyboard des besseren Erklärvideos. Von Links nach Rechts: Beschreibung des Inhaltes, Erklärskript und Idee einer Visualisierung .	73
Abbildung 11 Visualisierung eines leuchtenden Glühdrates	73
Abbildung 12 Beginn des Erklärvideos	74
Abbildung 13 Beschreibung der mathematischen Bestimmung des elektrischen Widerstands.....	74
Abbildung 14 Ausschnitt aus der Erklärung der Handlung. Gelbe Pfeile sollen Verknüpfung von Schaltskizze und realen Messinstrument schaffen und werden im Video eingeblendet (Kontinguitätsprinzip)	75
Abbildung 15 Ausschnitt aus dem Testinstrument zum deklarativen Handlungswissen	79
Abbildung 16 Experimentelle Aufgabe zum Video	81
Abbildung 17 Ausschnitt aus dem Bewertungstool zur experimentellen Aufgabe. Das Bewertungstool soll die Bewertung ökonomischer gestalten.....	84
Abbildung 18 Aufgebaute Schaltung zur Bestimmung des elektrischen Widerstands in der Simulation	86
Abbildung 19 Fehlkonstruktion der Schaltung. Der Kurzschluss wird durch eine brennende Batterie symbolisiert.	87
Abbildung 20 Exemplarisches Item des Testinstruments in LimeSurvey.....	89
Abbildung 21 Videoumgebung der automatisierten Handlungsaufzeichnung	92
Abbildung 22 Häufigkeit des höchsten akademischen Grades der befragten Expert*innen.....	96
Abbildung 23 Durchschnittliche Bewertung der Kategorien für das jeweilige Erklärvideo.....	97
Abbildung 24 Durchschnittliche Bewertung der Kategorien mit einem signifikanten Unterschied zwischen den Erklärvideos ($p < 0,05$)	98

Abbildung 25 Durschnittliche Bewertung Bewertung der Kategorien, die sich zwischen den Erklärvideos nicht signifikant unterscheiden ($p > 0,05$)	99
Abbildung 26 Punkteverteilung der Pilotierung im deklarativen Handlungswissen. X-Achse: Punkte im Test, Y-Achse: Häufigkeit.....	102
Abbildung 27 Punkteverteilung der Pilotierung in der Handlingsbewertung. X-Achse: Punkte in der Bewertung; Y-Achse: Häufigkeit.....	104
Abbildung 28 Geschlechterverteilung; X-Achse: Geschlecht; Y-Achse: Häufigkeit	106
Abbildung 29 Verteilung der höchsten Stufe mit Physikunterricht; X-Achse: Klassenstufe; Y-Achse: Häufigkeit	107
Abbildung 30 Punkteverteilung des deklarativen Handlungswissens; X-Achse: Anzahl der Punkte; Y-Achse: Häufigkeit.....	109
Abbildung 31 Punkteverteilung des Konzeptwissens; X-Achse: Anzahl der Punkte; Y-Achse: Häufigkeit	110
Abbildung 32 Punkteverteilung der Durchführung der experimentellen Aufgabe; X-Achse: Anzahl der Punkte; Y-Achse: Häufigkeit.....	110
Abbildung 33 Globaler Lernzuwachs; X-Achse: Messzeitpunkte 1= Pre-Test; 2 = Post Test; Y-Achse: Durschnittlicher relativer Summenscore	111
Abbildung 34 Individual Gain Score in Abhängigkeit der Videoqualität für Konzept- und deklaratives Handlungswissen.....	112
Abbildung 35 Individual Gain Score in Abhängigkeit vom Einbettungsformat für Konzept- und deklaratives Handlungswissen.....	113
Abbildung 36 Individual Gain Score in Abhängigkeit der Treatmentgruppe für Konzept- und deklaratives Handlungswissen.....	114
Abbildung 37 Individual Gain Score für das Konzeptwissen in Abhängigkeit von der Extremgruppe des Konzeptwissens	116
Abbildung 38 Signifikanz der Unterschiede des Individual Gain Score für das Konzeptwissen in Abhängigkeit von der Extremgruppe des Konzeptwissens, * = $p < 0,05$	117
Abbildung 39 Individual Gain Score für das deklarative Handlungswissen in Abhängigkeit von der Extremgruppe des deklarativen Handlungswissens.....	118
Abbildung 40 Signifikanz der Unterschiede im Individual Gain Score für das deklarative Handlungswissen in Abhängigkeit von der Extremgruppe des deklarativen Handlungswissens; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$	119
Abbildung 41 X- Achse: Anzahl der Cluster k; Y-Achse: Durchschnittliche Silhouettenbreite. Je größer die Silhouettenbreite ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass in den Daten die Anzahl der Cluster vorhanden ist. Die Werte reichen von -1 bis 1.	120
Abbildung 42 Wie durch die Silhouettenbreite vermutet können 3 Clusterzentren voneinander unterschieden werden. Die Cluster sind trennscharf und es gibt keine Überschneidungen.....	121
Abbildung 43 Individual gain score für das deklarative Handlungswissen und Konzeptwissen in Abhängigkeit von der Clustergruppe	122

Abbildung 44 Regressionsmodell für das deklarative Handlungswissen und das Konzeptwissen. *= $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$	124
Abbildung 45 Regressionsmodell nach Imputation. *= $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$	125
Abbildung 46 Durchschnittliche Anzahl der Interaktionen in Abhängigkeit vom Einbettungsformat	127
Abbildung 47 Anzahl der Interaktionen im Video in Abhängigkeit von den verschiedenen Extremgruppen des Konzeptwissens. Bei Vor- und Zurückspulvorgängen wird zunächst nur der Startpunkt betrachtet.	128
Abbildung 48 Anzahl der Interaktionen im Video in Abhängigkeit von den verschiedenen Extremgruppen des deklarativen Handlungswissens. Bei Vor- und Zurückspulvorgängen wird zunächst nur der Startpunkt betrachtet.	129
Abbildung 49 Grau: Vorspulen; Blau: Zurückspulen; Je dicker die Linie ist, desto häufiger wurde zwischen den Zeitpunkten gesprungen.	132
Abbildung 50 Vorspulen des guten Videos.	133
Abbildung 51 Zurückspulen des guten Videos	134
Abbildung 52 Vorspulen im schlechten Video	135
Abbildung 53 Zurückspulen im schlechten Video	136
Abbildung 54 Vorspulen im synchronen Einbettungsformat	137
Abbildung 55 Zurückspulen im synchronen Einbettungsformat	138
Abbildung 56 Vorspulen im asynchronen Einbettungsformat	139
Abbildung 57 Zurückspulen im asynchronen Einbettungsformat	140
Abbildung 58 Vorspulen der schwachen Extremgruppe (Konzeptwissen)	141
Abbildung 59 Zurückspulen der schwachen Extremgruppe (Konzeptwissen)	142
Abbildung 60 Vorspulen der mittleren Extremgruppe (Konzeptwissen)	143
Abbildung 61 Zurückspulen der mittleren Extremgruppe (Konzeptwissen)	144
Abbildung 62 Vorspulen der starken Extremgruppe (Konzeptwissen)	145
Abbildung 63 Zurückspulen der starken Extremgruppe (Konzeptwissen)	146
Abbildung 64 Vorspulen der schwachen Extremgruppe (deklaratives Handlungswissen)	147
Abbildung 65 Zurückspulen der schwachen Extremgruppe (deklaratives Handlungswissen)	148
Abbildung 66 Vorspulen der mittleren Extremgruppe (deklaratives Handlungswissen)	149
Abbildung 67 Zurückspulen der mittleren Extremgruppe (deklaratives Handlungswissen)	150
Abbildung 68 Vorspulen der starken Extremgruppe (deklaratives Handlungswissen)	151
Abbildung 69 Zurückspulen der starken Extremgruppe (deklaratives Handlungswissen)	152

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Prozent der Befragten, die Angeben Erklärvideos für die Schule zu nutzen im zeitlichen Verlauf (Jim 2016 – 2021).	4
Tabelle 2 Frameworks eines gelungen Erklärvideos nach Kulgemeyer (2018a, S.11) 25	25
Tabelle 3 Gestaltungskriterien eines lernwirksamen Erklärvideos	28
Tabelle 4 Basismodell Lernen durch Eigenerfahrung (Wiesner et al., 2011)	36
Tabelle 5 Basismodell Konzeptbilden (Krabbe et al., 2015).....	36
Tabelle 6 Basismodell Problemlösen (Krabbe et al., 2015)	37
Tabelle 7 Zusammenfassung der Handlungskettenschritte der Basismodelle, schwarz: Möglichkeiten des Einsatzes von Erklärvideos	38
Tabelle 8 2x2 Design der Studie: Variation in Einbettungsformat und Videoqualität 60	60
Tabelle 9 Semesterplan der Veranstaltung Physikalische Grundlagen 2020/2021	64
Tabelle 10 Übersicht über die genutzten Instrumente	67
Tabelle 11 Ablauf der Erklärvideoproduktion.....	68
Tabelle 12 Handlungsschritte zur experimentellen Bestimmung des Widerstands und dazu typische Handlungen	77
Tabelle 13 Bewertungsmanual der experimentellen Handlung.....	82
Tabelle 14 Herausgenommene Items des Bewertungsmanuals aus Tabelle 13	85
Tabelle 15 Skalen des genutzten Testinstruments von Urban-Woldron und Hopf (2012).....	88
Tabelle 16 Überblick über die Skalen, Inhalte und Reliabilitäten des Instruments nach Szabone Varnai et al (2019).....	90
Tabelle 17 Aufzeichnenbare Aktionen mit dem Video	92
Tabelle 18 Interpretation des Fleschindex nach Flesch (1948) übersetzt durch Kind und Ottersbach (2016).....	94
Tabelle 19 Klassifizierung des Lesbarkeitsindex nach Lenhard und Lenhard (2011)	94
Tabelle 20 Zusammenfassung der Ergebnisse der Lesbarkeit der Erklärung und Abweichungen zwischen den Videos in Prozent.....	95
Tabelle 21 Ökologische Validierung der Videos. Die Videos sind nach ihrem mittleren Rang sortiert.....	101
Tabelle 22 Reliabilität der Testinstrumente angegeben in Cronbachs α	108
Tabelle 23 Mittelwerte der relativen Summenscores und Standardabweichung der Extremgruppen in Pre-Test sowie die Gruppengröße.....	115
Tabelle 24 Zeitstrahl der Videos aufgelöst in 10 Sekunden Abschnitten.....	130

12 Literaturverzeichnis

- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Amstad, T. (1978). *Wie verständlich sind unsere Zeitungen?* (Abhandlung: Philosophische Fakultät I. Zürich. 1977). Studenten-Schreib-Service.
- Anders, P. (2019). Erklärvideo. In P. Anders, M. Staiger, C. Albrecht, M. Rüsel & C. Vorst (Hrsg.), *Einführung in die Filmdidaktik: Kino, Fernsehen, Video, Internet* (S. 255–268). Stuttgart: J.B. Metzler. https://doi.org/10.1007/978-3-476-04765-6_18
- Awidi, I. T. & Paynter, M. (2019). The impact of a flipped classroom approach on student learning experience. *Computers & Education*, 128, 269–283. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.013>
- Beege, M., Schneider, S., Nebel, S., Häbeler, A. & Rey, G. D. (2018). Mood-affect congruency. Exploring the relation between learners' mood and the affective charge of educational videos. *Computers & Education*, 123, 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.001>
- Behrendt, A., Güth, F., Kaulhausen, S., Steinbach M., Sterzing, F., Vogelsang, C. et al. (2021). Flexible Gestaltung von Datenerhebungen in Schulen und Universitäten. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Online Jahrestagung 2020* (S. 48–50). Essen: Universität Duisburg-Essen. Zugriff am 20.07.2022. Verfügbar unter: https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2021/TB2021_48_Behrendt.pdf
- Bernauer, D. (2019). Talentrekrutierung über soziale Netzwerke. In M. Busold (Hrsg.), *War for Talents: Erfolgsfaktoren im Kampf um die Besten* (S. 137–149). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57481-2_10
- Björnsson, C. H. (1968). *Lesbarkeit durch Lix*. Stockholm: Pedagogiskt Centrum.
- Blake, C. (2013). Eye-Tracking: Grundlagen und Anwendungsfelder. In W. Möhring & D. Schlütz (Hrsg.), *Handbuch standardisierte Erhebungsverfahren in der Kommunikationswissenschaft* (S. 367–387). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-531-18776-1_20
- Bleichroth, W., Dahncke, H., Jung, W., Kuhn, W., Merzyn Gottfried & Weltner, K. (1999). *Fachdidaktik Physik* (2., überarb. und erw. Aufl.). Köln: Aulis Verl. Deubner.
- Bos, W., Eickelmann, B., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K. et al. (Hrsg.). (2014). *ICILS 2013. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern in der 8. Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich*. Münster: Waxmann.

- Brame, C. J. (2016). Effective Educational Videos: Principles and Guidelines for Maximizing Student Learning from Video Content. *CBE Life Sciences Education*, 15(4). <https://doi.org/10.1187/cbe.16-03-0125>
- Brell, C. (2008). *Lernmedien und Lernerfolg - reale und virtuelle Materialien im Physikunterricht. Empirische Untersuchungen in achten Klassen an Gymnasien (Laborstudie) zum Computereinsatz mit Simulation und IBE* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 74). Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 2007. Berlin: Logos-Verl.
- Bühler, F. & Burzin, S. (2020). *Fokus Physik* (Nordrhein-Westfalen, [Gymnasium, G9, Neubearbeitung], 1. Auflage). Berlin: Cornelsen.
- Burde, J.-P. (2018). *Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells*. Logos Verlag Berlin. <https://doi.org/10.30819/4726>
- Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2021). Unterrichtskonzeptionen zu elektrischen Stromkreisen. In T. Wilhelm, H. Schecker & M. Hopf (Hrsg.), *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht* (S. 231–277). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293–332. Zugriff am 01.10.2021. Verfügbar unter: <https://ro.uow.edu.au/edupapers/128>
- Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F. & Mocerino, M. (2007). The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 293–307. <https://doi.org/10.1039/B7RP90006F>
- Cohen, J. (1968). Weighted kappa: nominal scale agreement with provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin*, 70(4), 213–220. <https://doi.org/10.1037/h0026256>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cohen, J. (2013). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Hoboken: Taylor and Francis.
- Coletta, V. P. & Steinert, J. J. (2020). Why normalized gain should continue to be used in analyzing preinstruction and postinstruction scores on concept inventories. *Physical Review Physics Education Research*, 16(1), 90. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010108>
- Connelly, M. P. (2005). *How to make a movie with a very, very, low budget. A guide to making an independent film on a shoestring budget* (2nd ed.). Los Angeles: Uniconn Books.
- Cooper, G. (1990). Cognitive load theory as an aid for instructional design. *Australian Journal of Educational Technology*, 6(2). <https://doi.org/10.14742/ajet.2322>

- Csikszentmihalyi, M. (1985). *Das flow-Erlebnis. Jenseits von Angst und Langeweile ; im Tun aufgehen* (Konzepte der Humanwissenschaften Psychologie). Stuttgart: Klett-Cotta. Zugriff am 07.07.2022. Verfügbar unter: <http://swbplus.bsz-bw.de/bsz010088059cov.htm>
- Dauven, M. (2020). *Dorn / Bader Physik SI - Aktuelle allgemeine Ausgabe. Schülerband 2* (Gymnasium, [Nordrhein-Westfalen, Schleswig-Holstein, G9], Druck A). Braunschweig: Westermann.
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M. & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction – a Framework for Improving Teaching and Learning Science. In D. Jorde & J. Dillon (Hrsg.), *Science Education Research and Practice in Europe: Retrosspective and Prospective* (S. 13–37). Rotterdam: Sense-Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2
- Duit, R., Häußler, P. & Kircher, E. (1981). *Unterrichtsrict Physik. Köln: Aulis.*
- Field, A. (2016). *An adventure in statistics. The reality enigma* (SAGE edge). Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC, Melbourne: SAGE.
- Findeisen, S., Horn, S. & Seifried, J. (2019). Lernen durch Videos – Empirische Befunde zur Gestaltung von Erklärvideos. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 16–36. <https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2019.10.01.X>
- Finkenberg, F. (2018). *Flipped Classroom im Physikunterricht* (Studien zum Physik- und Chemielernen).
- Fiorella, L. & Mayer, R. E. (2018). What works and doesn't work with instructional video. *Computers in Human Behavior*, 89, 465–470. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.07.015>
- Flesch, R. (1948). A new readability yardstick. *Journal of Applied Psychology*, 32(3), 221–233. <https://doi.org/10.1037/h0057532>
- Frailon, J., Schulz, W. & Ainley, J. (2013). *International Computer and Information Literacy Study. Assessment framework*. Amsterdam: International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA). Zugriff am 04.07.2022. Verfügbar unter https://www.iea.nl/sites/default/files/2019-04/ICILS_2013_Framework.pdf
- Frei, M., Asen-Molz, K., Hilbert, S., Schilcher, A. & Krauss, S. (2020). Die Wirksamkeit von Erklärvideos im Rahmen der Methode Flipped Classroom. In K. Kaspar, M. Becker-Mrotzek, S. Hofhues, J. König & D. Schmeinck (Hrsg.), *Bildung, Schule, Digitalisierung*. Münster: Waxmann.
- Gilardi, M., Holroyd, P., Brownbridge, C., Waten, P. & Obrist, M. *Design Fiction Film-Making: A Pipeline for Communicating Experiences*.
- Girwidz, R. (2014). Neue Medien und Multimedia. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 3. Aufl., S. 401–427). Berlin: Springer Spektrum.

- Härtel, H.. *Der so-genannte einfache elektrische Stromkreis. Oberflächenladungen und Übergangsprozesse als wichtige Bestandteile des elektrischen Stromkreises*, Universität Kiel. Zugriff am 15.05.2022. Verfügbar unter: <http://www1.astrophysik.uni-kiel.de/~hhaertel/CLOC/Stromkreis/pdf/Stromkreis.pdf>
- Hattie, J. (2018). *Lernen sichtbar machen für Lehrpersonen* (4., unveränderte Auflage). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren GmbH.
- Heinz, R. (2004). *Grundlagen der Lichterzeugung. Von der Glühlampe bis zum Laser* (1. Aufl.). Rüthen: Highlight Verl.-Ges.
- Helmke, A. (2021). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts* (Schule weiterentwickeln, Unterricht verbessern Orientierungsband, Aktualisierte 8. Auflage berücksichtigt die Hattie-Studien). Hannover: Klett / Kallmeyer.
- Herzig, B. (2014). *Wie wirksam sind digitale Medien im Unterricht?* Bielefeld: Bertelsmann Stiftung. Zugriff am 01.04.2022. Verfügbar unter: http://www.digitalisierung-bildung.de/wp-content/uploads/2014/11/DigitaleMedienUnterricht_final.pdf
- Hrastinski, S. (2019). What Do We Mean by Blended Learning? *TechTrends*, 63(5), 564–569. <https://doi.org/10.1007/s11528-019-00375-5>
- Hucke, L. (2000). *Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums* (Studien zum Physikalischen Lernen, Bd. 8). Zugl.: Dortmund, Univ., Diss., 1999. Berlin: Logos-Verl.
- Jebe, F., Konietzko, S., Lichtschlag, M. & Liebau, E. (2019). *Studie: "Jugend/YouTube/Kulturelle Bildung. Horizont 2019*. Essen: Rat für Kulturelle Bildung e. V. Zugriff am 04.07.2022. Verfügbar unter: https://www.rat-kulturelle-bildung.de/fileadmin/user_upload/pdf/Studie_YouTube_Webversion_final.pdf
- Kay, R. (2012). Exploring the use of video podcasts in education: A comprehensive review of the literature. *Computers in Human Behavior*, 28(3), 820–831. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2012.01.011>
- Kind, C. & Ottersbach, T. (2016). *Flesch Reading Ease*, Pagerangers. Zugriff am 20.06.2022. Verfügbar unter: <https://pagerangers.com/glossar/flesch-reading-ease/>
- Kircher, E. (2014). Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 3. Aufl., S. 101–134). Berlin: Springer Spektrum.
- Klafki, W. (1964). *Das pädagogische Problem des Elementaren und die Theorie der kategorialen Bildung*. Weinheim: Beltz.
- Köhne, S. (2006). *Didaktischer Ansatz für das Blended Learning: Konzeption und Anwendung von Educational Patterns*. Hohenheim. Zugriff am 04.07.2022. Verfügbar unter: <http://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2006/123>

- Krabbe, H., Zander, S. [Simone] & Fischer, H. E. (2015). *Lernprozessorientierte Gestaltung von Physikunterricht. Materialien zur Lehrerfortbildung* (Ganz In). Münster, New York: Waxmann.
- Kulgemeyer, C. (2018a). A Framework of Effective Science Explanation Videos Informed by Criteria for Instructional Explanations. *Research in Science Education*, 26(1), 435. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9787-7>
- Kulgemeyer, C. (2018b). Wie gut erklären Erklärvideos? Ein Bewertungs-Leitfaden. *Computer + Unterricht*, 8–11.
- Kulgemeyer, C. (2019). Towards a framework for effective instructional explanations in science teaching. *Studies in Science Education*, 54(2), 109–139. <https://doi.org/10.1080/03057267.2018.1598054>
- Kulgemeyer, C. (2020). Erklären im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik | Grundlagen* (S. 403–426). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2_11
- Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2009). Kommunikationskompetenz in der Physik: Zur Entwicklung eines domänenspezifischen Kompetenzbegriffs. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 131–153.
- Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2013). Students Explaining Science—Assessment of Science Communication Competence. *Research in Science Education*, 43(6), 2235–2256. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9354-1>
- Kulgemeyer, C. & Tomczyszyn, E. (2015). Physik erklären - Messung der Erklärensfähigkeit angehender Physiklehrkräfte in einer simulierten Unterrichtssituation. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21(1), 111–126. <https://doi.org/10.1007/s40573-015-0029-5>
- Kulgemeyer, C. & Wittwer, J. (2022). Misconceptions in Physics Explainer Videos and the Illusion of Understanding: an Experimental Study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10763-022-10265-7>
- Kulgemeyer, C. & Wolf, K. D. (2016). Lernen mit Videos? Erklärvideos im Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 27(152), 36–41.
- Laaser, W. & Toloza, E. A. (2017). The Changing Role of the Educational Video in Higher Distance Education. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 18(2). <https://doi.org/10.19173/irrodl.v18i2.3067>
- Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Leisen, J. (2017). *Handbuch Fortbildung Sprachförderung im Fach. Sprachsensibler Fachunterricht in der Praxis* (1. Auflage). Stuttgart: Ernst Klett Sprachen.
- Lenhard, W. & Lenhard, A. (2011). *Berechnung des Lesbarkeitsindex LIX nach Björnson*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1512.3447>

- Leutner, D., Opfermann, M. & Schmeck, A. (2014). Lernen mit Medien. In T. Seidel & A. Krapp (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Mit Online-Materialien* (Psychologie 2014, 6., vollständig bearb. Aufl., S. 297–322). Weinheim: Julius Beltz.
- Lo, C. K. & Hew, K. F. (2017). A critical review of flipped classroom challenges in K-12 education: possible solutions and recommendations for future research. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 12(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s41039-016-0044-2>
- Lo, C. K., Hew, K. F. & Chen, G. (2017). Toward a set of design principles for mathematics flipped classrooms: A synthesis of research in mathematics education. *Educational Research Review*, 22, 50–73. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.08.002>
- Maier-Richter, A. (2005). *Computerunterstütztes Lernen mit Lösungsbeispielen in der Chemie. Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Löslichkeit* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 47). Zugl.: Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2005. Berlin: Logos-Verl.
- Mandl, H. & Aemilian, H. (1989). Psychologische Aspekte des Lernens mit dem Computer. <https://doi.org/10.25656/01:14531>
- Mayer, R. E. (2007). Research-Based Guidelines for Multimedia Instruction. *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, 3(1), 127–147. <https://doi.org/10.1518/155723408X299861>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. *JIM-Studie 2019. Jugend, Information, Medien*. Basisuntersuchung zum Thema Medienumgang 12- bis 19-Jähriger. Stuttgart: MPFS. Zugriff am 04.04.2022. Verfügbar unter: https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2019/JIM_2019.pdf
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. (2016). *JIM-Studie 2016. Jugend, Information, (Multi-) Media*. Basisuntersuchung zum Thema Medienumgang 12- bis 19-Jähriger. Stuttgart: MPFS. Zugriff am 19.02.2019. Verfügbar unter: https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM_Studie_2016.pdf
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. (2017). *JIM 2017. Jugend, Information, (Multi-) Media*. Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger. Stuttgart: MPFS. Zugriff am 15.02.2019. Verfügbar unter: https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2017/JIM_2017.pdf
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. (2018). *JIM-Studie 2018. Jugend, Information, Medien*. Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-jähriger. Stuttgart: MPFS. Zugriff am 18.02.2019. Verfügbar unter: https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2018/Studie/JIM_2018_Gesamt.pdf
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. (2020a). *JIMPlus 2020. Lernen und Freizeit in der Corona-Krise*, Landesanstalt für Kommunikation Baden-

- Württemberg. Zugriff am 01.10.2020. Verfügbar unter: https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/JIMplus_2020/JIMplus_2020_Corona.pdf
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. (2020b). *Jim-Studie 2020. Jugend, Information, Medien*. Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger. Stuttgart: MPFS.
- Meinhardt, C., Rabe, T. & Krey, O. (2018). Formulierung eines evidenzbasierten Validitätsarguments am Beispiel der Erfassung physikdidaktischer Selbstwirksamkeitserwartungen mit einem neu entwickelten Instrument. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 131–150. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0079-6>
- Merkt, M., Ballmann, A., Felfeli, J. & Schwan, S. (2018). Pauses in educational videos: Testing the transience explanation against the structuring explanation. *Computers in Human Behavior*, 89, 399–410. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.01.013>
- Merten, K. (1995). Konstruktivismus als Theorie für die Kommunikationswissenschaft. *MedienJournal*, 19(4), 3–20. <https://doi.org/10.24989/medienjournal.v19i4.619>
- Meyer, H. (2021). *Was ist guter Unterricht?* (15. Auflage). Berlin: Cornelsen.
- Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2019). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I - Gymnasium in Nordrhein-Westfalen - Physik* (Schriftenreihe "Schule in NRW", Bd. 3411, 1. Aufl.). Düsseldorf. Zugriff am 03.03.2022. Verfügbar unter: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/208/g9_ph_klp_%203411_2019_06_23.pdf
- Minnameier, G., Hermkes, R. & Mach, H. (2015). Kognitive Aktivierung und Konstruktive Unterstützung als Prozessqualitäten des Lehrens und Lernens. <https://doi.org/10.25656/01:15429>
- Muckenfuß, H. (1991). Die Elementarisierung des Spannungsbegriffs. Neue Möglichkeiten durch den Einsatz handgetriebener Generatoren. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 2(6), 32–40.
- Nielsen, W. & Hoban, G. (2015). Designing a digital teaching resource to explain phases of the moon: A case study of preservice elementary teachers making a slowmotion. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(9), 1207–1233. <https://doi.org/10.1002/tea.21242>
- Ogborn, J., Kress, G., Martins, I. & McGillicuddy, K. (2008). *Explaining science in the classroom* (Repr). Buckingham: Open University Press.
- Oser, F. & Patry, J.-L. (1994). *Choreographien unterrichtlichen Lernens. Zweiter Zwischenbericht an den Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung*. Freiburg, Schweiz: Pädag. Inst. der Univ. Freiburg.
- Paivio, A. (1990). *Mental representations. A dual coding approach* (Oxford psychology series, vol. 9). Oxford, New York, Toronto, Oxford: Oxford University Press; Clarendon Press.

- Persike, M. & Friedrich, J.-D. (2016). *Lernen mit digitalen Medien aus Studierendenperspektive. Arbeitspapier Nr. 17*. Berlin: Hochschulforum Digitalisierung.
- PhET Interactive Simulations. (2021). *Circuit Construction Kit: DC - Virtual Lab*, University of Colorado Boulder. Zugriff am 12.07.2021. Verfügbar unter: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_en.html
- Plag, F. & Riempp, R. (2006). *Interaktives Video im Internet mit Flash. Konzeption und Produktion von Videos für das WWW* (X.media.press). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Zugriff am 10.07.2022. Verfügbar unter: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflucht-1597938>
- Prisma Physik*. (2012). Stuttgart, Leipzig: Klett.
- Reinhold, P. (2010). Den Physikunterricht fundieren. Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion. In H. F. Mikelskis (Hrsg.), *Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (2. Aufl., S. 86–119). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Rost, D. H. (2013). *Interpretation und Bewertung pädagogisch-psychologischer Studien. Eine Einführung* (UTB Erziehungswissenschaften, Psychologie, Bd. 8518, 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Rost, J. (1997). Theorien menschlichen Umwelthandelns. In G. Michelsen, L. Wohlers, M. Adomßent, M. Schwarz & D. (Mandl (Hrsg.), *Umweltberatung. Grundlagen und Praxis* (S. 55–62). Bonn: Economica Verlag.
- Rummler, K. & Wolf, K. D. (2012). Lernen mit geteilten Videos: aktuelle Ergebnisse zur Nutzung, Produktion und Publikation von Onlinevideos durch Jugendliche. In W. Sützl, F. Stalder, R. Maier & T. Hug (Hrsg.), *Media, Knowledge And Education: Cultures and Ethics of Sharing* (S. 253–266). s.l.: innsbruck university press. Zugriff am 22.06.2022. Verfügbar unter: <http://www.oapen.org/download?type=document&docid=503824#page=254>
- Rusch, G. (1999). Eine Kommunikationstheorie für kognitive Systeme. In G. Rusch & S. Schmidt (Hrsg.), *Konstruktivismus in der Medien- und Kommunikationswissenschaft* (S. 150–184). Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Schanze, S. & Girwidz, R. (2018). Lernen mit digitalen Medien. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (Bd. 255, S. 177–192). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_11
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (Hrsg.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2>
- Scheiter, K. & Gogolin, I. (2021). Editorial: Bildung für eine digitale Zukunft. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft : ZfE*, 1–5. <https://doi.org/10.1007/s11618-021-01049-w>

- Schmidt-McCormack, J. A., Muniz, M. N., Keuter, E. C., Shaw, S. K. & Cole, R. S. (2017). Design and implementation of instructional videos for upper-division undergraduate laboratory courses. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 749–762. <https://doi.org/10.1039/C7RP00078B>
- Schön, S. & Ebner, M. (2013). *Gute Lernvideos. ... so gelingen Web-Videos zum Lernen!* Norderstedt: Books on Demand.
- Schreiber, N. (2012). *Diagnostik experimenteller Kompetenz. Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 139). Zugl.: Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2012. Berlin: Logos-Verl.
- Schreiber, N., Theyßen, H. & Schecker, H. (2014). Diagnostik experimenteller Kompetenz: Kann man Realexperimente durch Simulationen ersetzen? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20(1), 161–173. <https://doi.org/10.1007/s40573-014-0017-1>
- Schwartz, M. (2014). Khan Academy: The Illusion of Understanding. *Online Learning*, 17(4). <https://doi.org/10.24059/olj.v17i4.364>
- Sekretariat der Kultusministerkonferenz. (2016). *Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz*. Berlin: Sekretariat der Kultusministerkonferenz.
- Sekretariat der Kultusministerkonferenz. (2018). *Gemeinsame Erklärung der Kultusministerkonferenz und des Verbandes Bildungsmedien e.V. zur Zukunft der Bildungsmedien vom 14.06.2018*. Berlin: Sekretariat der Kultusministerkonferenz.
- Sekretariat der Kultusministerkonferenz. (2019). *Empfehlungen zur Digitalisierung in der Hochschullehre. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 14.03.2019*. Berlin, Bonn. Zugriff am 01.04.2022. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2019/BS_190314_Empfehlungen_Digitalisierung_Hochschullehre.pdf
- Senkbeil, M. (2004). *Typen der Computernutzung. Identifizierung einer Schülertypologie und ihre Bedeutung für das Lernen* (Forschungen zur Fachdidaktik, Bd. 5). Zugl.: Kiel, Univ., Diss., 2003 u.d.T.: Senkbeil, Martin: Die Bedeutung interindividueller Unterschiede in der Computernutzung für die computervermittelten Wissenserwerb. Innsbruck: StudienVerl.
- Simonsmeier, B. A., Flaig, M., Deiglmayr, A., Schalk, L. & Schneider, M. (2021). Prior knowledge and learning: A meta-analysis. *Educational Psychologist*. <https://doi.org/10.1080/00461520.2021.1939700>
- Singleton, R. & Charlton, A. (2019). Creating H5P content for active learning. *Pacific Journal of Technology Enhanced Learning*, 2(1), 13–14. <https://doi.org/10.24135/pjtel.v2i1.32>
- Ständige wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz. (2021). *Stellungnahme zur Weiterentwicklung der KMK-Strategie "Bildung in der digitalen Welt"*. Bonn, Berlin: Sekretariat der Kultusministerkonferenz. Zugriff am 28.10.2021. Verfügbar unter:

- https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/KMK/StaewiKo/2021/2021_10_07-SWK_Weiterentwicklung_Digital-Strategie.pdf
- Sterzing, F., Kulgemeyer, C. & Reinhold, P. (2022). Untersuchung zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos. In S. Habig & H. von Vorst (Hrsg.), *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Virtuelle Jahrestagung 2021* (S. 120–123). Essen: Universität Duisburg-Essen.
- Sterzing, F., Szabone Varnai, A. & Reinhold, P. (2021). Theoriebasierte Gestaltung & Validierung der Qualität von Erklärvideos. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Online Jahrestagung 2020. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Online Jahrestagung 2020* (S. 113–116). Essen: Universität Duisburg-Essen.
- Streiner, D. L. (2003). Starting at the beginning: an introduction to coefficient alpha and internal consistency. *Journal of Personality Assessment*, 80(1), 99–103. https://doi.org/10.1207/S15327752JPA8001_18
- Szabone Varnai, A., Sterzing, F. & Reinhold, P. (2020). Motive und Verhalten bei der Nutzung von Erklärvideos. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Wien 2019* (S. 298–301). Essen: Universität Duisburg-Essen.
- Tesch, M. & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht - Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 51–69. Zugriff am 30.04.2022. Verfügbar unter: ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/zfdn/2004/3.Tesch_Duit_051-070.pdf
- Universität Paderborn. (2017). *Besondere Bestimmungen der Prüfungsordnung für den Bachelor Studiengang Lehramt an Grundschulen mit dem Lernbereich Natur- und Gesellschaftswissenschaft (Fachunterricht) an der Universität Paderborn*.
- Urban-Woldorn, H. & Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 201–227. Zugriff am 01.05.2022. Verfügbar unter: http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/18_Urbahn.pdf
- Van der Meij, H. (2017). Reviews in instructional video. *Computers & Education*, 114, 164–174. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.07.002>
- Van der Meij, H. & van der Meij, J. (2013). Eight Guidelines for the Design of Instructional Videos for Software Training. *Technical Communication*, 60(3), 205–228. Zugriff am 05.07.2022. Verfügbar unter: <https://www.ingentaconnect.com/content/stc/tc/2013/00000060/00000003/art00004>
- Wackermann, R. (2008). *Überprüfung der Wirksamkeit eines Basismodell-Trainings für Physiklehrer* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 75). Zugl.: Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2007. Berlin: Logos Verlag.

- Weiß, L.-F. (2021). *Der Flipped Classroom in der Physik-Lehre* (Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 323). Dissertation.
- Weiß, L.-F. & Friege, G. (2021). The Flipped Classroom: Media Hype or Empirically Based Effectiveness? *Problems of Education in the 21st Century*, 79(2), 312–332. <https://doi.org/10.33225/pec/21.79.312>
- Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (Hrsg.). (2011). *Physikdidaktik kompakt*. Hallbergmoos: Aulis Verlag.
- Wilhelm, T. & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 115–138). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_6
- Wittwer, J. & Renkl, A. (2008). Why Instructional Explanations Often Do Not Work: A Framework for Understanding the Effectiveness of Instructional Explanations. *Educational Psychologist*, 43(1), 49–64. <https://doi.org/10.1080/00461520701756420>
- Wolf, K. D. (2015a). Bildungspotenziale von Erklärvideos und Tutorials auf YouTube. audiovisuelle Enzyklopädie, adressatengerechtes Bildungsfernsehen, Lehr-Lern-Strategien oder partizipative Peer Education. *Merz - Medien + Erziehung*, 1, S. 30–36.
- Wolf, K. D. (2015b). Video-Tutorials und Erklärvideos als Gegenstand, Methode und Ziel der Medien- und Filmbildung. In A. Hartung-Griemberg, T. Ballhausen, C. Trültzsch-Wijnen, A. Barberi & K. Kaiser-Müller (Hrsg.), *Filmbildung im Wandel* (Mediale Impulse, Bd. 2, S. 121–131). Wien: new academic press.
- Zander, S. [Steffi], Behrens, A. & Mehlhorn, S. (2020). Erklärvideos als Format des E-Learnings. In H. M. Niegemann & A. Weinberger (Hrsg.), *Handbuch Bildungstechnologie: Konzeption und Einsatz digitaler Lernumgebungen* (S. 247–258). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54368-9_21

13 Anhangverzeichnis

Anhang 1 – Einverständniserklärung.....	188
Anhang 2 – Skript Erklärvideo höherer Qualität.....	189
Anhang 3 – Storyboard Erklärvideo höherer Qualität.....	192
Anhang 4 – Skript Erklärvideo geringerer Qualität.....	197
Anhang 5 – Test zum deklarativen Handlungswissen.....	200
Anhang 6 – Experimentelle Aufgabe.....	219
Anhang 7 – Konzeptwissenstest	222
Anhang 8 – Interesse- und Nutzungsfragebogen.....	240
Anhang 9 – Expertenvalidierung	243
Anhang 10 – Signifikante Unterschiede der Expertenvalidierung	245
Anhang 11 – Reliabilitätsbestimmung.....	246
Anhang 12 – Ermittlung signifikanter Unterschiede	258
Anhang 13 – Clusteranalysen	282
Anhang 14 – Regressionsmodell	299
Anhang 15 – Regressionsmodell mit Imputation	301
Anhang 16 – Arc Diagramme	306

Sämtliche Dateien, Instrumente, Transkripte, R und SPSS Ergebnisse können unter folgenden Link abgerufen werden:

<https://uni-paderborn.sciebo.de/s/OnSGN1DDqdYBNlh> (zuletzt geprüft am 10.07.2022)

Anhang 1 – Einverständniserklärung

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass ich im Rahmen einer physikalischen Praktikumsveranstaltung an der Universität Paderborn zur Diagnose der Experimentierfähigkeit per Video aufgezeichnet werde. Mir wurde zugesichert, dass keinerlei Personen außer den Mitarbeitern der AG Didaktik der Physik an der Universität Paderborn Zugriff auf die Videoaufnahmen haben. Ebenfalls wurde mir zugesichert, dass geeignete Vorkehrungen gegenüber Zugriffen unbefugter Dritter getroffen wurden.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die pseudonymisierten Daten – die Ergebnisse der Kurztests und Nutzungsverhalten-Fragebogen sowie des Betrachtungsverhalten eines Erklärvideos, im Rahmen eines wissenschaftlichen Projekts weiterverwendet werden dürfen.

Anhang 2 – Skript Erklärvideo höherer Qualität

Wer kennt es nicht aus dem Physikunterricht? Eine Schaltung wird aufgebaut, doch die Lampe leuchtet nur ganz schwach. Der Physik würde sagen, der elektrische Widerstand der Lampe ist zu groß. Die Lampe kann bei der eingestellten Spannung nicht heller leuchten

Doch warum leuchtet eigentlich eine Glühlampe? Was hat die Helligkeit der Lampe mit dem elektrischen Widerstand zu tun und wie misst man den elektrischen Widerstand?

Um diese Fragen zu klären, gucken wir uns erst einmal eine Glühlampe genauer an. In der Glühlampe befindet sich ein dünner aufgewickelter Glühdraht. Jetzt zoomen wir mal so nah an den Draht heran, dass wir hineingucken können.

Wir sehen die feststehenden Atome in einer Gitterstruktur und die Elektronen, die sich kreuz und quer durch den Draht bewegen.

Erst wenn eine Spannungsquelle eingeschaltet wird, fangen die Elektronen gleichzeitig an sich in die gleiche Richtung zu bewegen. Da der Glühdraht sehr eng ist, müssen sich die Elektronen durch diesen quetschen. Daher stoßen sie mit den Atomen im Glühdraht zusammen. Die Atome fangen an hin und her zu schwingen. Der Draht wird dadurch sehr heiß und beginnt zu leuchten. Je stärker die Atome schwingen, desto heller leuchtet die Lampe.

Immer wenn die Elektronen die Atome zum Schwingen bringen, werden sie kurz daran gehindert in ihre ursprüngliche Richtung weiterzufließen. Um diese Zusammenhänge beschreiben zu können, wollen wir nun physikalische Größen nutzen. Die Spannung U einer Spannungsquelle sorgt dafür, dass die Elektronen fließen und gibt auch an wie stark die Elektronen angetrieben werden

Die Anzahl der Elektronen, die in einer gewissen Zeit durch den Draht fließen, nennt man Stromstärke I . Die Hinderung der Elektronen nennt man elektrischen Widerstand. Je größer die Hinderung ist, desto größer ist der Wert des elektrischen Widerstands R . Dass die Lampe nicht heller leuchtet, liegt daran, dass der Elektronenfluss zu stark von den Atomen aufgehalten wird. Die Elektronen können dann die Atome nicht mehr so stark zum Schwingen bringen. Deswegen leuchtet die Lampe nur schwach.

Wie kriege ich es nun hin, dass die Lampe heller leuchtet? Wir müssen den Antrieb, also die Spannung U vergrößern. Damit der Elektronenstrom, also die Stromstärke I größer wird und die Elektronen häufiger und stärker mit den Atomen zusammenstoßen damit diese mehr schwingen.

Dieser Zusammenhang gilt für alle elektronischen Bauteile

Als Formel sieht dieser Zusammenhang so aus. Die Stromstärke I ist gleich der Spannung U geteilt durch den Widerstand R . Eine Spannung U bewirkt eine Stromstärke I und der elektrische Widerstand behindert die Stromstärke I . Dabei gilt, je größer die Spannung U , desto größer ist die Stromstärke, wenn wir den Widerstand nicht verändern. Bei konstanter Spannung gilt somit, je größer der Widerstand R , desto kleiner ist der Strom I .

Am Anfang haben wir gefragt, wie man den Widerstand bestimmen kann. Dafür müssen wir die Formel umstellen. Wir rechnen mal R und teilen durch I . Als Ergebnis erhalten wir $R=U/I$. Mit dieser Formel können wir den Wert des Widerstands berechnen, wenn wir die Werte von Strom und Spannung kennen.

Die Stromstärke messen wir in Ampere und die Spannung in Volt. Die Einheit für den elektrischen Widerstand ist ein Ohm

Jetzt bestimmen wir den Widerstand einer Lampe experimentell. Dafür brauchen wir, neben der Lampe selbst, eine Halterung, eine Spannungsquelle und, um die Spannung und die Stromstärke zu bestimmen, zwei Multimeter und Kabel.

Beim Aufbau unseres Versuchs nehmen wir uns einen Schaltplan zur Hilfe. Die Messung der Stromstärke wird immer in Reihe vorgenommen, das heißt, dass wir das Multimeter in Reihe in den Stromkreis einbauen. So können wir überprüfen wie viele Elektronen pro Zeit durch die Kabel und die Lampe fließen. Es macht keinen Unterschied, ob wir hier oder da im Stromkreis messen. Wir wissen, dass die Elektronen nicht verbraucht werden. Im Modell haben wir gesehen, dass sie nur gehindert werden. Die Spannung misst man immer parallel zu einem Bauteil.

Zunächst müssen wir die Lampe in die Halterung drehen. Davor betrachten wir sie genauer. Auf meiner Lampe steht 7V. Das heißt, dass ich später maximal sieben Volt an meiner Spannungsquelle einschalten darf, um meine Lampe nicht zu zerstören.

Wir legen den Schaltplan in die Mitte des Tisches. Danach platzieren wir die Bauteile so wie sie auf dem Schaltplan zu sehen sind und verbinden diese mit Kabeln. (Bauteile werden mit Kabeln verbunden) In welcher Reihenfolge wir die Bauteile verbinden ist egal, da ein Stromkreis immer als Ganzes betrachtet wird. Für die Messung der Stromstärke verbinden wir die COM-Buchse mit der negativeren Seite der Spannungsquelle und die andere Seite mit zehn Ampere. Für die Messung der Spannung nutzen wir die COM-Buchse für das negativere Signal und die mA/V-Buchse für das positivere Signal. Als Messbereich für die Stromstärken Messung stellen wir zehn Ampere ein. Als Messbereich für die Spannungsmessung stellen wir 20 Volt ein. Wenn wir noch einmal kontrolliert haben, ob alles korrekt nach dem Schaltplan verbunden ist, schalten wir die Spannungsquelle ein.

Wir stellen an der Spannungsquelle jetzt verschiedene Werte ein, dabei dürfen die Spannungen nicht größer als sieben Volt sein. Dann stelle ich die Spannungsquelle auf die erste Stufe 3,5 ein. Ich lese die Messwerte ab. Das wiederhole ich jetzt für die anderen Stufen. Wenn ihr andere Werte messt, ist das nicht schlimm, vielleicht habt ihr eine andere Lampe oder eine andere Spannungsquelle.

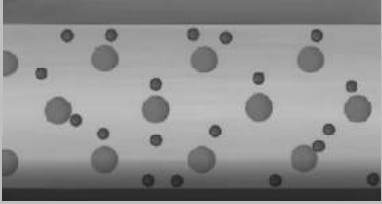
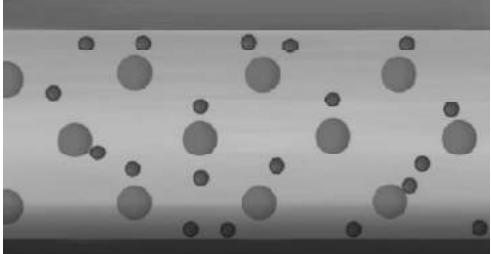
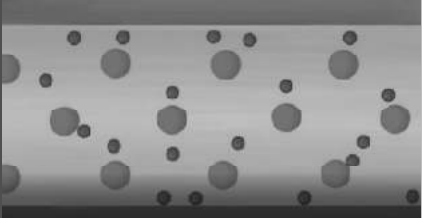
Ich habe die Messwerte in einer Tabelle notiert. Jetzt müssen wir noch den Widerstand der Lampe berechnen. Wir können den Widerstand über R gleich U geteilt durch I berechnen. Dazu setze ich die gemessenen Werte für die Stromstärke I und die Spannung U jeweils in die Formel ein. Ich teile 3,27 Volt durch 0,20 Ampere. Dadurch erhalten wir den Wert des Widerstands der Lampe 16,35 Ohm bei einer Spannung von 3,27 Volt. Das mache ich auch für die anderen Werte. Für eine zweite Messung erhalte

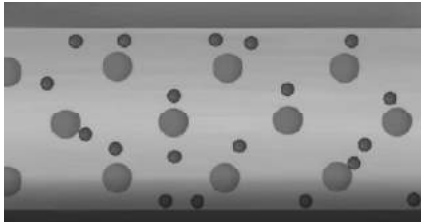
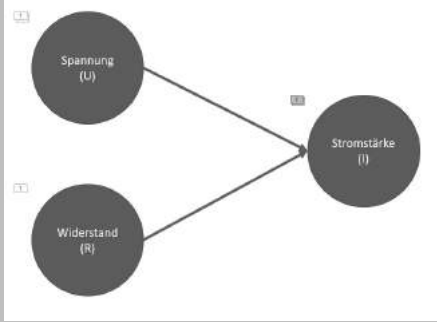
ich einen Widerstand von 18,83 Ohm bei einer Spannung von 4,52 Volt. Die dritte Messung ergibt einen Widerstand von 21,05 Ohm bei einer Spannung von 6,02 Volt.

Für Glühlampen gilt, dass der Widerstand nicht bei jeder Spannung gleich ist. Es gibt aber andere Bauteile, für die der Widerstand bei jeder Spannung gleich ist.

Ihr habt in diesem Video gelernt, warum eine Lampe leuchtet, was der elektrische Widerstand ist und wie man ihn bestimmt. Die Elektronen sorgen dafür, dass die Atome schwingen und die Lampe leuchtet. Der Widerstand behindert den Strom. Wenn du den Widerstand einer Lampe oder eines anderen Bauteils bestimmen möchtest, musst du messen, wie groß die Stromstärke bei einer bestimmten Spannung ist und kannst dann den Widerstand ausrechnen. Versucht doch im Physikunterricht selbst einmal den Widerstand einer Lampe zu bestimmen.

Anhang 3 – Storyboard Erklärvideo höherer Qualität

Thema	Text	Bilder
Motivation, Bekannte Situation	Wer kennt es nicht aus dem Physikunterricht: Eine Schaltung wird aufgebaut, doch die Lampe leuchtet nur ganz schwach. Der Physiker würde sagen: Der elektrische Widerstand der Lampe ist zu groß, um bei der eingestellten Spannung heller zu leuchten. Doch was ist eigentlich der el. Widerstand und wie kann man ihn bestimmen? Um diese Frage zu klären gucken wir uns erst einmal einen Draht genauer an: Wir zoomen mal so nah an den Draht heran, dass wir hineingucken können (<i>selbstentwickelte Animation</i>).	 (Dummy Abbildung, nur Design übernehmen)  (Beschriftung Einfügen!)
Beschreiben des Modells, Stromstärke und Spannung	Wir sehen die feststehenden Atome und Elektronen, die sich kreuz und quer frei durch den Draht bewegen (<i>Animation hinzufügen</i>). Erst wenn die Spannungsquelle eingeschaltet wird (<i>Einschalten der Spannungsquelle in kleinem Fenster einblenden</i>), fangen alle Elektronen gleichzeitig an, in die gleiche Richtung zu strömen. Die Spannung ist also der Antrieb für einen Elektronenfluss. Diesen Elektronenfluss nennt man Strom. Die Stärke des Stroms kann man sich so vorstellen: Wir können zählen, wie viele Elektronen an einer bestimmten Stelle in einer bestimmten Zeit vorbeikommen (<i>In Animation einfügen! Linie und Anzahl der Elektronen</i>). Dies nennt man Stromstärke.	 (Zufällige Bewegung, dann gerichtete Bewegung, Elektronen zählen einfügen)
Beschreiben des Modells, Widerstand	Hast du schon bemerkt, dass immer mal wieder Elektronen mit den Atomen zusammenstoßen und erst einmal nicht in Stromrichtung weiterfließen? Die Stärke der Hinderung des Stroms nennt man elektrischer Widerstand. Je größer diese Hinderung ist, desto größer ist der elektrische Widerstand. Der elektrische Widerstand hindert also den Strom daran zu fließen. In der Alltagssprache redet man von „Verbrauchern“, aber du siehst ja hier, das ist nicht richtig. Eigentlich behindert der Widerstand nur den Strom. Es gehen keine Elektronen verloren, sie brauchen	 (Highlight Kollisionen)

Thema	Text	Bilder
	nur etwas länger, um durch den Draht zu kommen. Sie werden nicht verbraucht!	
Aufgreifen der Einstiegssituation	Nachdem wir jetzt wissen was der Widerstand ist und wie dieser den Strom behindert stellt sich noch die Frage: Warum leuchtet jetzt eine Glühlampe? In der Glühlampe befindet sich ein dünner, aufgewickelter Glühdraht (<i>Animation</i>). Wird an den Glühdraht eine Spannung angelegt, fangen die Elektronen an, durch den Glühdraht zu strömen. Da dieser sehr eng ist, müssen sich die Elektronen durch den Glühdraht „quetschen“. In der Folge stoßen sie häufig mit den Atomen im Glühdraht zusammen. Die Atome fangen deshalb an, stärker hin- und herzuschwingen. Der Draht wird dadurch sehr heiß und fängt an, Licht abzustrahlen. Am Anfang habe ich euch gezeigt, dass eine Lampe auch schwach leuchten kann, das liegt dann daran, dass der elektrische Widerstand im Glühdraht den Elektronenfluss so sehr behindert, dass die Elektronen die Atome nur ein kleines bisschen zum Schwingen bringen können. Wir müssten also den Antrieb vergrößern, damit der Elektronenstrom größer wird und die Elektronen häufiger und stärker mit den Atomen zusammenstoßen, damit diese mehr schwingen.	 (ANIMATION FEHLT NOCH!, Wie vorher nur enger, Atomrümpfe werden zum Schwingen angeregt, Elektronen sind schneller, Geschwindigkeit noch erhöhen, keine roten Ränder!)
Abstraktion	Wenn wir das Ganze zusammenfassen, kann man sagen: Das eine Spannung einen Strom bewirkt und der elektrische Widerstand diesen Strom behindert. Dabei gilt, je größer die Spannung ist, desto größer ist der Strom und bei konstanter Spannung je größer der Widerstand ist, desto kleiner ist der Strom (<i>visualisieren</i>). Wir können auch berechnen wie Strom, Spannung und Widerstand zusammenhängen. Schreibt man die Überlegungen zu den drei Größen als Formel aus so sieht sie so aus: $I = \frac{U}{R}$. Auch hier gilt wieder: Die Spannung bewirkt einen Strom und der Widerstand behindert diesen Strom. Wir wollen jetzt noch diese Formel für die Bestimmung des Widerstandes nutzen: Dafür müssen wir sie umstellen: Wir rechnen mal R und teilen durch I. Als Ergebnis erhalten wir: $R = \frac{U}{I}$. In der Physik erhält jede Größe eine Einheit. Für den elektrischen Widerstand ist diese Einheit 1 Ohm oder 1 Ω. Zur Erinnerung: Die Stromstärke messen wir in Ampere oder A und die Spannung in Volt oder V.	 (Animation wird größer und kleiner mit je desto Sätzen, Beschriftung der Pfeile ist entfernt) Umformung auf Tablet zeigen.

Thema	Text	Bilder
	Man braucht also einen gewissen Antrieb, um ein bestimmtes Hindernis zu überwinden. Dieser Zusammenhang gilt nicht nur für Glühlampen, sondern auch für Elektromotoren und andere Bauteile. Am Anfang des Videos habe ich gesagt, dass wir den Widerstand einer Lampe auch bestimmen wollen. Das machen wir jetzt!	
Vorstellen der Messung, Aufbau	Um den Widerstand einer Lampe zu bestimmen brauchen wir neben der Lampe selbst eine Spannungsquelle, Kabel und zwei Multimeter (<i>Einblenden</i>). Beim Aufbau unseres Versuchs kann uns ein Schaltplan helfen. Diesen legen wir in die Mitte des Tisches und platzieren die verschiedenen Bauteile an ihrer richtigen Position (<i>Aufbau Schrittweise in Zeitraffer zeigen</i>). In welcher Reihenfolge wir die Bauteile verbinden, ist egal, da ein Stromkreis immer als Gesamtbild betrachtet wird. Es macht also keinen Unterschied auf welcher Seite der Lampe wir Strom und Spannung messen! (<i>Alternative einblenden</i>)	 (Dummy Abbildung, nur Design übernehmen)
Aufbau	Wenn wir die Multimeter anschließen ist es wichtig, dass wir auf folgendes achten: Das negativere Signal kommt in die COM-Buchse, das positivere entweder in die mA/V oder A Buchse (<i>Zoom auf Multimeter mit „Highlighting“</i>) (<i>Zoom auf Amperemeter</i>) Die Stromstärken Messung wird immer in Reihe vorgenommen! Das heißt, dass wir das Multimeter direkt in den Stromkreis einbauen. So können wir überprüfen, wie viel Elektronen pro Zeit durch die Kabel und die Lampe fließen. Wir verbinden die COM-Buchse mit der negativeren Seite und die andere Seite mit 10 A. Wir stellen als Messbereich 10 A ein (<i>Messbereich im Bild als Highlight</i>). (<i>Zoom auf Voltmeter</i>) Die Spannungsmessung wird immer parallel zu einem Bauteil vorgenommen, weil wir nur so feststellen können, wie groß der Antrieb für die Elektronen ist. Die richtige Verbindung siehst du im Video. Als Messbereich stellen wir XX V ein.	

Thema	Text	Bilder
Durchführung	Als nächstes müssen wir die Lampe in die Halterung drehen. Auf der Lampe siehst du eine kleine Zahl. Auf meiner Lampe steht „6 V“ (<i>Makro Aufnahme der Lampe mit Pfeil auf 6 V</i>), das heißt, dass ich später maximal 6 V an meiner Spannungsquelle einstellen darf, ohne die Lampe zu zerstören. Wenn wir noch einmal kontrolliert haben, ob alles korrekt verbunden ist, schalten wir die Spannungsquelle ein. Wir stellen an der Spannungsquelle jetzt alle Werte bis zum für die Lampe maximal möglichen 6 V ein. Wenn die Werte ein bisschen schwanken, so wie bei mir, müsst ihr den Wert auswählen, der am häufigsten angezeigt wird. Bei mir sind es also eine Spannung von XX V und eine Stromstärke von XX A (<i>Werte auf Tablet notieren</i>). Das wiederhole ich jetzt für X V, X V und X V. Wenn ihr andere Werte messt ist das nicht schlimm. Vielleicht habt ihr ja eine andere Lampe?	 (Dummy Abbildung, nur Design übernehmen)
Auswertung und Rückbezug auf Konzept	Jetzt müssen wir noch den Widerstand der Lampe berechnen. erinnert ihr euch noch an das was ich am Anfang gesagt habe? Die Stromstärke entspricht $R = \frac{U}{I}$ (<i>Einblenden wie im ersten Teil</i>). Wir wollen nun R ausrechnen und wissen schon was U und I sind. Ich habe euch am vor dem Experiment gezeigt, wie man den Widerstand ausrechnet (Einblenden) Das machen wir jetzt: Wir setzen die gemessenen Werte für die Stromstärke I und die Spannung U jeweils in die Formel ein und teilen Die Spannung durch die Stromstärke. Dadurch erhalten wir den el. Widerstand der Lampe bei einer bestimmten Spannung. Ich habe das für meine Messwerte einmal in die Tabelle eingetragen. In meinem Fall hat die Lampe einen Widerstand von XX Ω bei einer Spannung von XX V und Lampe einen Widerstand von XX Ω bei einer Spannung von XX V. Die restlichen Werte Trage ich in meine Tabelle ein. Wir können dabei, dass erkennen, was ich vorhin schon gesagt habe: Je höher die Spannung, desto größer ist der Widerstand und je höher der Widerstand, desto kleiner ist die Stromstärke.	 Umstellen auf Tablet: (Dummy Abbildung, nur Design übernehmen)

Thema	Text	Bilder
Zusammenfassung	Ihr habt in diesem Video also gelernt, was der Widerstand ist und wie man ihn bestimmt: Der Widerstand behindert den Strom und die Spannung ist der Antrieb für einen Strom. Wenn du den Widerstand einer Lampe oder eines beliebigen anderen Bauteils bestimmen möchtest, musst du messen wie groß die Stromstärke bei einer bestimmten Spannung ist und kannst dann den Widerstand ausrechnen. Außerdem können wir erklären warum eine Lampe manchmal nur sehr schwach leuchtet. Versucht doch im Physikunterricht selbst einmal den Widerstand einer Lampe zu bestimmen!	 (Dummy Abbildung, nur Design übernehmen)

Anhang 4 – Skript Erklärvideo geringerer Qualität

Eine Schaltung wird aufgebaut, doch die Lampe leuchtet nur ganz schwach. Doch warum leuchtet eigentlich eine Glühlampe? Was hat die Helligkeit der Lampe mit dem elektrischen Widerstand zu tun und wie genau misst man den elektrischen Widerstand? Dazu müssen wir uns einmal die Lampe genauer anschauen. (Kamera zoomt auf den Glühdraht)

Im Draht befinden sich Elektronen unter ständiger Bewegung. Wenn nun die Spannungsquelle, mit der die Lampe in einem Stromkreis verbunden ist, eingeschaltet wird, passiert folgendes, die Elektronen fließen mit einer Geschwindigkeit v .

Es bildet sich ein Elektronenfluss aus und die Elektronen bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von circa $10^{(-4)}$ m/s fort.

Im Glühdraht stoßen die Elektronen häufig mit den Atomrümpfen zusammen. Die Atomrümpfe werden von den Elektronen zum Schwingen angeregt. Je größer die Anregung ist, desto größer ist die Auslenkung der Schwingung und der Draht wird sehr heiß. Dadurch emittiert der Draht Licht.

Das Leuchten einer Glühlampe ist ein gutes Beispiel für eine Schwarzkörperstrahlung. Neuere Beleuchtungsmittel, wie LEDs und Neonröhren eignen sich dafür nicht, da sie auf eine ganz andere Art und Weise Licht erzeugen.

Wenn eine Glühlampe nun sehr dunkel leuchtet, liegt es daran, dass die Atomrümpfe nicht genügend angeregt wurden.

Die Spannung U einer Spannungsquelle sorgt dafür, dass die Elektronen fließen und gibt auch an wie stark die Elektronen angetrieben werden. Die Stromstärke entspricht dem Quotienten aus ΔQ , der Anzahl der Ladungsträger und Δt , der Zeitdifferenz, in der diese Ladungsträger durch einen bestimmten Querschnitt A eines Leiters fließen. Elektronen können mit den Atomrümpfen kollidieren. Dadurch strömen die Elektronen kurzzeitig nicht mehr in Richtung der Stromrichtung und die Stromstärke wird abgeschwächt, dies nennt man Widerstand R . Der Widerstand ist abhängig von der Größe ρ , dies ist eine Materialkonstante. In der Alltagssprache redet man von Verbrauchern.

Dass die Lampe nicht heller leuchtet, liegt daran, dass der Elektronenfluss zu stark von den Atomrümpfen aufgehalten wird. Die Elektronen können dann die Atome nicht mehr so stark zum Schwingen bringen. Deswegen leuchtet die Lampe nur schwach. Damit die Elektronen die Atomrümpfe häufiger und stärker schwingen lassen, muss die Spannung vergrößert werden. Dadurch würde sich der Draht stärker erhitzen und nach dem Strahlungsgesetz stärker leuchten. Bei der Vergrößerung der Spannung ist dabei jedoch stets auf die Belastungsgrenzen der Glühlampe zu achten.

Wenn wir den Widerstand mit mathematischen Zusammenhängen beschreiben wollen, kann man schreiben, I ist gleich U geteilt durch R . Es kann also gesagt werden, dass die Stromstärke I proportional mit der Spannung U und antiproportional mit dem Widerstand R zusammenhängt. Der Widerstand ist in dieser Formel der Gegner der Spannung. Man

kann die Formeln auch umstellen. Dann gilt, der Widerstand kann als R gleich U geteilt durch I ausgedrückt werden. Auch die Spannung können wir so bestimmen, U ist gleich R mal I .

In der Physik erhält jede Größe eine Einheit. Für den Widerstand ist diese Einheit ein Ohm oder in anderen Einheiten ausgedrückt Volt durch Ampere. Das Zeichen für Ohm ist das große Omega. Die Einheit der Spannung ist Volt. Die Einheit der Stromstärke ist Ampere.

Nun wird der Widerstand einer Lampe experimentell bestimmt. Dazu werden neben der Lampe selbst eine Halterung, eine Spannungsquelle, zwei Multimeter und einige Kabel benötigt.

Der Aufbau des Versuchs wird nach einem Schaltplan vorgenommen. Die Messung der Stromstärke wird immer in Reihe vorgenommen. Das heißt, dass das Multimeter in Reihe in den Stromkreis eingebaut wird. Die Spannung misst man immer parallel zu einem Bauteil.

Zunächst wird die Lampe in die Halterung gedreht, um nicht die Leistungsgrenze der Lampe zu überschreiten, dürfen später nicht mehr als sieben Volt eingestellt werden.

Für die Messung der Stromstärke wird die COM-Buchse mit der negativeren Seite der Spannungsquelle und die andere Seite mit der zehn Ampere Buchse verbunden. Für die Messung der Spannung wird die COM-Buchse für das negativere Signal und die mA/V-Buchse für das positivere Signal genutzt. Im Video ist die richtige Verkabelung dargestellt. Als Messbereich für die Stromstärkenmessung wird die zehn Ampereskala eingestellt. Als Messbereich für die Spannungsmessung wird die 20 Volt Skala genutzt. Bevor die Spannungsquelle eingeschaltet wird, muss überprüft werden, ob alles korrekt verbunden ist. Ist dies der Fall, so kann die Spannungsquelle angeschaltet werden. Die Ausgangsspannung wird als unabhängige Variable zwischen null Volt und sieben Volt variiert. Auf der ersten Stufen 3,5 Volt wird folgender Messwert abgelesen. Die Spannung beträgt 3,27 Volt und die Stromstärke 0,20 Ampere. Der Messvorgang wird nun für die anderen Stufen wiederholt. (Messung wird durchgeführt)

Die Messwerte werden in einer geeigneten Tabelle notiert. Nun wird der Wert des Widerstands berechnet. Dazu werden die gemessenen Werte für die Stromstärke I und die Spannung U jeweils in die Formel eingesetzt. Dadurch lässt sich der Wert des elektrischen Widerstands der Lampe bei 3,27 Volt mit 16,35 Ohm beziffern. Dieser Vorgang wird für die zweite und auch die dritte Messung wiederholt. Die Ergebnisse lauten 18,83 Ohm bei 4,52 Volt und 21,50 Ohm bei 6,02 Volt. Für Glühlampen gilt, dass der Widerstand nicht bei jeder Spannung gleich ist. Durch die Erhitzung des Drahtes verändern sich seine elektrischen Eigenschaften. Das führt dazu, dass der Widerstand bei Lampen stark von der angelegten Spannung abhängig ist.

Bei ohmschen Widerständen wäre der Widerstand bei jeder Spannung annähernd gleich. Diese Bauteile nutzt man als Vorwiderstände bei LEDs, um die Stromstärke zu begrenzen. Beispiele für ohmsche Widerstände sind Kohleschicht- und Metallschichtwiderstände.

In diesem Video wurde erklärt, warum eine Lampe leuchtet, was der elektrische Widerstand ist und wie man diese Größe von Bauteilen bestimmt. Die Elektronen sorgen dafür, dass Atomrümpfe schwingen und die Lampe sich erhitzt und als Schwarzkörper Licht ausstrahlt. Der Widerstand behindert den Strom. Wenn der Widerstand einer Lampe oder eines beliebigen anderen Bauteils bestimmt werden soll, muss die Stromstärke bei einer bestimmten Spannung gemessen werden. Der Quotient der beiden Werte ergibt den Wert für den elektrischen Widerstand. Versucht doch im Physikunterricht selbst einmal den Widerstand einer Lampe zu bestimmen.

Anhang 5 – Test zum deklarativen Handlungswissen

Deklaratives Handlungswissen zum Thema „Strom- und Spannungsmessung“

Zunächst einmal vielen Dank, dass du an diesem Test teilnimmst!

Bitte lies jede Aufgabe einschließlich aller Antwortmöglichkeiten aufmerksam und gründlich durch. Es ist immer genau eine Antwort richtig. Manche Aufgabe bestehen aus zwei Teilfragen. Bei diesen Aufgaben wirst du zuerst nach einem Sachverhalt gefragt.

Danach sollst du eine Begründung für deine Antwort geben. Manche Aufgaben werden dir vielleicht eigenartig oder sehr schwer vorkommen. Lass dich dadurch nicht entmutigen, sondern versuche trotzdem die Lösung zu finden!

Hast du eine Aufgabe bearbeitet, darfst du nicht zurückblättern!

In dieser Umfrage sind 22 Fragen enthalten.

Formalia

Bitte gib hier deinen Vornamen an:

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Bitte gib hier deinen Nachnamen an:

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Trage hier deinen Code ein!

Die ersten beiden Buchstaben eures Nachnamens, die ersten beiden Buchstaben der Straße, in der ihr wohnt und den Tag eurer Geburt

(Beispiel: Ich heiße Fabian Sterzing, bin am 22.01. geboren und wohne in der Dorfstraße. Mein Code wäre: STDO22)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Bitte gib hier dein Alter an:

❗ In dieses Feld dürfen nur Zahlen eingegeben werden.

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Bitte gib hier dein Geschlecht an:

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ weiblich
☐ männlich
☐ divers

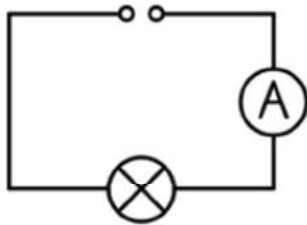
Bitte gib hier deine Fachsemesterzahl an:

❗ In dieses Feld dürfen nur Zahlen eingegeben werden.

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

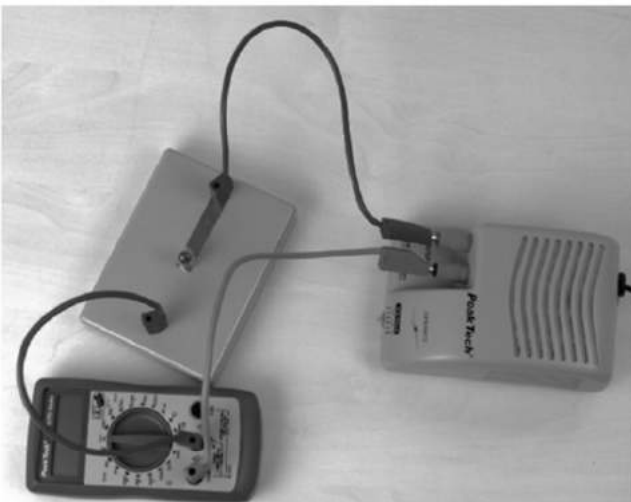
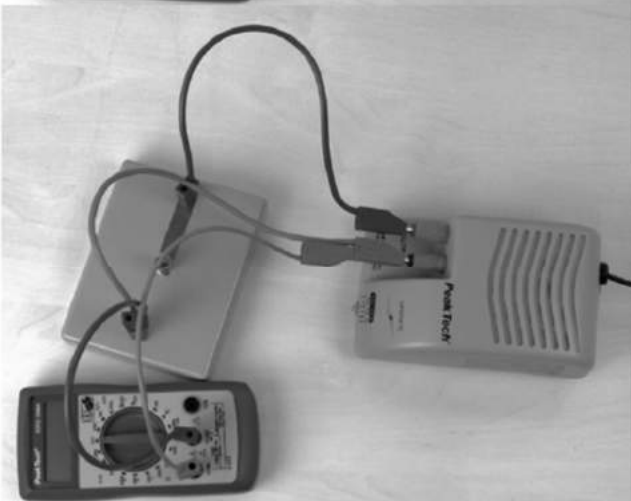
Frage 1

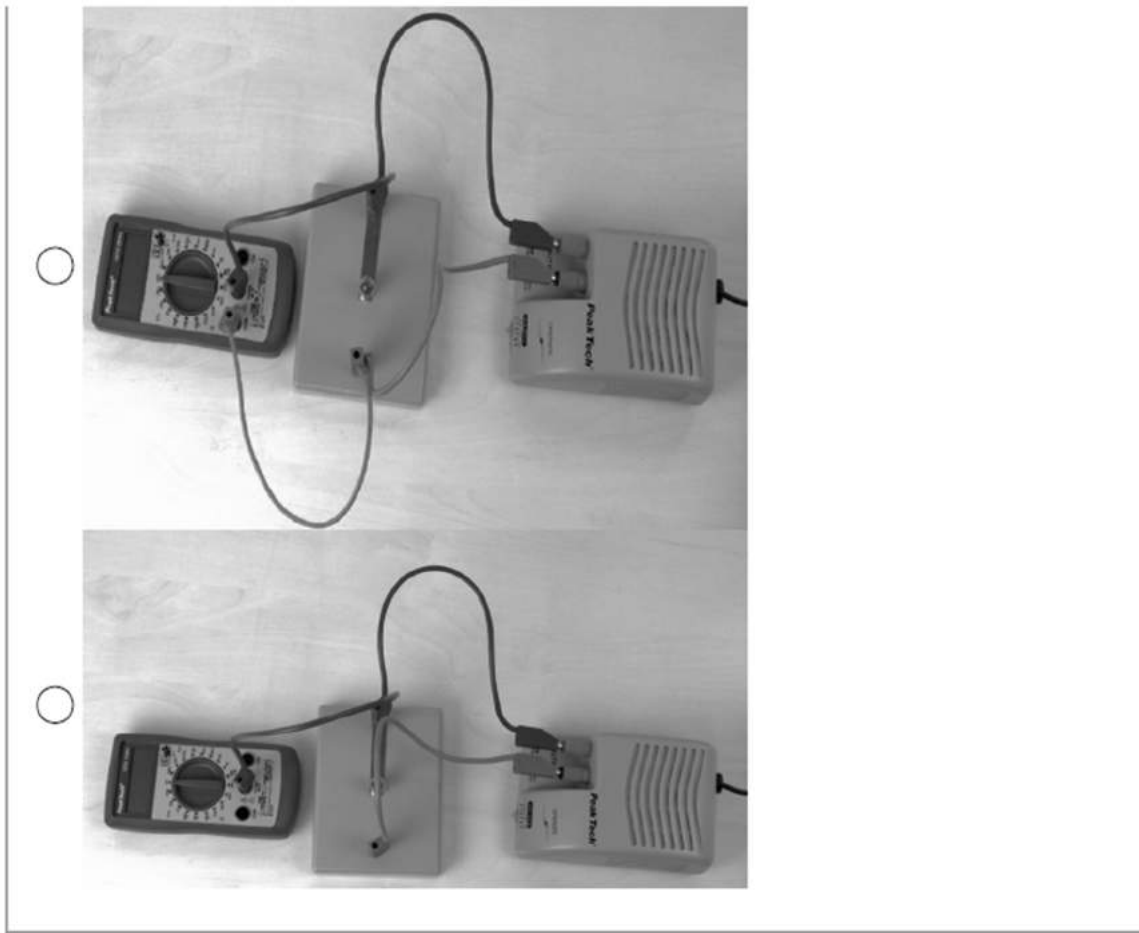
Im Folgenden siehst du vier Stromkreise. Kreuze bitte an, welcher Stromkreis der Schaltskizze entspricht.



❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

☐☐

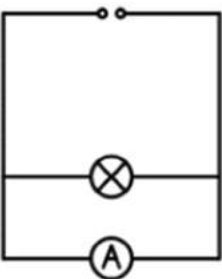
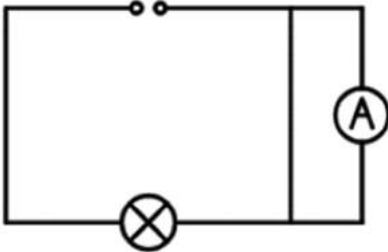
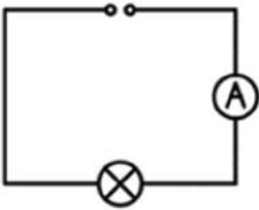
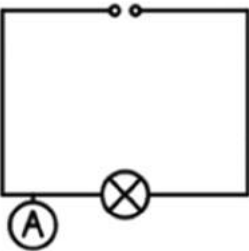


Frage 2

Kreuze an, welches Amperemeter korrekt in den Schaltkreis eingebaut ist!

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ 
- ☐ 
- ☐ 
- ☐ 

In der vorangegangenen Aufgabe hast du angeben müssen, welches Amperemeter richtig eingebaut ist. Welche Begründung passt am besten zu deiner Antwort?

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Ein Amperemeter muss immer in Reihe geschaltet sein.
- ☐ Ein Amperemeter muss immer parallel geschaltet sein.
- ☐ Es ist egal, wie man ein Amperemeter in den Stromkreis einbaut, es muss nur Strom fließen.
- ☐ Keine der Begründungen ist richtig.

Frage 3

In einer Experimentieraufgabe soll die Stromstärke in einem Schaltkreis von Lampe und Spannungsquelle gemessen werden. Die Herstellerangaben auf der Lampe lauten: „5 V und 1 A“

Kreuze an, welche Buchsen (Schwarzer Kasten) des Multimeters du für die Messung der Stromstärke verwendest:



Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

☐ COM & VmAΩ

☐ COM & 10 A

☐ VmAΩ & 10 A

☐ Keine der Antworten ist richtig!

Frage 4

Du willst die Stromstärke in einem Stromkreis mit einer Lampe mit den Herstellerangaben 5 V und 1 A messen.
Kreuze an, welchen der markierten Messbereiche du einstellst:



Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5

In der vorhergegangenen Aufgabe hast du angegeben, welchen Messbereich des Multimeters du für die Messung der Stromstärke verwenden möchtest. Welche Begründung passt zu deiner Antwort?

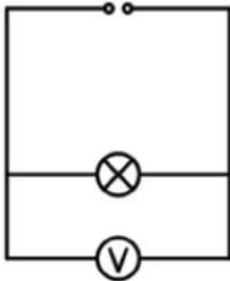
❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Ich wähle 1, da man immer mit der größten Einstellung anfängt.
- ☐ Ich wähle 3, da dies der optimale Messbereich für 1 A ist.
- ☐ Ich wähle 4, da Ω der Stromstärke entspricht.
- ☐ Ich wähle 5, da die Stromstärke 4,5 V entspricht.

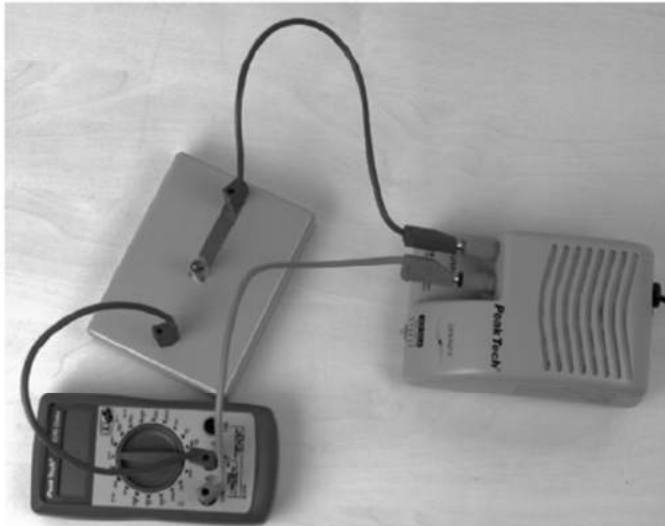
Frage 5

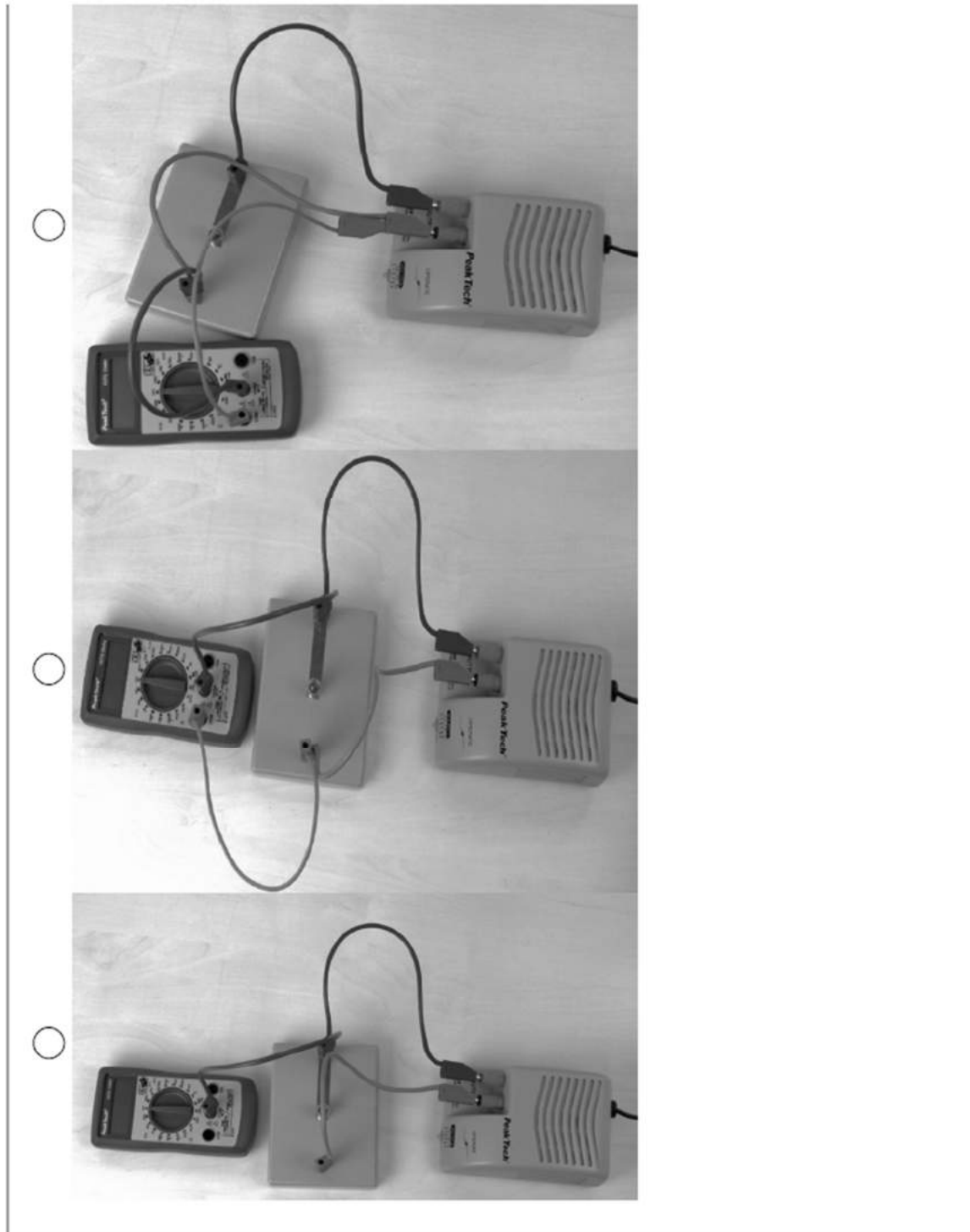
Im Folgenden siehst du vier Stromkreise. Kreuze bitte an, welcher Stromkreis der Schaltskizze entspricht.



1 Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

☐




In der vorangegangenen Aufgabe hast du angeben müssen, welches Amperemeter richtig eingebaut ist. Welche Begründung passt am besten zu deiner Antwort?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

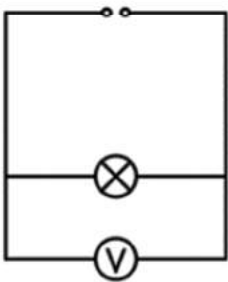
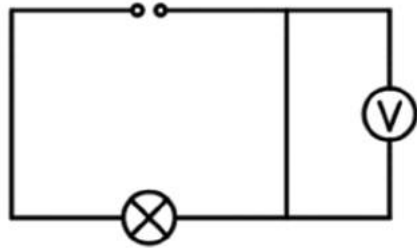
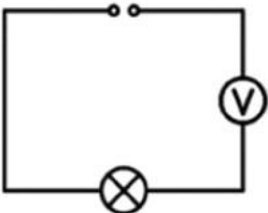
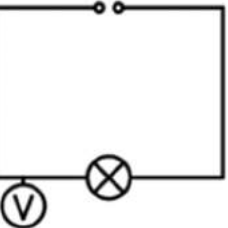
- ☐ Ein Amperemeter muss immer in Reihe geschaltet sein.
☐ Ein Amperemeter muss immer parallel geschaltet sein.
☐ Es ist egal, wie man ein Amperemeter in den Stromkreis einbaut, es muss nur Strom fließen.
☐ Keine der Begründungen ist richtig.

Frage 6

Kreuze an, welches Voltmeter korrekt in den Schaltkreis eingebaut ist!

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ 
- ☐ 
- ☐ 
- ☐ 

In der vorhergegangenen Aufgabe hast du angeben müssen, welches Voltmeter richtig eingebaut ist. Welche Begründung passt am besten zu deiner Antwort?

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Ein Voltmeter muss immer in Reihe geschaltet sein.
- ☐ Ein Voltmeter muss immer parallelgeschaltet sein.
- ☐ Es ist egal, wie man ein Voltmeter in den Stromkreis einbaut, es muss nur Strom fließen.
- ☐ Keine der Begründungen ist richtig.

Frage 7

In einer Experimentieraufgabe soll die Spannung an einer Lampe in einem Stromkreis gemessen werden. Die Herstellerangaben auf der Lampe lauten: „5 V und 1 A“

Kreuze an, welche Buchsen (schwarzer Kasten) des Multimeters du für die Messung der Spannung verwendest:



❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ COM & VmAΩ
- ☐ COM & 10 A
- ☐ VmAΩ & 10 A

☐ Keine der Antworten ist richtig!

Frage 8

Du willst die Spannung an einer Lampe mit den Herstellerangaben 5 V und 1 A messen.

Kreuze an, welchen der markierten Messbereiche du einstellst:



❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5

In der vorhergegangenen Aufgabe hast du angegeben, welchen Messbereich des Multimeters du für die Messung verwenden möchtest. Welche Begründung passt zu deiner Antwort?

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Ich wähle 1, da man immer mit der größten Einstellung anfängt.
- ☐ Ich wähle 3, da dies der optimale Messbereich für 5 V ist.
- ☐ Ich wähle 4, da Ω der Spannung entspricht.
- ☐ Ich wähle 5, da nur hier eine Spannung gemessen wird.

Frage 9

Du möchtest wieder die Stromstärke einer Lampe mit den Herstellerangaben "5 V und 1 A" messen.

Kreuze an, auf welche Stufe du das Stromversorgungsgerät maximal stellst.



❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Stufe 3
- ☐ Stufe 4,5
- ☐ Stufe 7,5
- ☐ Stufe 9
- ☐ Stufe 12

In der vorhergegangenen Aufgabe hast du angegeben, auf welche Stufe du die Spannungsquelle stellen würdest. Welche Begründung dazu passt zu deiner Antwort?

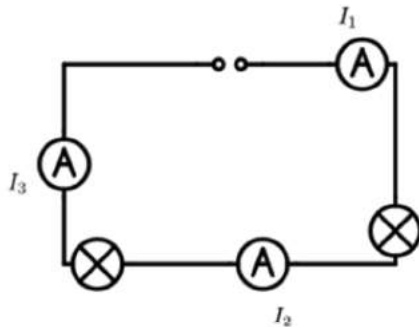
❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Ich wähle Stufe 3, da dies 3 V entspricht und die Lampe mit maximal 5 V betrieben werden darf.
- ☐ Ich wähle Stufe 3 oder 4,5, da diese 3 V oder 4,5 V entsprechen und die Lampe mit maximal 5 V betrieben werden darf.
- ☐ Mit diesem Gerät kann ich die Lampe nicht betreiben, da zu wenig Spannung vorhanden ist.
- ☐ Mit diesem Gerät kann ich die Lampe nicht betreiben, da die Spannung immer 12 V beträgt und damit zu hoch ist.

Frage 10

Du misst die Stromstärke in einem Schaltkreis (s. Schaltskizze). Die eingebauten Lampen sind exakt baugleich. Das erste Amperemeter zeigt $I_1 = 0,64 \text{ A}$ an. Kreuze an, welche Werte die anderen Amperemeter anzeigen werden.



❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ $I_2 = 0,64 \text{ A}$, $I_3 = 0,64 \text{ A}$
- ☐ $I_2 = 0 \text{ A}$, $I_3 = 0 \text{ A}$
- ☐ $I_2 = 0,32 \text{ A}$, $I_3 = 0,32 \text{ A}$
- ☐ $I_2 = 0,32 \text{ A}$, $I_3 = 0 \text{ A}$

In der vorhergegangenen Aufgabe hast du ausgewählt, welche Messwerte die Amperemeter anzeigen. Welche Begründung passt am besten zu deiner Antwort?

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Die Stromstärke in einer Reihenschaltung ist konstant.
- ☐ Nach der ersten Lampe ist der Strom verbraucht.
- ☐ Die Lampen teilen sich den Strom.
- ☐ Bei einer Reihenschaltung ist die Summe der Teilströme gleich.

Anhang 6 – Experimentelle Aufgabe

Name:

Euer Code: _____ (Die ersten beiden Buchstaben eures Nachnamens, die ersten beiden Buchstaben der Straße in der ihr wohnt und den Tag eurer Geburt)

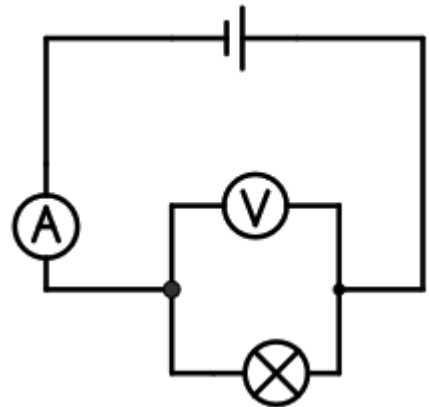
Beispiel: Ich heiße Fabian Sterzing, bin am 22.01. geboren und wohne in der Dorfstraße.

Mein Code wäre: STDO22

Bestimmung des Widerstandes einer Lampe

Aufgabe:

1. Baue die rechtsstehende Schaltung zur Bestimmung des Widerstands einer Lampe bei verschiedenen Spannungen auf.
2. Messe Stromstärke und Spannung an der Lampe bei verschiedenen Einstellungen an der Spannungsquelle
3. Bestimme rechnerisch den Widerstand der Lampe
Stelle an der Spannungsquelle höchstens die für die Lampe maximal geeignete Spannung ein!



Du hast dabei folgendes Material zur Verfügung:
Spannungsquelle, 2 Multimeter, Lampe, Kabel

Notiere hier das Vorgehen beim Aufbau:

Notiere hier die Schritte der Durchführung der Messung:

Notiere hier die Beobachtung bei der Messung:

Notiere in einer Tabelle deine Messwerte:

$\frac{U}{V}$	$\frac{I}{A}$	

Bestimme den Widerstand aus den Werten der Tabelle und trage deine Ergebnisse in die Leere Spalte der Tabelle ein. Notiere ebenfalls die von dir genutzte Formel:

Anhang 7 – Konzeptwissenstest

Trage hier deinen Code ein!

Die ersten beiden Buchstaben eures Nachnamens, die ersten beiden Buchstaben der Straße, in der ihr wohnt und den Tag eurer Geburt

(Beispiel: Ich heiße Fabian Sterzing, bin am 22.01. geboren und wohne in der Dorfstraße. Mein Code wäre: STDO22)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Bitte gib hier dein Alter an:

❗ In dieses Feld dürfen nur Zahlen eingegeben werden.

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Bitte gib hier dein Geschlecht an:

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ weiblich
☐ männlich
☐ divers

Bitte gib hier deine Fachsemesterzahl an:

❗ In dieses Feld dürfen nur Zahlen eingegeben werden.

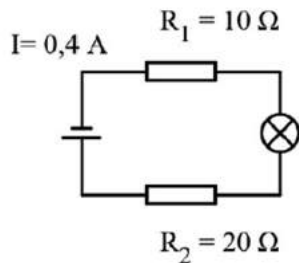
Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Frage 1

In einem Stromkreis mit einer Glühlampe und den Widerständen $R_1 = 10\ \Omega$ und $R_2 = 10\ \Omega$ (Abbildung 1) beträgt die Stromstärke $I = 0,4\ \text{A}$.

Widerstand R_1 wird nun durch den Widerstand $R_3 = 20\ \Omega$ ersetzt.

Welchen Einfluss hat das auf die Stromstärke durch die Glühlampe?



(Abbildung 1)

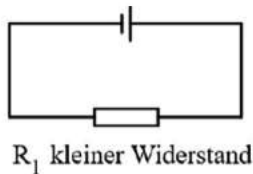
● Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Die Stromstärke ist nun kleiner als $0,4\ \text{A}$.
- ☐ Die Stromstärke ist genau so groß wie vorher.
- ☐ Die Stromstärke ist jetzt größer als $0,4\ \text{A}$.

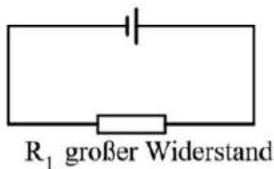
Frage 2

Der Widerstand R_1 im Stromkreis (Abbildung 1) ist klein. Er wird durch einen größeren Widerstand R_2 ersetzt (Abbildung 2).

Was geschieht mit der Stromstärke im Stromkreis?



(Abbildung 1)



(Abbildung 2)

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Sie wird größer.
- ☐ Sie wird kleiner, aber nicht Null.
- ☐ Sie bleibt gleich.
- ☐ Es fließt kein Strom mehr.

Wie erklärst du deine Entscheidung?

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

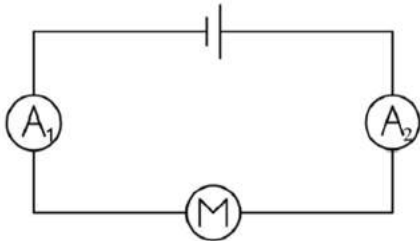
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Die Batterie ist nicht stark genug, um überhaupt Strom durch den größeren Widerstand zu treiben
- ☐ Die Batterie kann nicht einen so großen Strom wie vorher durch den größeren Widerstand treiben.
- ☐ Ein größerer Widerstand braucht mehr Strom als ein kleinerer Widerstand.
- ☐ Es ist dieselbe Batterie; also bleibt auch die Stromstärke gleich.

Frage 3

Im Stromkreis (Abbildung 1) ist eine Batterie mit einem Motor verbunden.

Was kannst du über die Anzeigen der beiden Amperemeter aussagen?



(Abbildung 1)

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ A₁ zeigt eine höhere Stromstärke an.
- ☐ Beide Amperemeter zeigen die gleiche Stromstärke an.
- ☐ A₂ zeigt eine höhere Stromstärke an.

Wie erklärst du deine Entscheidung?

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

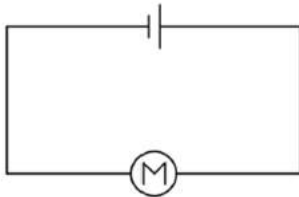
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Im gesamten Stromkreis ist die Stromstärke gleich.
- ☐ Ein Teil des Stroms wird vom Motor verbraucht.
- ☐ Der gesamte Strom wird vom Motor verbraucht.

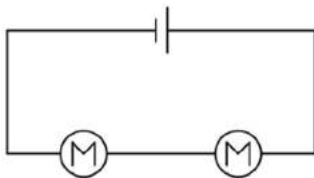
Frage 4

Ein Stromkreis besteht aus einer Batterie und einem Motor. Der Motor läuft (Abbildung 1). Dann wird ein zweiter gleicher Motor hinzugefügt (Abbildung 2).

Welchen Einfluss hat das auf die Stromstärke im Stromkreis?



(Abbildung 1)



(Abbildung 2)

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Sie wird größer.
- ☐ Sie bleibt gleich.
- ☐ Sie wird kleiner, aber nicht null.
- ☐ Es fließt kein Strom mehr.

Wie erklärst du deine Entscheidung?

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

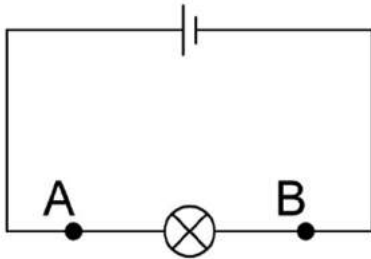
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Die Batterie ist nicht stark genug, überhaupt Strom durch zwei Motoren anzutreiben.
- ☐ Es ist dieselbe Batterie; daher liefert sie denselben Strom.
- ☐ Die Batterie kann nicht so viel Strom wie vorher durch beide Motoren treiben.
- ☐ Zwei Motoren brauchen mehr Strom als einer.
- ☐ Der Strom teilt sich auf beide Motoren auf; so wird er halbiert.

Frage 5

Die Glühlampe (Abbildung 1) leuchtet.

Was kannst du über die Stromstärke bei den Punkten A und B aussagen?



(Abbildung 1)

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Die Stromstärke ist bei A größer als bei B.
- ☐ Die Stromstärke ist bei A kleiner als bei B.
- ☐ Die Stromstärke ist bei A und bei B gleich groß.

Wie erklärst du deine Entscheidung?

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

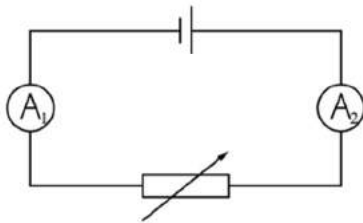
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Es fließt im gesamten Stromkreis der gleiche Strom.
- ☐ Ein Teil des Stroms wird von der Glühlampe verbraucht.
- ☐ Der gesamte Strom wird von der Glühlampe verbraucht.

Frage 6

Der Stromkreis (Abbildung 1) besteht aus zwei Amperemetern und einem regelbaren Widerstand. Beide Amperemeter zeigen die Stromstärke an. Nun wird der Widerstand R vergrößert.

Wie verändert sich dadurch die Anzeige von Amperemeter A_1 ?



(Abbildung 1)

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Sie wird größer.
- ☐ Sie bleibt gleich.
- ☐ Sie wird kleiner.

Wie verändert sich die Anzeige von Amperemeter A_2 ?

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Sie wird größer.
- ☐ Sie bleibt gleich.
- ☐ Sie wird kleiner.

Wie erklärst du deine Entscheidung?

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

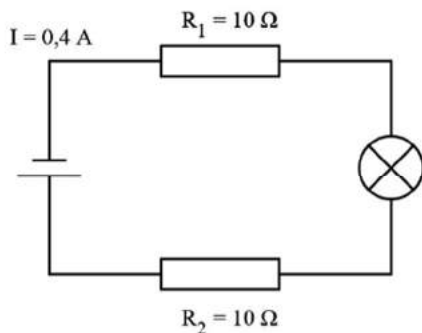
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Ein größerer Widerstand braucht mehr Strom als ein kleinerer Widerstand.
- ☐ Ein größerer Widerstand braucht mehr Strom als ein kleinerer Widerstand.
- ☐ Eine Vergrößerung des Widerstands führt zu einer Verringerung der Stromstärke überall im Stromkreis.
- ☐ Eine Vergrößerung des Widerstands führt zu einer Verringerung der Stromstärke nach dem Widerstand. Sie beeinflusst daher den Strom vor dem Widerstand nicht.
- ☐ Eine Vergrößerung des Widerstands führt zu einer Verringerung der Stromstärke nach dem Widerstand. Daher wird der Strom vor dem Widerstand größer.

Frage 7

In einem Stromkreis mit einer Glühlampe (Abbildung 1) und den Widerständen $R_1 = 10 \, \Omega$ und $R_2 = 10 \, \Omega$ beträgt die Stromstärke $I = 0,4 \, \text{A}$. Widerstand R_2 wird nun durch den Widerstand $R_3 = 20 \, \Omega$ ersetzt.

Welchen Einfluss hat das auf die Stromstärke durch die Glühlampe?



(Abbildung 1)

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

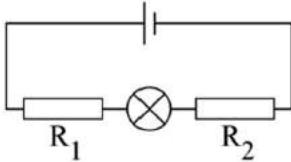
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Die Stromstärke ist nun kleiner als $0,4 \, \text{A}$.
- ☐ Die Stromstärke ist genau so groß wie vorher.
- ☐ Die Stromstärke ist jetzt größer als $0,4 \, \text{A}$.

Frage 8

Im Stromkreis von Abbildung 1 sind zwei Widerstände und eine Glühlampe an eine Batterie angeschlossen.

Was passiert mit der Helligkeit der Lampe, wenn R_1 gleichbleibt und R_2 verkleinert wird?



(Abbildung 1)

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

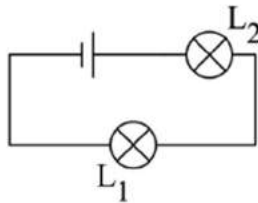
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Die Lampe leuchtet heller.
- ☐ Die Lampe leuchtet gleich hell.
- ☐ Die Lampe leuchtet weniger hell.

Frage 9

Betrachte den Stromkreis in Abbildung 1.

Wie hell werden die Glühlampen leuchten?



(Abbildung 1)

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Beide Glühlampen leuchten. L_1 leuchtet heller als L_2 .
- ☐ Beide Glühlampen leuchten. L_2 leuchtet heller als L_1 .
- ☐ Beide Glühlampen leuchten gleich hell.
- ☐ L_1 leuchtet. L_2 leuchtet nicht.
- ☐ Sie bleibt gleich.
- ☐ L_2 leuchtet. L_1 leuchtet nicht.

Wie erklärst du deine Entscheidung?

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

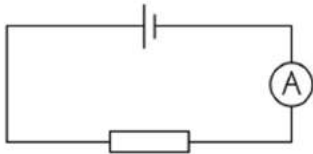
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ L_1 verbraucht den gesamten Strom. Es ist daher kein Strom mehr für L_2 übrig.
- ☐ L_1 verbraucht einen Teil des Stroms. Es ist daher nur weniger Strom für L_2 übrig.
- ☐ Der elektrische Strom ist überall im Stromkreis gleich.
- ☐ Der Strom wird gleichmäßig auf beide Glühlampen aufgeteilt.
- ☐ L_2 ist näher bei der Batterie. Daher bekommt sie mehr Strom.

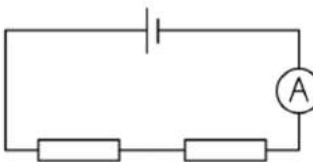
Frage10

Ein Stromkreis besteht aus einer Batterie, einem Widerstand R und einem Amperemeter. Das Amperemeter zeigt die Stromstärke an (Abbildung 1).

Was passiert mit der Anzeige des Amperemeters, wenn ein zweiter gleicher Widerstand R hinzugefügt wird (Abbildung 2)?



(Abbildung 1)



(Abbildung 2)

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Sie wird größer.
- ☐ Sie bleibt gleich.
- ☐ Sie wird kleiner, aber nicht null.
- ☐ Es fließt kein Strom mehr.

Wie erklärst du deine Entscheidung?

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

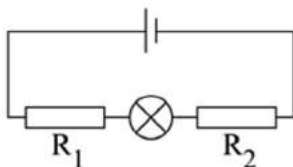
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Zwei Widerstände brauchen mehr Strom als einer.
- ☐ Es ist dieselbe Batterie; daher liefert sie denselben Strom.
- ☐ Die Batterie kann nicht so viel Strom wie vorher durch beide Widerstände treiben.
- ☐ Die Batterie ist nicht stark genug, überhaupt Strom durch zwei Widerstände anzutreiben.

Frage 11

Im Stromkreis von Abbildung 1 sind zwei Widerstände und eine Glühlampe an eine Batterie angeschlossen.

Wie ändert sich die Helligkeit der Lampe, wenn R_1 gleichbleibt und R_2 vergrößert wird?



(Abbildung 1)

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

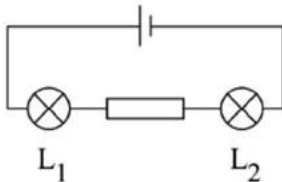
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Die Lampe leuchtet heller.
- ☐ Die Lampe leuchtet gleich hell.
- ☐ Die Lampe leuchtet weniger hell.

Frage 12

Im Stromkreis von Abbildung 1 leuchten beide Lampen L_1 und L_2 mit gleicher Helligkeit.

Was passiert mit der Helligkeit der beiden Lampen L_1 und L_2 , wenn der Widerstand R vergrößert wird?



(Abbildung 1)

❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

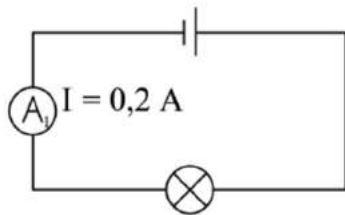
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ L_1 bleibt gleich hell, L_2 leuchtet schwächer.
- ☐ L_1 leuchtet schwächer, L_2 bleibt gleich hell.
- ☐ L_1 und L_2 leuchten nun beide stärker.
- ☐ L_1 und L_2 leuchten nun beide schwächer.
- ☐ L_1 und L_2 leuchten gleich hell wie vorher.

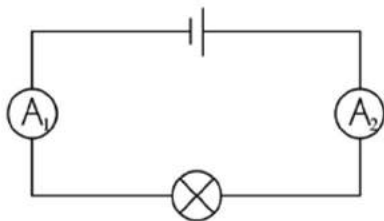
Frage 13

Im Stromkreis von Abbildung 1 leuchtet die Glühlampe und das Amperemeter A_1 zeigt eine Stromstärke von 0,2 A an. Nun wird ein zweites Amperemeter A_2 auf der anderen Seite des Stromkreises eingebaut (Abbildung 2).

Was zeigt das Amperemeter A_2 an?



(Abbildung 1)



(Abbildung 2)

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Mehr als 0,2 A.
- ☐ Genau 0,2 A.
- ☐ Weniger als 0,2 A, aber nicht 0 A.
- ☐ 0 A.

Wie erklärst du deine Entscheidung?

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

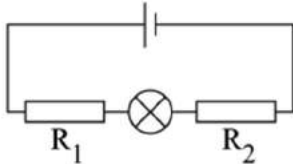
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Im gesamten Stromkreis ist die Stromstärke gleich.
- ☐ Ein Teil des Stroms wird von der Glühlampe verbraucht.
- ☐ Der gesamte Strom wird von der Glühlampe verbraucht.

Frage 14

Im Stromkreis (Abbildung 1) sind zwei Widerstände und eine Glühlampe an eine Batterie angeschlossen.

Was passiert mit der Helligkeit der Lampe, wenn R_2 gleichbleibt und R_1 vergrößert wird?



(Abbildung 1)

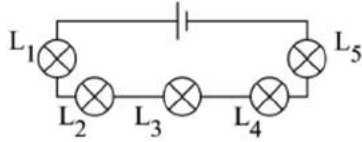
❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Die Lampe leuchtet heller.
- ☐ Die Lampe leuchtet gleich hell.
- ☐ Die Lampe leuchtet weniger hell.

Frage 15

Wie hell werden die Glühlampen leuchten? (Abbildung 1)



(Abbildung 1)

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ L₁ leuchtet. Die anderen Glühlampen leuchten nicht.
- ☐ Alle Glühlampen leuchten mit gleicher Helligkeit.
- ☐ L₁ und L₅ leuchten am stärksten; dann kommen L₂ und L₄. L₃ leuchtet am schwächsten.
- ☐ L₃ leuchtet am stärksten; dann kommen L₂ und L₄. L₁ und L₅ leuchten am schwächsten.
- ☐ L₁ leuchtet am stärksten; dann nimmt die Helligkeit kontinuierlich entlang des Stromkreises ab.

Wie erklärst du deine Entscheidung?

❶ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

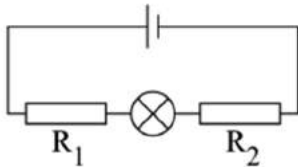
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Die erste Glühlampe braucht den gesamten Strom; für die anderen ist nichts mehr übrig.
- ☐ Jede Glühlampe verbraucht einen Teil des Stroms, so dass für die nächste weniger übrig ist.
- ☐ Der elektrische Strom wird schwächer, je weiter die Glühlampe von der Batterie entfernt ist.
- ☐ Der elektrische Strom ist an jeder Stelle des Stromkreises gleich.
- ☐ Die Ströme von beiden Polen der Batterie treffen einander bei L₃.

Frage 16

Im Stromkreis (Abbildung 1) sind zwei Widerstände und eine Glühlampe an eine Batterie angeschlossen.

Was passiert mit der Helligkeit der Lampe, wenn R_2 gleichbleibt und R_1 verkleinert wird?



❗ Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Die Lampe leuchtet heller.
- ☐ Die Lampe leuchtet gleich hell.
- ☐ Die Lampe leuchtet weniger hell.

Mein Code wäre: STDO22

A2. Bitte geben Sie hier Ihr Alter an:

A3. Bitte geben Sie hier Ihre Abiturnote an:

A4. Bitte geben Sie hier an, bis zu welcher Klassenstufe Sie Physik in der Schule hatten:

Teil B: Außerhalb der Veranstaltung

Nutzung von Erklärvideos bzw. Videotutorials außerhalb dieser Veranstaltung. Bitte geben Sie an, für wie zutreffend Sie die folgenden Aussagen halten!

B1.

	nie	selten	manchmal	oft
Ich nutze zur Vorbereitung auf Klausuren Erklärvideos.	☐	☐	☐	☐
Ich nutze Erklärvideos, um Vorlesungsinhalte nachzuarbeiten.	☐	☐	☐	☐
Ich nutze Erklärvideos, um mich auf Übungen vorzubereiten.	☐	☐	☐	☐
Ich nutze Erklärvideos für private Zwecke, um Handlungen nachzuvollziehen (z. B. Spieletutorials, Bastel- oder Bauanleitungen, Kochtutorials, Schminkvideos).	☐	☐	☐	☐

B2.

	trifft nicht zu	trifft kaum zu	trifft eher zu	trifft genau zu
Erklärvideos sind in der heutigen Zeit etwas sehr Wichtiges.	☐	☐	☐	☐
Beim Verwenden von Erklärvideos kann ich mir eigene Ziele setzen und selbstständig in meinem Lerntempo etwas schaffen.	☐	☐	☐	☐
Auch wenn ich beim Nachvollziehen eines Erklärvideos Probleme habe, glaube ich, dass ich dadurch mir gestellte Aufgaben lösen kann.	☐	☐	☐	☐
Es fällt mir leicht, trotz des großen Angebots passende Erklärvideos im Internet zu finden.	☐	☐	☐	☐
Ich finde, dass die Zeit bei der Verwendung von Erklärvideos schneller vergeht als sonst.	☐	☐	☐	☐
Durch das Benutzen von Erklärvideos kann ich vieles schneller und besser bewerkstelligen als ohne die Videos.	☐	☐	☐	☐

Teil C: Innerhalb der Veranstaltung

Nutzung von Erklärvideos innerhalb der Veranstaltung. Kreuzen Sie bitte Zutreffendes an.

C1. Im Rahmen dieser Veranstaltung habe ich von den Paderborner Erklärvideos folgende Erklärvideos geguckt:

Schattengröße	☐
Reflexion am Spiegel	☐
Brechung am Halbkreiskörper	☐
el. Widerstand	☐

C2. Bitte geben Sie an, für wie zutreffend Sie die folgenden Aussagen halten:

	trifft nicht zu	trifft kaum zu	trifft eher zu	trifft genau zu
Ich habe die Erklärvideos bereits vor dem Praktikumstermin angeguckt.	☐	☐	☐	☐
Ich habe bei den Experimenten gemerkt, dass ich Fehler gemacht habe, und daher angefangen, die Erklärvideos zu schauen.	☐	☐	☐	☐
Ich habe im Laufe des Semesters bemerkt, dass ich zeitlich effektiver arbeiten kann, wenn ich die Videos am Anfang schaue.	☐	☐	☐	☐
Durch die Erklärvideos habe ich den Aufbau der Versuche besser nachvollziehen können.	☐	☐	☐	☐
Die Erklärvideos haben mir die Sicherheit gegeben, alles richtig gemacht zu haben.	☐	☐	☐	☐
Die Videos sind hilfreich, um Fehler beim Experimentieren zu finden und zu beheben.	☐	☐	☐	☐
Die Videos sind hilfreich, um Messfehler einzuschätzen.	☐	☐	☐	☐
Ich habe die Videos angeguckt, um mir in einer kurzen Zeit eine gute Grundlage zu erarbeiten, um dann selbst experimentieren bzw. eigenen Ideen nachgehen zu können.	☐	☐	☐	☐
Die Videos sind anschaulicher als nur Schaltskizzen oder Bilder von Versuchsaufbauten.	☐	☐	☐	☐
Es hat mich beim Lernen unterstützt, dass die gesprochenen Erklärungen simultan zum Vormachen erfolgten.	☐	☐	☐	☐
Abstraktionen in der Darstellung, wie z. B. eingezeichnete Lichtstrahlen, haben mein Verständnis zum Thema gefördert.	☐	☐	☐	☐
Fokussierungen in der Darstellung, wie z. B. das farbliche Hervorheben von Messdaten oder von elektrischen Bauteilen beim Schalten, haben mir viel geholfen.	☐	☐	☐	☐
Ich habe die Videos geguckt, weil ich es mir besser merken kann, wenn ich etwas vorgemacht sehe.	☐	☐	☐	☐
Ich fand gut, dass die physikalischen Gesetze und Rechnungen kurz und knapp erklärt wurden.	☐	☐	☐	☐
Ich fand die Einblendung der jeweiligen Phasen des Experiments rechts oben in den Videos hilfreich, um die Erklärung von der Beobachtung besser unterscheiden zu können.	☐	☐	☐	☐

Anhang 9 – Expertenvalidierung

Expertenvalidierung: Lernwirksame Erklärvideos im Physikunterricht

Diese Umfrage ist im Rahmen meines Dissertationsprojektes "Lernwirksame Erklärvideos in Physikunterricht" in der Didaktik der Physik der Universität Paderborn entstanden.

Im Mittelpunkt meines Promotionsprojektes steht die Frage, von welchen Bedingungen, Merkmalen und Einsatzformen die Wirksamkeit von Erklärvideos abhängt. Zur Untersuchung dieser Fragestellung habe ich zwei Erklärvideos zum elektrischen Widerstand entwickelt, die sich in ihrer fachdidaktischen Qualität unterscheiden sollen. Dies betrifft beispielsweise den Grad der Elementarisierung der fachlichen Erklärung und deren mediale Umsetzung.

Um zu validieren, dass sich die entwickelten Erklärvideos in ihrer fachdidaktischen Qualität unterscheiden, möchte ich ein Experten-Rating durchführen lassen.

In dieser Umfrage werden Sie die didaktische Qualität von zwei Videos einmal global und einmal kriteriengeleitet einschätzen. Die Umfrage dauert ca. 45 Minuten. Für Rückfragen stehe ich Ihnen unter fabian.sterzing@uni-paderborn.de zur Verfügung.

Diese Umfrage ist nicht für Smartphones optimiert.

Fabian Sterzing

In dieser Umfrage sind 5 Fragen enthalten.

Demografische Angaben

Bitte geben Sie Ihr Fachgebiet an:

● Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Didaktik der Physik
☐ Didaktik der Chemie
☐ Didaktik der Biologie
☐ Didaktik des Sachunterrichts
☐ Sonstiges

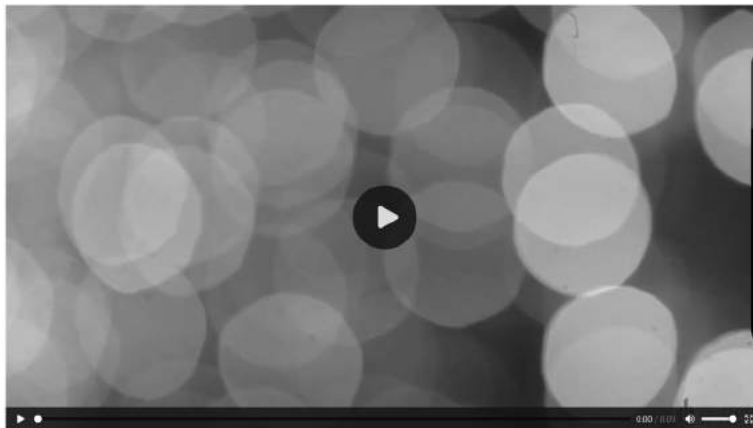
Bitte geben Sie Ihren höchsten akademischen Grad/Titel an:

● Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Bachelor
☐ Master
☐ 2. Staatsexamen
☐ Promotion
☐ Habilitation
☐ Sonstiges

Allgemeiner Vergleich

Bitte schauen Sie sich beide Videos an. Welches Video ist Ihrer Meinung nach didaktisch angemessener? Die Zielgruppe beider Videos ist die gymnasiale Mittelstufe.



Welches Video ist Ihrer Meinung nach didaktisch angemessener? Die Zielgruppe beider Videos ist die gymnasiale Mittelstufe.

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Video 1
☐ Video 2

Bewertung Video 1

Sie haben nun die Möglichkeit das erste Video genauer zu bewerten. Dazu können Sie sich das Video noch einmal ansehen. Unter dem Video finden Sie Bewertungskategorien sowohl zur inhaltlichen, als auch zur multimedialen Gestaltung. Die Zielgruppe des Videos ist die gymnasiale Mittelstufe.

Bewertung Video 2

Sie haben nun die Möglichkeit das zweite Video genauer zu bewerten. Dazu können Sie sich das Video noch einmal ansehen. Unter dem Video finden Sie Bewertungskategorien sowohl zur inhaltlichen, als auch zur multimedialen Gestaltung. Die Zielgruppe des Videos ist die gymnasiale Mittelstufe.

	trifft nicht zu	trifft kaum zu	trifft eher zu	trifft vollständig zu
Das Video ist inhaltlich gegliedert.	☐	☐	☐	☐
Das Video ist fachlich angemessen.	☐	☐	☐	☐
Das Video ist inhaltlich an die Zielgruppe angepasst (gymnasiale Mittelstufe).	☐	☐	☐	☐
Das Video ist sprachlich an die Zielgruppe angepasst (gymnasiale Mittelstufe).	☐	☐	☐	☐
Im Video wird ein komplexes Prinzip angemessen elementarisiert.	☐	☐	☐	☐
Im Video werden typische Präkonzepte sinnvoll aufgegriffen.	☐	☐	☐	☐
Im Video werden Zusammenfassungen gegeben.	☐	☐	☐	☐
Im Video werden die Konzepte schrittweise mathematisiert.	☐	☐	☐	☐
Im Video werden inhaltlich unnötige Ausführungen vermieden.	☐	☐	☐	☐
Im Video werden Beispiele genutzt.	☐	☐	☐	☐
Im Video wird verdeutlicht, warum das Thema relevant für die Zielgruppe ist (gymnasiale Mittelstufe).	☐	☐	☐	☐
Im Video werden nachfolgende Aufgaben zur Vertiefung vorgeschlagen.	☐	☐	☐	☐
Im Video werden Analogien und Modelle angemessen eingeführt und angewendet.	☐	☐	☐	☐

	trifft nicht zu	trifft kaum zu	trifft eher zu	trifft vollständig zu
Im Video werden wichtige Informationen visuell hervorgehoben.	☐	☐	☐	☐
Im Video werden Informationen redundant gegeben, z.B. sowohl gesprochener als auch geschriebener Text zu einer Grafik.	☐	☐	☐	☐
Gesprochener Text und gezeigte Bilder passen inhaltlich zueinander.	☐	☐	☐	☐
Es werden gesprochene Texte statt geschriebene Texte angeboten.	☐	☐	☐	☐
Im Video werden stets mehrere Wahrnehmungskanäle (Visuell, Auditiv) angesprochen.	☐	☐	☐	☐
Im Video wird die inhaltliche Struktur medial unterstützt.	☐	☐	☐	☐
Im Video werden die Schüler direkt angesprochen.	☐	☐	☐	☐
Im Video werden Analogien und Modelle gut visualisiert	☐	☐	☐	☐
Das Video ist sprachlich ansprechend gestaltet.	☐	☐	☐	☐
Das Video ist optisch ansprechend gestaltet.	☐	☐	☐	☐
Die Anleitung zur Durchführung des Experiments ist nachvollziehbar.	☐	☐	☐	☐

Anhang 10 – Signifikante Unterschiede der Expertenvalidierung

	Das Video ist inhaltlich gegliedert	Das Video ist fachlich angemessen.	Das Video ist inhaltlich an die Zielgruppe angepasst (Gymnasiale Mittelstufe).	Das Video ist sprachlich an die Zielgruppe angepasst (Gymnasiale Mittelstufe).	Im Video wird ein komplexes Prinzip angemessen elementarisiert.	Im Video werden typische Präkonzepte sinnvoll aufgegriffen.	Im Video werden Zusammenfassungen gegeben.
Z	-3,162 ^b	-1,496 ^b	-2,862 ^b	-2,980 ^b	-2,266 ^b	-2,701 ^b	-1,730 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,002	0,135	0,004	0,003	0,023	0,007	0,084
a. Wilcoxon-Test							
b. Basiert auf positiven Rängen.							
c. Basiert auf negativen Rängen.							
N	14	13	13	13	14	14	14
r	0,85	0,41	0,79	0,83	0,61	0,72	0,46
d	3		1,0734	2,97			
d	3,16		2,61	2,94	1,52	2,09	

Statistik für Test^a

Im Video werden die Konzepte schrittweise mathematisiert.	Im Video werden inhaltlich unnötige Ausführungen vermieden.	Im Video werden Beispiele genutzt.	Im Video wird verdeutlicht, warum das Thema relevant für die Zielgruppe ist (Gymnasiale Mittelstufe).	Im Video werden nachfolgende Aufgaben zur Vertiefung vorgeschlagen.	Im Video werden Analogien und Modelle angemessen eingeführt und angewendet.	Im Video werden wichtige Informationen durch Hervorhebungen visuell hervorgehoben.	Im Video werden Informationen redundant gegeben, z.B. sowohl gesprochener als auch geschriebener Text zu einer Grafik.	Gesprochener Text und gezeigte Bilder passen inhaltlich zueinander.
-3,244 ^b	-3,442 ^b	-,517 ^b	-2,310 ^b	-,816 ^c	-2,308 ^b	-3,219 ^b	-1,097 ^b	-2,308 ^b
0,001	0,001	0,605	0,021	0,414	0,021	0,001	0,273	0,021
14	14	11	14	14	14	14	13	14
0,87	0,92	0,16	0,62	0,22	0,62	0,86	0,30	0,62
3,48	4,69		1,57		1,57	3,38		1,57

Es werden gesprochene Texte statt geschriebene Texte angeboten.	Im Video werden stets mehrere Wahrnehmungskanäle (Visuell, Auditiv) angesprochen.	Im Video wird die inhaltliche Struktur medial unterstützt.	Im Video werden die Schüler direkt angesprochen.	Im Video werden Analogien und Modelle gut visualisiert.	Das Video ist optisch ansprechend gestaltet.	Das Video ist sprachlich ansprechend gestaltet.	Die Anleitung zur Durchführung des Experiments ist nachvollziehbar.
-1,807 ^b	-1,994 ^b	-2,460 ^b	-2,709 ^b	-2,124 ^b	-2,000 ^b	-2,226 ^b	-2,271 ^b
0,071	0,046	0,014	0,007	0,034	0,046	0,026	0,023
11	14	13	14	14	14	14	9
0,54	0,53	0,68	0,72	0,57	0,53	0,59	0,76
	1,26	1,87	2,10	1,38	1,26	1,48	2,32

Anhang 11 – Reliabilitätsbestimmung

```
> setwd("C:/Users/Fabian Sterzing/sciebo/Erhebung/Für R")
> getwd()
[1] "C:/Users/Fabian Sterzing/sciebo/Erhebung/Für R"
> maxNA <- 5
> library("lavaan")
> library(car)
> library(psych)
> library(semPlot)
> library(rcompanion)
> PreTest_Dek <- read.csv2("Pre-Deklarativ.csv", sep = ";", na.strings = c(
  "77" , "88" , "89" , "99" ) )
> PreTest_Komp <- read.csv2("Pre-Kompetenz.csv", sep = ";", na.strings = c(
  "77" , "88" , "89" , "99" ) )
> PostTest_Dek <- read.csv2("Post-Deklarativ.csv", sep = ";", na.strings =
  c("77" , "88" , "89" , "99" ) )
> PostTest_Komp <- read.csv2("Post-Kompetenz.csv", sep = ";", na.strings =
  c("77" , "88,00" , "88" , "99" ) )
> Ergebnisse <- read.csv2("Ergebnisse.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
  , "88,00" , "89" , "99" , "88.00" , 88.00 , 88) )
> Ergebnisse <- Ergebnisse[!(rowSums(is.na(Ergebnisse))>1),]
> Interaktion <- read.csv2("Interaktion.csv", sep = ";", na.strings = c("77
  " , "88,00" , "88" , "99" , 88.00 , 88) )
> Motivation <- read.csv2("Motivation.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
  , "88,00" , "88" , "99" , 88.00 , 88) )
>
>
>
>
> #Reliabilität für Deklaratives Handlungswissen#
> alphaPreDek <- PreTest_Dek[,c("x1.1", "x2.1", "x2.2" , "x3.1" , "x4.1", "
  x4.2", "x5.1", "x6.1", "x6.2", "x7.1", "x8.1", "x8.2", "x9.1", "x10.1", "x1
  0.2")]
> psych::alpha(alphaPreDek, check.keys= TRUE)
```

Reliability analysis

Call: psych::alpha(x = alphaPreDek, check.keys = TRUE)

raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	ase	mean	sd	median_r
0.71	0.7	0.78	0.15	2.4	0.035	0.56	0.19	0.13

lower	alpha	upper	95% confidence boundaries
0.64	0.71	0.78	

Reliability if an item is dropped:

	raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	alpha	se	var.r	med.r
x1.1	0.70	0.69	0.78	0.15	2.3	0.036	0.022	0.13	
x2.1	0.71	0.71	0.79	0.16	2.5	0.035	0.021	0.13	
x2.2	0.71	0.70	0.78	0.15	2.3	0.035	0.022	0.13	
x3.1	0.71	0.70	0.79	0.16	2.4	0.035	0.022	0.13	
x4.1	0.67	0.67	0.72	0.13	2.0	0.040	0.014	0.12	
x4.2	0.68	0.67	0.72	0.14	2.1	0.039	0.014	0.13	
x5.1	0.69	0.68	0.77	0.14	2.2	0.037	0.022	0.12	
x6.1	0.70	0.69	0.76	0.15	2.2	0.036	0.019	0.13	
x6.2	0.69	0.68	0.75	0.14	2.1	0.038	0.019	0.12	
x7.1	0.68	0.68	0.76	0.14	2.1	0.038	0.021	0.12	
x8.1	0.70	0.69	0.77	0.15	2.3	0.036	0.020	0.13	
x9.1	0.70	0.69	0.78	0.15	2.3	0.036	0.022	0.13	
x10.1	0.70	0.68	0.76	0.14	2.2	0.037	0.019	0.13	
x10.2	0.70	0.69	0.76	0.15	2.2	0.036	0.020	0.13	

```

Item statistics
      n raw.r std.r r.cor r.drop mean  sd
x1.1 145 0.44 0.43 0.33 0.29 0.69 0.46
x2.1 145 0.17 0.28 0.16 0.12 0.98 0.14
x2.2 145 0.40 0.40 0.31 0.25 0.61 0.49
x3.1 145 0.33 0.34 0.22 0.19 0.22 0.42
x4.1 145 0.63 0.60 0.66 0.50 0.53 0.50
x4.2 145 0.59 0.57 0.62 0.46 0.50 0.50
x5.1 145 0.48 0.49 0.41 0.34 0.66 0.48
x6.1 145 0.43 0.44 0.40 0.29 0.68 0.47
x6.2 145 0.54 0.52 0.50 0.40 0.46 0.50
x7.1 145 0.57 0.54 0.49 0.44 0.34 0.48
x8.1 145 0.46 0.42 0.36 0.31 0.41 0.49
x9.1 145 0.42 0.41 0.31 0.27 0.70 0.46
x10.1 145 0.43 0.48 0.45 0.34 0.90 0.31
x10.2 145 0.42 0.45 0.39 0.28 0.72 0.45

```

Non missing response frequency for each item

```

      0 1 miss
x1.1 0.31 0.69 0
x2.1 0.02 0.98 0
x2.2 0.39 0.61 0
x3.1 0.78 0.22 0
x4.1 0.47 0.53 0
x4.2 0.50 0.50 0
x5.1 0.34 0.66 0
x6.1 0.32 0.68 0
x6.2 0.54 0.46 0
x7.1 0.66 0.34 0
x8.1 0.59 0.41 0
x9.1 0.30 0.70 0
x10.1 0.10 0.90 0
x10.2 0.28 0.72 0

```

Warning message:

In psych::alpha(alphaPreDek, check.keys = TRUE) :

Item = x8.2 had no variance and was deleted but still is counted in the score

```

> alphaPostDek <- PostTest_Dek[,c("x1.1", "x2.1", "x2.2", "x3.1", "x4.1",
  "x4.2", "x5.1", "x6.1", "x6.2", "x7.1", "x8.1", "x8.2", "x9.1", "x10.1", "x10.2")]

```

```

> psych::alpha(alphaPostDek, check.keys= TRUE)

```

Reliability analysis

Call: psych::alpha(x = alphaPostDek, check.keys = TRUE)

```

raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N ase mean sd median_r
0.61      0.61      0.73      0.094 1.6 0.047 0.69 0.16 0.064

```

lower alpha upper 95% confidence boundaries
0.52 0.61 0.7

Reliability if an item is dropped:

```

raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N alpha se var.r med.r
x1.1      0.59      0.59      0.71      0.092 1.4 0.049 0.026 0.061
x2.1      0.61      0.60      0.72      0.097 1.5 0.048 0.025 0.061
x2.2      0.60      0.58      0.71      0.091 1.4 0.049 0.024 0.063
x3.1      0.61      0.60      0.72      0.097 1.5 0.048 0.025 0.063
x4.1      0.58      0.59      0.66      0.093 1.4 0.050 0.017 0.065
x4.2      0.58      0.59      0.66      0.093 1.4 0.050 0.017 0.067
x5.1      0.60      0.60      0.72      0.097 1.5 0.048 0.025 0.063
x6.1      0.58      0.56      0.68      0.083 1.3 0.051 0.022 0.061
x6.2      0.57      0.56      0.67      0.084 1.3 0.051 0.021 0.064

```

x7.1	0.59	0.58	0.71	0.090	1.4	0.050	0.026	0.057
x8.1	0.59	0.59	0.71	0.092	1.4	0.050	0.026	0.061
x8.2	0.61	0.62	0.74	0.105	1.6	0.047	0.026	0.070
x9.1	0.62	0.62	0.74	0.104	1.6	0.046	0.025	0.070
x10.1	0.60	0.60	0.71	0.098	1.5	0.048	0.024	0.065
x10.2	0.60	0.59	0.70	0.092	1.4	0.048	0.024	0.064

Item statistics

	n	raw.r	std.r	r.cor	r.drop	mean	sd
x1.1	142	0.451	0.42	0.339	0.268	0.655	0.477
x2.1	142	0.224	0.34	0.240	0.176	0.986	0.118
x2.2	142	0.375	0.43	0.365	0.235	0.852	0.356
x3.1	142	0.393	0.35	0.248	0.195	0.408	0.493
x4.1	142	0.484	0.41	0.470	0.311	0.690	0.464
x4.2	142	0.490	0.41	0.480	0.317	0.683	0.467
x5.1	142	0.369	0.35	0.238	0.195	0.754	0.432
x6.1	142	0.508	0.56	0.563	0.401	0.894	0.308
x6.2	142	0.511	0.55	0.557	0.371	0.810	0.394
x7.1	142	0.485	0.45	0.370	0.297	0.507	0.502
x8.1	142	0.465	0.43	0.340	0.281	0.634	0.483
x8.2	142	0.094	0.22	0.079	0.058	0.007	0.084
x9.1	142	0.184	0.23	0.094	0.049	0.887	0.317
x10.1	142	0.304	0.34	0.278	0.186	0.908	0.289
x10.2	142	0.413	0.42	0.361	0.236	0.718	0.451

Non missing response frequency for each item

	0	1	miss
x1.1	0.35	0.65	0
x2.1	0.01	0.99	0
x2.2	0.15	0.85	0
x3.1	0.59	0.41	0
x4.1	0.31	0.69	0
x4.2	0.32	0.68	0
x5.1	0.25	0.75	0
x6.1	0.11	0.89	0
x6.2	0.19	0.81	0
x7.1	0.49	0.51	0
x8.1	0.37	0.63	0
x8.2	0.99	0.01	0
x9.1	0.11	0.89	0
x10.1	0.09	0.91	0
x10.2	0.28	0.72	0

>

>

> #Reliabilität für Kompetenztest#

>

```
> alphaPreKomp <- PreTest_Komp[,c("x1.1","x2.1","x2.2", "x3.1", "x3.2", "x4.1", "x4.2", "x5.1", "x5.2", "x6.1", "x6.2", "x6.3", "x7.1", "x8.1", "x9.1", "x9.2", "x10.1", "x10.2", "x11.1", "x12.1", "x13.1", "x13.2", "x14.1", "x15.1", "x15.2", "x16.1" )]
```

```
> psych::alpha(alphaPreKomp, check.keys= TRUE)
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```



```
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

Reliability analysis

```
Call: psych::alpha(x = alphaPreKomp, check.keys = TRUE)
```

raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	ase	mean	sd	median_r
0.8	0.81	0.89	0.14	4.2	0.023	0.59	0.18	0.12

```
lower alpha upper      95% confidence boundaries
0.75 0.8 0.85
```

Reliability if an item is dropped:

	raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	alpha	se	var.r	med.r
x1.1	0.79	0.80	0.89	0.14	4.1	0.024	0.028	0.12	
x2.1	0.79	0.80	0.88	0.14	4.0	0.024	0.028	0.11	
x2.2	0.79	0.80	0.88	0.14	4.1	0.024	0.028	0.12	
x3.1	0.80	0.80	0.88	0.14	4.1	0.024	0.026	0.12	
x3.2	0.80	0.80	0.88	0.14	4.1	0.024	0.027	0.12	
x4.1-	0.81	0.81	0.89	0.15	4.3	0.022	0.027	0.12	
x4.2-	0.80	0.81	0.89	0.15	4.4	0.023	0.027	0.12	
x5.1	0.79	0.80	0.87	0.14	3.9	0.024	0.026	0.11	
x5.2	0.79	0.80	0.87	0.14	3.9	0.024	0.026	0.11	
x6.1	0.79	0.80	0.88	0.14	4.0	0.024	0.028	0.12	
x6.2	0.80	0.80	0.89	0.14	4.1	0.024	0.028	0.12	
x6.3	0.79	0.80	0.88	0.14	4.0	0.024	0.028	0.12	
x7.1	0.79	0.80	0.89	0.14	4.0	0.024	0.028	0.11	
x8.1	0.79	0.80	0.88	0.14	4.0	0.024	0.028	0.11	
x9.1	0.79	0.80	0.88	0.14	4.0	0.024	0.028	0.12	
x9.2	0.80	0.81	0.89	0.14	4.2	0.023	0.028	0.12	
x10.1	0.79	0.80	0.89	0.14	4.1	0.024	0.028	0.11	
x10.2	0.80	0.80	0.89	0.14	4.1	0.024	0.028	0.11	
x11.1	0.80	0.80	0.89	0.14	4.1	0.024	0.028	0.12	
x12.1	0.80	0.80	0.89	0.14	4.1	0.024	0.028	0.12	
x13.1	0.79	0.79	0.87	0.13	3.8	0.025	0.025	0.11	
x13.2	0.79	0.79	0.87	0.13	3.8	0.025	0.025	0.11	
x14.1	0.79	0.80	0.88	0.14	3.9	0.025	0.028	0.11	
x15.1	0.79	0.79	0.89	0.13	3.8	0.025	0.025	0.11	
x15.2	0.79	0.79	0.89	0.13	3.8	0.025	0.025	0.11	
x16.1	0.79	0.80	0.89	0.14	4.0	0.024	0.029	0.11	

Item statistics

	n	raw.r	std.r	r.cor	r.drop	mean	sd
x1.1	146	0.412	0.37	0.330	0.316	0.46	0.50
x2.1	146	0.432	0.40	0.381	0.339	0.59	0.49
x2.2	146	0.412	0.38	0.350	0.323	0.32	0.47
x3.1	146	0.344	0.36	0.373	0.264	0.80	0.40
x3.2	146	0.361	0.38	0.392	0.277	0.77	0.42
x4.1-	146	0.161	0.17	0.116	0.055	0.60	0.49
x4.2-	146	0.071	0.11	0.048	0.019	0.94	0.24

x5.1	146	0.437	0.51	0.537	0.393	0.94	0.24
x5.2	146	0.436	0.51	0.535	0.390	0.93	0.25
x6.1	146	0.430	0.41	0.391	0.339	0.36	0.48
x6.2	146	0.367	0.35	0.310	0.271	0.63	0.48
x6.3	146	0.456	0.44	0.429	0.385	0.18	0.39
x7.1	146	0.480	0.45	0.407	0.390	0.48	0.50
x8.1	146	0.485	0.47	0.441	0.411	0.23	0.42
x9.1	146	0.390	0.43	0.406	0.327	0.88	0.33
x9.2	146	0.262	0.28	0.236	0.159	0.58	0.49
x10.1	146	0.423	0.39	0.353	0.331	0.63	0.48
x10.2	146	0.369	0.36	0.320	0.287	0.22	0.42
x11.1	146	0.388	0.36	0.328	0.292	0.40	0.49
x12.1	146	0.371	0.35	0.307	0.278	0.33	0.47
x13.1	146	0.557	0.59	0.623	0.493	0.80	0.40
x13.2	146	0.571	0.61	0.641	0.506	0.79	0.41
x14.1	146	0.517	0.50	0.470	0.431	0.49	0.50
x15.1	146	0.548	0.57	0.507	0.480	0.78	0.42
x15.2	146	0.548	0.57	0.507	0.480	0.78	0.42
x16.1	146	0.479	0.46	0.427	0.393	0.36	0.48

Non missing response frequency for each item

	0	1	miss
x1.1	0.54	0.46	0.05
x2.1	0.41	0.59	0.05
x2.2	0.68	0.32	0.05
x3.1	0.20	0.80	0.05
x3.2	0.23	0.77	0.05
x4.1	0.60	0.40	0.05
x4.2	0.94	0.06	0.05
x5.1	0.06	0.94	0.05
x5.2	0.07	0.93	0.05
x6.1	0.64	0.36	0.05
x6.2	0.37	0.63	0.05
x6.3	0.82	0.18	0.05
x7.1	0.52	0.48	0.05
x8.1	0.77	0.23	0.05
x9.1	0.12	0.88	0.05
x9.2	0.42	0.58	0.05
x10.1	0.37	0.63	0.05
x10.2	0.78	0.22	0.05
x11.1	0.60	0.40	0.05
x12.1	0.67	0.33	0.05
x13.1	0.20	0.80	0.05
x13.2	0.21	0.79	0.05
x14.1	0.51	0.49	0.05
x15.1	0.22	0.78	0.05
x15.2	0.22	0.78	0.05
x16.1	0.64	0.36	0.05

There were 24 warnings (use warnings() to see them)

```
> alphaPostKomp <- PostTest_Komp[,c("x1.1","x2.1","x2.2", "x3.1", "x3.2", "
x4.1", "x4.2", "x5.1", "x5.2", "x6.1", "x6.2", "x6.3", "x7.1", "x8.1", "x9.
1", "x9.2", "x10.1", "x10.2", "x11.1", "x12.1", "x13.1", "x13.2", "x14.1",
"x15.1", "x15.2", "x16.1" )]
```

```
> psych::alpha(alphaPostKomp, check.keys= TRUE)
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```
In smc, smcs < 0 were set to .0
```

```

In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0
In smc, smcs < 0 were set to .0

```

Reliability analysis

Call: psych::alpha(x = alphaPostKomp, check.keys = TRUE)

raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	ase	mean	sd	median_r
0.83	0.83	0.87	0.16	5	0.021	0.61	0.19	0.11

lower	alpha	upper	95% confidence boundaries
0.79	0.83	0.87	

Reliability if an item is dropped:

	raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	alpha	se	var.r	med.r
x1.1	0.82	0.83	0.87	0.16	4.9	0.021	0.042	0.12	
x2.1	0.82	0.83	0.86	0.16	4.9	0.021	0.042	0.11	
x2.2	0.82	0.83	0.87	0.16	4.9	0.021	0.044	0.11	
x3.1	0.82	0.82	0.87	0.16	4.7	0.021	0.039	0.11	
x3.2	0.82	0.82	0.87	0.16	4.7	0.021	0.039	0.11	
x4.1-	0.84	0.84	0.87	0.18	5.3	0.019	0.041	0.12	
x4.2	0.83	0.84	0.87	0.17	5.2	0.020	0.043	0.12	
x5.1	0.82	0.82	0.87	0.16	4.6	0.021	0.039	0.11	
x5.2	0.82	0.82	0.87	0.16	4.6	0.021	0.039	0.11	
x6.1	0.81	0.82	0.86	0.16	4.7	0.022	0.041	0.11	
x6.2	0.81	0.82	0.85	0.15	4.5	0.023	0.040	0.11	
x6.3	0.81	0.82	0.86	0.15	4.5	0.023	0.040	0.11	
x7.1	0.82	0.82	0.86	0.16	4.7	0.022	0.043	0.11	
x8.1	0.82	0.83	0.87	0.16	4.9	0.021	0.044	0.12	
x9.1	0.82	0.83	0.87	0.16	4.8	0.021	0.043	0.12	
x9.2	0.82	0.83	0.87	0.16	4.8	0.021	0.044	0.11	
x10.1	0.82	0.83	0.86	0.16	4.8	0.021	0.043	0.11	
x10.2	0.83	0.83	0.87	0.17	5.0	0.020	0.044	0.12	
x11.1	0.82	0.82	0.86	0.16	4.7	0.022	0.043	0.11	
x12.1	0.81	0.82	0.86	0.16	4.6	0.022	0.042	0.11	
x13.1	0.82	0.82	0.87	0.16	4.7	0.021	0.041	0.11	
x13.2	0.82	0.82	0.87	0.16	4.7	0.021	0.041	0.11	
x14.1	0.82	0.83	0.86	0.16	4.8	0.021	0.044	0.11	
x15.1	0.82	0.82	0.87	0.16	4.7	0.021	0.041	0.11	
x15.2	0.82	0.82	0.87	0.16	4.7	0.021	0.041	0.11	
x16.1	0.83	0.83	0.87	0.17	5.0	0.020	0.043	0.11	

Item statistics

	n	raw.r	std.r	r.cor	r.drop	mean	sd
x1.1	144	0.378	0.323	0.295	0.285	0.604	0.49

x2.1	144	0.410	0.362	0.350	0.323	0.653	0.48
x2.2	144	0.400	0.370	0.340	0.315	0.312	0.47
x3.1	144	0.462	0.536	0.480	0.401	0.854	0.35
x3.2	144	0.462	0.536	0.480	0.401	0.854	0.35
x4.1-	144	0.028	0.037	-0.025	-0.075	0.562	0.50
x4.2	144	0.113	0.135	0.069	0.056	0.083	0.28
x5.1	144	0.450	0.541	0.485	0.400	0.910	0.29
x5.2	144	0.450	0.541	0.485	0.400	0.910	0.29
x6.1	144	0.578	0.520	0.536	0.502	0.479	0.50
x6.2	144	0.675	0.635	0.670	0.614	0.382	0.49
x6.3	144	0.697	0.650	0.682	0.640	0.347	0.48
x7.1	144	0.543	0.488	0.480	0.466	0.625	0.49
x8.1	144	0.380	0.356	0.315	0.292	0.319	0.47
x9.1	144	0.358	0.390	0.370	0.298	0.882	0.32
x9.2	144	0.390	0.405	0.381	0.305	0.708	0.46
x10.1	144	0.479	0.435	0.424	0.398	0.660	0.48
x10.2	144	0.285	0.271	0.226	0.198	0.264	0.44
x11.1	144	0.556	0.517	0.514	0.478	0.451	0.50
x12.1	144	0.602	0.568	0.571	0.530	0.431	0.50
x13.1	144	0.445	0.518	0.461	0.388	0.875	0.33
x13.2	144	0.445	0.518	0.461	0.388	0.875	0.33
x14.1	144	0.489	0.449	0.433	0.408	0.660	0.48
x15.1	144	0.454	0.519	0.462	0.392	0.854	0.35
x15.2	144	0.454	0.519	0.462	0.392	0.854	0.35
x16.1	144	0.319	0.278	0.247	0.222	0.535	0.50

Non missing response frequency for each item

0 1 miss

x1.1	0.40	0.60	0
x2.1	0.35	0.65	0
x2.2	0.69	0.31	0
x3.1	0.15	0.85	0
x3.2	0.15	0.85	0
x4.1	0.56	0.44	0
x4.2	0.92	0.08	0
x5.1	0.09	0.91	0
x5.2	0.09	0.91	0
x6.1	0.52	0.48	0
x6.2	0.62	0.38	0
x6.3	0.65	0.35	0
x7.1	0.38	0.62	0
x8.1	0.68	0.32	0
x9.1	0.12	0.88	0
x9.2	0.29	0.71	0
x10.1	0.34	0.66	0
x10.2	0.74	0.26	0
x11.1	0.55	0.45	0
x12.1	0.57	0.43	0
x13.1	0.12	0.88	0
x13.2	0.12	0.88	0
x14.1	0.34	0.66	0
x15.1	0.15	0.85	0
x15.2	0.15	0.85	0
x16.1	0.47	0.53	0

There were 29 warnings (use warnings() to see them)

>

>

> #Reliabilität Interaktion#

> alphaInter <- Interaktion[,c("Start...Play", "Pause", "Vorspulen","zurück
spulen", "Minimieren...Verlassen", "Maximieren...Öfnen")]

> psych::alpha(alphaInter, check.keys = TRUE)

Number of categories should be increased in order to count frequencies.

Reliability analysis

Call: psych::alpha(x = alphaInter, check.keys = TRUE)

raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	ase	mean	sd	median_r
0.79	0.79	0.91	0.39	3.8	0.024	3.6	3.1	0.34

lower	alpha	upper	95% confidence boundaries
0.74	0.79	0.84	

Reliability if an item is dropped:

	raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	alpha	se	v
ar.r med.r								
Start...Play	0.72	0.74	0.83	0.36	2.8	0.034	0	
.072 0.36								
Pause	0.73	0.75	0.84	0.37	3.0	0.033	0	
.072 0.37								
Vorspulen	0.77	0.76	0.93	0.39	3.2	0.027	0	
.119 0.18								
Zurückspulen	0.76	0.77	0.92	0.41	3.4	0.029	0	
.096 0.32								
Minimieren...Verlassen	0.78	0.77	0.82	0.40	3.3	0.024	0	
.059 0.38								
Maximieren...Öfnen	0.78	0.76	0.82	0.39	3.2	0.024	0	
.062 0.37								

Item statistics

	n	raw.r	std.r	r.cor	r.drop	mean	sd
Start...Play	122	0.83	0.77	0.78	0.70	5.6	5.4
Pause	121	0.80	0.73	0.74	0.66	5.4	5.3
Vorspulen	121	0.67	0.69	0.56	0.51	2.1	4.2
Zurückspulen	122	0.68	0.65	0.53	0.52	3.7	4.5
Minimieren...Verlassen	122	0.59	0.67	0.70	0.43	2.5	3.7
Maximieren...Öfnen	122	0.60	0.68	0.71	0.46	2.2	3.4

>

> #Nutzungsverhalten gesamt#

>

> alphaNutzunggesamt <- Motivation[,c("av1", "av2", "av3", "av4", "av5", "av6", "av7", "av8", "av9", "av10", "iv1", "iv2", "iv3", "iv4", "iv5", "iv6", "iv7", "iv8", "iv9", "iv10", "iv11", "iv12", "iv13", "iv14", "iv15")]

> psych::alpha(alphaNutzunggesamt, check.keys = TRUE)

Reliability analysis

Call: psych::alpha(x = alphaNutzunggesamt, check.keys = TRUE)

raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	ase	mean	sd	median_r
0.86	0.88	0.92	0.23	7.4	0.018	2.2	0.38	0.22

lower	alpha	upper	95% confidence boundaries
0.83	0.86	0.9	

Reliability if an item is dropped:

	raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	alpha	se	var.r	med.r
av1	0.85	0.87	0.91	0.22	6.8	0.019	0.019	0.21	
av2	0.86	0.88	0.91	0.23	7.1	0.019	0.020	0.22	
av3	0.86	0.88	0.91	0.23	7.1	0.019	0.020	0.22	
av4	0.87	0.88	0.92	0.24	7.6	0.017	0.019	0.23	
av5	0.86	0.87	0.91	0.22	7.0	0.019	0.020	0.22	
av6	0.86	0.88	0.91	0.23	7.0	0.018	0.020	0.22	
av7	0.86	0.88	0.91	0.23	7.0	0.019	0.020	0.22	
av8	0.86	0.88	0.92	0.24	7.4	0.018	0.020	0.23	
av9	0.86	0.88	0.91	0.23	7.1	0.018	0.021	0.22	

av10	0.85	0.87	0.91	0.22	6.7	0.019	0.019	0.21
iv1	0.87	0.89	0.92	0.24	7.7	0.016	0.018	0.24
iv2	0.87	0.88	0.92	0.24	7.4	0.017	0.020	0.23
iv3	0.86	0.88	0.91	0.23	7.1	0.018	0.021	0.22
iv4	0.86	0.88	0.91	0.23	7.0	0.018	0.020	0.22
iv5	0.86	0.88	0.91	0.23	7.1	0.018	0.019	0.22
iv6	0.86	0.88	0.91	0.23	7.0	0.018	0.020	0.22
iv7	0.86	0.88	0.91	0.23	7.1	0.018	0.019	0.22
iv8	0.86	0.88	0.91	0.23	7.2	0.018	0.021	0.22
iv9	0.86	0.87	0.91	0.22	6.9	0.019	0.020	0.21
iv10	0.86	0.87	0.91	0.23	7.0	0.018	0.020	0.22
iv11	0.86	0.87	0.91	0.22	6.9	0.018	0.019	0.22
iv12	0.86	0.88	0.91	0.23	7.1	0.018	0.020	0.22
iv13	0.85	0.87	0.91	0.22	6.9	0.019	0.020	0.21
iv14	0.86	0.88	0.91	0.23	7.2	0.018	0.020	0.22
iv15	0.85	0.87	0.91	0.22	6.8	0.019	0.020	0.21

Item statistics

	n	raw.r	std.r	r.cor	r.drop	mean	sd
av1	125	0.67	0.66	0.66	0.61	2.4	0.78
av2	124	0.58	0.53	0.52	0.48	1.9	0.91
av3	125	0.54	0.52	0.51	0.48	1.8	0.87
av4	123	0.29	0.25	0.20	0.17	1.7	0.94
av5	123	0.57	0.58	0.57	0.53	2.4	0.58
av6	122	0.52	0.53	0.51	0.47	2.3	0.75
av7	120	0.55	0.55	0.54	0.49	2.0	0.74
av8	123	0.32	0.32	0.28	0.25	2.0	0.72
av9	120	0.51	0.48	0.45	0.44	1.9	0.91
av10	123	0.69	0.71	0.71	0.66	2.4	0.63
iv1	122	0.26	0.19	0.13	0.13	1.2	1.16
iv2	121	0.37	0.32	0.27	0.27	1.2	1.05
iv3	121	0.54	0.50	0.47	0.45	2.0	1.00
iv4	123	0.49	0.54	0.52	0.45	2.7	0.58
iv5	122	0.45	0.50	0.47	0.40	2.5	0.66
iv6	122	0.53	0.55	0.54	0.48	2.5	0.65
iv7	122	0.48	0.51	0.50	0.42	2.2	0.76
iv8	118	0.44	0.43	0.39	0.36	2.2	0.86
iv9	122	0.59	0.63	0.62	0.55	2.7	0.53
iv10	119	0.54	0.57	0.54	0.48	2.6	0.65
iv11	121	0.56	0.60	0.60	0.51	2.6	0.59
iv12	121	0.50	0.53	0.51	0.44	2.4	0.67
iv13	120	0.62	0.63	0.61	0.57	2.4	0.74
iv14	120	0.42	0.46	0.42	0.37	2.6	0.63
iv15	114	0.62	0.64	0.63	0.58	2.5	0.68

Non missing response frequency for each item

	0	1	2	3	miss
av1	0.03	0.09	0.34	0.54	0.00
av2	0.10	0.20	0.45	0.25	0.01
av3	0.07	0.26	0.43	0.23	0.00
av4	0.11	0.27	0.39	0.23	0.02
av5	0.00	0.05	0.50	0.46	0.02
av6	0.02	0.11	0.43	0.43	0.02
av7	0.04	0.16	0.58	0.22	0.04
av8	0.02	0.21	0.53	0.24	0.02
av9	0.06	0.27	0.36	0.32	0.04
av10	0.01	0.06	0.48	0.46	0.02
iv1	0.39	0.19	0.24	0.19	0.02
iv2	0.33	0.28	0.25	0.14	0.03
iv3	0.12	0.12	0.38	0.37	0.03
iv4	0.01	0.03	0.23	0.73	0.02
iv5	0.01	0.07	0.37	0.56	0.02

```

iv6  0.02 0.03 0.36 0.59 0.02
iv7  0.01 0.19 0.41 0.39 0.02
iv8  0.05 0.13 0.38 0.44 0.06
iv9  0.01 0.02 0.22 0.75 0.02
iv10 0.01 0.06 0.29 0.64 0.05
iv11 0.01 0.02 0.36 0.61 0.03
iv12 0.01 0.07 0.39 0.53 0.03
iv13 0.03 0.07 0.34 0.56 0.04
iv14 0.02 0.03 0.24 0.71 0.04
iv15 0.01 0.08 0.33 0.58 0.09
>
> #Nutzungsverhalten AV#
>
> alphaAV <- Motivation[,c("av1", "av2", "av3", "av4", "av5", "av6", "av7",
"av8", "av9", "av10")]
> psych::alpha(alphaAV, check.keys = TRUE )

```

Reliability analysis

Call: psych::alpha(x = alphaAV, check.keys = TRUE)

raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	ase	mean	sd	median_r
0.81	0.82	0.84	0.31	4.6	0.026	2.1	0.48	0.28

lower alpha upper 95% confidence boundaries
0.76 0.81 0.86

Reliability if an item is dropped:

	raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	alpha	se	var.r	med.r
av1	0.77	0.79	0.81	0.29	3.7	0.031	0.021	0.27	
av2	0.78	0.80	0.82	0.31	4.0	0.030	0.024	0.27	
av3	0.78	0.80	0.82	0.31	4.1	0.029	0.024	0.27	
av4	0.83	0.83	0.85	0.36	5.0	0.023	0.021	0.37	
av5	0.78	0.79	0.82	0.30	3.8	0.029	0.028	0.27	
av6	0.79	0.81	0.83	0.32	4.3	0.028	0.029	0.28	
av7	0.78	0.79	0.82	0.30	3.8	0.030	0.028	0.26	
av8	0.81	0.82	0.84	0.34	4.7	0.026	0.028	0.37	
av9	0.80	0.81	0.84	0.33	4.4	0.027	0.032	0.35	
av10	0.77	0.79	0.81	0.29	3.7	0.030	0.027	0.27	

Item statistics

	n	raw.r	std.r	r.cor	r.drop	mean	sd
av1	125	0.74	0.75	0.74	0.65	2.4	0.78
av2	124	0.69	0.66	0.64	0.56	1.9	0.91
av3	125	0.65	0.64	0.60	0.53	1.8	0.87
av4	123	0.38	0.36	0.25	0.20	1.7	0.94
av5	123	0.69	0.71	0.68	0.61	2.4	0.58
av6	122	0.57	0.58	0.52	0.45	2.3	0.75
av7	120	0.70	0.71	0.68	0.60	2.0	0.74
av8	123	0.46	0.47	0.37	0.33	2.0	0.72
av9	120	0.57	0.55	0.47	0.42	1.9	0.91
av10	123	0.74	0.76	0.75	0.67	2.4	0.63

Non missing response frequency for each item

	0	1	2	3	miss
av1	0.03	0.09	0.34	0.54	0.00
av2	0.10	0.20	0.45	0.25	0.01
av3	0.07	0.26	0.43	0.23	0.00
av4	0.11	0.27	0.39	0.23	0.02
av5	0.00	0.05	0.50	0.46	0.02
av6	0.02	0.11	0.43	0.43	0.02
av7	0.04	0.16	0.58	0.22	0.04
av8	0.02	0.21	0.53	0.24	0.02

```
av9  0.06 0.27 0.36 0.32 0.04
av10 0.01 0.06 0.48 0.46 0.02
>
>
> #Nutzungsverhalten IV#
>
> alphaIV <- Motivation[,c("iv1", "iv2", "iv3", "iv4", "iv5", "iv6", "iv7",
"iv8", "iv9", "iv10", "iv11", "iv12", "iv13", "iv14", "iv15")]
> psych::alpha(alphaIV, check.keys = TRUE )
```

Reliability analysis

Call: psych::alpha(x = alphaIV, check.keys = TRUE)

raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	ase	mean	sd	median_r
0.8	0.84	0.87	0.26	5.2	0.026	2.3	0.4	0.28

lower	alpha	upper	95% confidence boundaries
0.75	0.8	0.86	

Reliability if an item is dropped:

	raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	alpha	se	var.r	med.r
iv1	0.83	0.85	0.87	0.29	5.7	0.023	0.018	0.30	
iv2	0.82	0.85	0.87	0.28	5.5	0.024	0.020	0.30	
iv3	0.79	0.83	0.86	0.26	5.0	0.028	0.024	0.28	
iv4	0.79	0.82	0.85	0.25	4.7	0.028	0.022	0.26	
iv5	0.79	0.83	0.85	0.26	4.8	0.028	0.022	0.26	
iv6	0.79	0.82	0.85	0.25	4.7	0.029	0.023	0.26	
iv7	0.79	0.83	0.85	0.25	4.7	0.028	0.022	0.26	
iv8	0.80	0.84	0.86	0.27	5.2	0.027	0.024	0.29	
iv9	0.79	0.82	0.85	0.25	4.7	0.028	0.022	0.26	
iv10	0.79	0.82	0.85	0.25	4.7	0.029	0.023	0.26	
iv11	0.79	0.82	0.85	0.25	4.7	0.028	0.021	0.26	
iv12	0.79	0.83	0.85	0.26	4.8	0.028	0.022	0.26	
iv13	0.78	0.82	0.85	0.25	4.7	0.029	0.024	0.25	
iv14	0.80	0.83	0.86	0.26	5.0	0.027	0.023	0.28	
iv15	0.78	0.82	0.85	0.25	4.6	0.029	0.023	0.25	

Item statistics

	n	raw.r	std.r	r.cor	r.drop	mean	sd
iv1	122	0.33	0.23	0.13	0.13	1.2	1.16
iv2	121	0.36	0.29	0.20	0.20	1.2	1.05
iv3	121	0.57	0.50	0.45	0.43	2.0	1.00
iv4	123	0.60	0.65	0.63	0.54	2.7	0.58
iv5	122	0.55	0.59	0.56	0.47	2.5	0.66
iv6	122	0.61	0.64	0.62	0.55	2.5	0.65
iv7	122	0.59	0.62	0.60	0.51	2.2	0.76
iv8	118	0.45	0.44	0.37	0.33	2.2	0.86
iv9	122	0.59	0.64	0.61	0.53	2.7	0.53
iv10	119	0.62	0.65	0.62	0.54	2.6	0.65
iv11	121	0.61	0.66	0.65	0.54	2.6	0.59
iv12	121	0.55	0.59	0.57	0.47	2.4	0.67
iv13	120	0.64	0.63	0.60	0.56	2.4	0.74
iv14	120	0.47	0.51	0.46	0.38	2.6	0.63
iv15	114	0.67	0.69	0.68	0.61	2.5	0.68

Non missing response frequency for each item

	0	1	2	3	miss
iv1	0.39	0.19	0.24	0.19	0.02
iv2	0.33	0.28	0.25	0.14	0.03
iv3	0.12	0.12	0.38	0.37	0.03
iv4	0.01	0.03	0.23	0.73	0.02
iv5	0.01	0.07	0.37	0.56	0.02

iv6	0.02	0.03	0.36	0.59	0.02
iv7	0.01	0.19	0.41	0.39	0.02
iv8	0.05	0.13	0.38	0.44	0.06
iv9	0.01	0.02	0.22	0.75	0.02
iv10	0.01	0.06	0.29	0.64	0.05
iv11	0.01	0.02	0.36	0.61	0.03
iv12	0.01	0.07	0.39	0.53	0.03
iv13	0.03	0.07	0.34	0.56	0.04
iv14	0.02	0.03	0.24	0.71	0.04
iv15	0.0				

Anhang 12 – Ermittlung signifikanter Unterschiede

```
> setwd("C:/Users/Fabian Sterzing/sciebo/Erhebung/Für R")
> getwd()
[1] "C:/Users/Fabian Sterzing/sciebo/Erhebung/Für R"
> maxNA <- 5
> library("lavaan")
> library(car)
> library(psych)
> library(semPlot)
> library(rcompanion)
> library(tidyverse)
> library(ggpubr)
> library(rstatix)
>
> PreTest_Dek <- read.csv2("Pre-Deklarativ.csv", sep = ";", na.strings = c(
  "77" , "88", "89", "99") )
> PreTest_Komp <- read.csv2("Pre-Kompetenz.csv", sep = ";", na.strings = c(
  "77" , "88", "89", "99") )
> PostTest_Dek <- read.csv2("Post-Deklarativ.csv", sep = ";", na.strings =
  c("77" , "88", "89", "99") )
> PostTest_Komp <- read.csv2("Post-Kompetenz.csv", sep = ";", na.strings =
  c("77" , "88,00", "89", "99") )
> Ergebnisse <- read.csv2("Ergebnisse.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
  , "88,00", "89", "99", "88.00", 88.00, 88) )
> Ergebnisse3 <- read.csv2("Ergebnisse3.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
  , "88,00", "89", "99", "88.00", 88.00, 88) )
>
> Interaktion <- read.csv2("Interaktion.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
  , "88,00", "88", "99", 88.00, 88) )
> Motivation <- read.csv2("Motivation.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
  , "88,00", "88", "99", 88.00, 88) )
>
>
> #Überprüfen: Signifikante Unterschiede zwischen T1 und T2# #signifikant#
>
> wilcox.test(Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard, Ergebnisse3$Post.Deklarati
  v.Hard, paired=T, alternative = "less")
```

Wilcoxon signed rank test with continuity correction

data: Ergebnisse3\$Score.Declarativ.hard and Ergebnisse3\$Post.Deklarativ.Hard

V = 1276, p-value = 2.704e-11

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

```
>
> median(Ergebnisse$Score.Declarativ.hard, na.rm= TRUE)
[1] 0.56
> median(Ergebnisse$Post.Deklarativ.Hard, na.rm= TRUE)
[1] 0.69
> wilcoxonPairedR(x= Ergebnisse3$Post.Deklarativ.Hard, g= Ergebnisse3$Score
  .Declarativ.hard)
      r
0.577
>
>
> wilcox.test(Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard, Ergebnisse3$Post.Komp.Hard,
  paired=T, alternative = "less")
```

Wilcoxon signed rank test with continuity correction

```

data: Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard and Ergebnisse3$Post.Komp.Hard
V = 2891.5, p-value = 6.236e-05
alternative hypothesis: true location shift is less than 0

>
> median(Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard, na.rm= TRUE)
[1] 0.54
>
> median(Ergebnisse3$Post.Komp.Hard, na.rm= TRUE)
[1] 0.62
> wilcoxonPairedR(x= Ergebnisse3$Post.Komp.Hard, g= Ergebnisse3$Score.Kompe
tenz.Hard)
      r
0.316
>
>
> #Signifikante Unterschiede bei reinen Scores#
> getOption("na.action")
[1] "na.omit"
> kruskal.test(Ergebnisse3$Post.Deklarativ.Hard~Ergebnisse3$Gruppe4)

      Kruskal-wallis rank sum test

data: Ergebnisse3$Post.Deklarativ.Hard by Ergebnisse3$Gruppe4
Kruskal-wallis chi-squared = 1.2346, df = 3, p-value = 0.7447

> kruskal.test(Ergebnisse3$Post.Deklarativ.Hard~Ergebnisse3$Video)

      Kruskal-wallis rank sum test

data: Ergebnisse3$Post.Deklarativ.Hard by Ergebnisse3$Video
Kruskal-wallis chi-squared = 0.029179, df = 1, p-value = 0.8644

> kruskal.test(Ergebnisse3$Post.Deklarativ.Hard~Ergebnisse3$Blended)

      Kruskal-wallis rank sum test

data: Ergebnisse3$Post.Deklarativ.Hard by Ergebnisse3$Blended
Kruskal-wallis chi-squared = 1.1208, df = 1, p-value = 0.2897

> kruskal.test(Ergebnisse3$Post.Komp.Hard~Ergebnisse3$Gruppe4)

      Kruskal-wallis rank sum test

data: Ergebnisse3$Post.Komp.Hard by Ergebnisse3$Gruppe4
Kruskal-wallis chi-squared = 1.5933, df = 3, p-value = 0.6609

> kruskal.test(Ergebnisse3$Post.Komp.Hard~Ergebnisse3$Video)

      Kruskal-wallis rank sum test

data: Ergebnisse3$Post.Komp.Hard by Ergebnisse3$Video
Kruskal-wallis chi-squared = 0.64939, df = 1, p-value = 0.4203

> kruskal.test(Ergebnisse3$Post.Komp.Hard~Ergebnisse3$Blended)

      Kruskal-wallis rank sum test

data: Ergebnisse3$Post.Komp.Hard by Ergebnisse3$Blended
Kruskal-wallis chi-squared = 1.0142, df = 1, p-value = 0.3139

```

```
>
> #Signifikante Änderungen bei maximal möglichem Zuwachs#
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek ~ Ergebnisse3$Gruppe4)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Dek 146      6.12     3 0.106 Kruskal-wallis
> describeBy(Ergebnisse3$Max.Dek, Ergebnisse3$Blended)

Descriptive statistics by group
group: 1
  vars  n mean  sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
e
x1     1 68 0.25 0.43  0.32    0.29 0.33 -1.5 1.01  2.51 -1.13    2.65 0.0
5
-----
group: 2
  vars  n mean  sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
e
x1     1 74 0.09 0.69  0.25    0.2 0.37 -3 0.9  3.9 -2    4.86 0.08
> describeBy(Ergebnisse3$Max.Komp, Ergebnisse3$Blended)

Descriptive statistics by group
group: 1
  vars  n mean  sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
e
x1     1 68 0.01 0.89  0.21    0.13 0.52 -6 0.8  6.8 -4.65    28.03 0.11
-----
group: 2
  vars  n mean  sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
e
x1     1 74 0.03 0.6  0.24    0.12 0.46 -2.33 0.8  3.13 -1.52    2.62 0.07
> describeBy(Ergebnisse3$Max.Komp, Ergebnisse3$Video)

Descriptive statistics by group
group: 1
  vars  n mean  sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
e
x1     1 70 -0.09 0.91  0    0.05 0.49 -6 0.8  6.8 -4.07    22.84 0.11
-----
group: 2
  vars  n mean  sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
e
x1     1 72 0.12 0.53  0.28    0.2 0.33 -2.33 0.8  3.13 -1.81    4.87 0.0
6
>
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek ~ Ergebnisse3$Video)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Dek 146    0.0122     1 0.912 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek ~ Ergebnisse3$Blended)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Dek 146    0.591     1 0.442 Kruskal-wallis
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp ~ Ergebnisse3$Gruppe4)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
```

```

1 Ergebnisse3$Max.Komp 146 2.95 3 0.399 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp ~ Ergebnisse3$Video)
# A tibble: 1 x 6
  .y. n statistic df p method
* <chr> <int> <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp 146 2.72 1 0.0992 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp ~ Ergebnisse3$Blended)
# A tibble: 1 x 6
  .y. n statistic df p method
* <chr> <int> <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp 146 0.00151 1 0.969 Kruskal-wallis
>
> #Extremgruppenvergleich#
> describeBy(Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard, Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)

```

Descriptive statistics by group

```

group: 1
  vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 44 0.35 0.08 0.38 0.36 0.09 0.13 0.44 0.31 -0.82 0.02 0.01
-----
group: 2
  vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 51 0.57 0.05 0.56 0.58 0.09 0.5 0.63 0.13 -0.23 -1.54 0.01
-----
group: 3
  vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 50 0.78 0.08 0.75 0.77 0.09 0.69 0.94 0.25 0.57 -0.94 0.01
> describeBy(Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard, Ergebnisse3$Extremgruppe)

```

Descriptive statistics by group

```

group: 1
  vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 49 0.34 0.12 0.38 0.36 0.1 0 0.46 0.46 -1.23 1.01 0.02
-----
group: 2
  vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 51 0.56 0.05 0.54 0.56 0.06 0.5 0.62 0.12 0.14 -1.45 0.01
-----
group: 3
  vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 46 0.74 0.08 0.73 0.73 0.09 0.65 0.96 0.31 0.92 0.06 0.01
>
> #Auf Normalverteilung prüfen#
> shapiro_test(Ergebnisse3$Max.Dek)
# A tibble: 1 x 3
  variable statistic p.value
<chr> <dbl> <dbl>
1 Ergebnisse3$Max.Dek 0.825 9.76e-12
> shapiro_test(Ergebnisse3$Max.Komp)
# A tibble: 1 x 3
  variable statistic p.value
<chr> <dbl> <dbl>
1 Ergebnisse3$Max.Komp 0.681 3.66e-16

```

Descriptive statistics by group

```
group: 1
  vars  n mean   sd median trimmed  mad   min max range  skew kurtosis   se
x1     1 42 0.45 0.24   0.45   0.46 0.22 -0.2 0.9   1.1 -0.33   -0.16 0.04
-----
group: 2
  vars  n mean   sd median trimmed  mad   min max range  skew kurtosis   se
x1     1 51 0.27 0.34   0.25   0.28 0.37 -0.67 0.88  1.55 -0.41    0.46 0.05
-----
group: 3
  vars  n mean   sd median trimmed  mad   min max range  skew kurtosis   se
x1     1 49 -0.19 0.79    0   -0.1 0.59  -3 1.01  4.01 -1.24    1.78 0.11
Warning message:
describe.by is deprecated. Please use the describeBy function
> pairwise.wilcox.test(Ergebnisse3$Max.Komp, Ergebnisse3$Extremgruppe, paired=FALSE, p.adjust = "bonferroni")

Pairwise comparisons using wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: Ergebnisse3$Max.Komp and Ergebnisse3$Extremgruppe

    1      2
2 0.031  -
3 6.5e-05 0.013

P value adjustment method: bonferroni
Warning message:
In wilcox.test.default(xi, xj, paired = paired, ...) :
  kann bei Bindungen keinen exakten p-wert Berechnen
> describe.by(Ergebnisse3$Max.Komp, Ergebnisse3$Extremgruppe)

Descriptive statistics by group
group: 1
  vars  n mean   sd median trimmed  mad   min max range  skew kurtosis   se
x1     1 48 0.32 0.26   0.36   0.32 0.25 -0.27 0.8   1.07 -0.24   -0.72 0.04
-----
group: 2
  vars  n mean   sd median trimmed  mad   min max range  skew kurtosis   se
x1     1 50 0.13 0.38   0.19   0.13 0.43 -0.83 0.8   1.63 -0.24   -0.71 0.05
-----
group: 3
  vars  n mean   sd median trimmed  mad   min max range  skew kurtosis   se
x1     1 44 -0.42 1.13  -0.25  -0.27 0.88  -6 0.78  6.78 -2.73   10.76 0.17
Warning message:
describe.by is deprecated. Please use the describeBy function
>
>
> #Signifikante Unterschiede Erklärvideo Nutzung zu Video#
```

```

> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.V~Ergebnisse3$Video)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Summe.V 146    0.738     1 0.39 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.V~Ergebnisse3$Gruppe4)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Summe.V 146    1.92      3 0.589 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.V~Ergebnisse3$Blended)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Summe.V 146    0.00927     1 0.923 Kruskal-wallis
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.AV~Ergebnisse3$Video)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Summe.AV 146    1.97      1 0.161 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.AV~Ergebnisse3$Gruppe4)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Summe.AV 146    2.11      3 0.549 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.AV~Ergebnisse3$Blended)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Summe.AV 146    0.00767     1 0.93 Kruskal-wallis
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.IV~Ergebnisse3$Video)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Summe.IV 146    0.00937     1 0.923 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.IV~Ergebnisse3$Gruppe4)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Summe.IV 146    2.99      3 0.394 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.IV~Ergebnisse3$Blended)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Summe.IV 146    2.78      1 0.0956 Kruskal-wallis
>
>
> #Signifikante Unterschiede Interaktion und Treatmentgruppe#
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Interaktionen~Ergebnisse3$Video)#si
gnifikant#
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Interaktionen 146    3.87      1 0.0492 Kruskal-wallis
> describe.by(Ergebnisse3$Interaktionen, Ergebnisse3$Video)

```

Descriptive statistics by group

```

group: 1
  vars  n  mean  sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
x1    1  68 17.01 17.1    11  14.75 12.6   0 106  106 2.32    8.62 2.07

```

```
-----
group: 2
  vars  n mean    sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
x1     1 67 12.4 13.22      8  10.27 8.9   0 53   53  1.4      1.2 1.62
Warning message:
describe.by is deprecated. Please use the describeBy function
> kruskal_effsize(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Interaktionen~Ergebnisse3$Video)
# A tibble: 1 x 5
  .y.          n effsize method  magnitude
* <chr>          <int>    <dbl> <chr>    <ord>
1 Ergebnisse3$Interaktionen  146  0.0199 eta2[H] small
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Interaktionen~Ergebnisse3$Gruppe4)
#signifikant#
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>          <int>    <dbl> <int>    <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Interaktionen  146    19.1     3 0.000258 kruskal-wallis
> describeBy(Ergebnisse3$Interaktionen, Ergebnisse3$Gruppe4)
```

Descriptive statistics by group

```
group: 1
  vars  n mean    sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  s
e
x1     1 34 24.88 20.03   22.5   22.61 20.76   2 106   104 1.85      5.37 3.4
3
```

```
-----
group: 2
  vars  n mean    sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
x1     1 30 14.7 16.77      8  12.17 10.38   0 53   53 1.07     -0.34 3.06
-----
```

```
group: 3
  vars  n mean    sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
x1     1 34 9.15 8.06    7.5      8 7.41   0 33   33 1.31      1.4 1.38
-----
```

```
group: 4
  vars  n mean    sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
x1     1 37 10.54 9.28      8   9.58 7.41   0 35   35 0.94     -0.14 1.53
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Interaktionen~Ergebnisse3$Blended)#
signifikant#
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>          <int>    <dbl> <int>    <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Interaktionen  146    9.66     1 0.00189 kruskal-wallis
> kruskal_effsize(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Interaktionen~Ergebnisse3$Blende
d)
# A tibble: 1 x 5
  .y.          n effsize method  magnitude
* <chr>          <int>    <dbl> <chr>    <ord>
1 Ergebnisse3$Interaktionen  146  0.0601 eta2[H] moderate
> describeBy(Ergebnisse3$Interaktionen, Ergebnisse3$Blended)
```

Descriptive statistics by group

```
group: 1
  vars  n mean    sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  s
e
x1     1 64 20.11 19.13   14.5   17.9 17.05   0 106   106 1.59      4.21 2.3
9
```



```
-----
group: 2
  vars  n mean   sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis   se
x1     1 71 9.87 8.68      8   8.68 7.41  0 35   35 1.13    0.56 1.03
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Vorspulen~Ergebnisse3$Video)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Vorspulen 146      0.183     1 0.669 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Zurückspulen~Ergebnisse3$Video)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Zurückspulen 146      0.134     1 0.715 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Start...Play~Ergebnisse3$Video)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Start...Play 146      2.33      1 0.127 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Interkationen.pro.Minute~Ergebnisse
3$Video)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Interkationen.pro.Minute 146      2.16      1 0.142 Kruskal-
wallis
>
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek ~ Ergebnisse3$Extremgruppe.
Interaktionen)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Dek 146      1.13      2 0.569 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp ~ Ergebnisse3$Extremgruppe
.Interaktionen)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp 146      1.96      2 0.375 Kruskal-wallis
>
>
> #signifikante Unterschiede Betrachtungszeit und Treatmentgruppe#
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Betrachtungszeit..sek.~Ergebnisse3$
Video) #fast signifikant#
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Betrachtungszeit..sek. 146      3.64      1 0.0566 Kruskal-w
allis
> describeBy(Ergebnisse3$Betrachtungszeit..sek., Ergebnisse3$Video)
```

```
Descriptive statistics by group
group: 1
  vars  n   mean      sd median trimmed   mad min  max range skew kurtosis   se
x1     1 64 638.05 183.06  597.5  618.81 124.54   0 1204  1204 0.56    2.97
22.88
-----
-----
```

```
group: 2
```

```

vars  n   mean    sd median trimmed   mad min  max range skew kurtosis  se
x1    1 61 593.18 298.93    566  581.67 139.36    0 1787  1787 0.93      3.53
38.27
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Betrachtungszeit..sek.~Ergebnisse3$
Gruppe4)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Betrachtungszeit..sek.  146      5.36      3 0.147 Kruskal-wa
llis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Betrachtungszeit..sek.~Ergebnisse3$
Blended)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Betrachtungszeit..sek.  146      0.547      1 0.459 Kruskal-wa
llis
>
>
> #Signifikante Unterschiede Erklärvideo Nutzung zu Extremgruppen#
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.V~Ergebnisse3$Extremgruppe)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Summe.V  146      0.434      2 0.805 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.V~Ergebnisse3$Extremgruppe_de
k)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Summe.V  146      0.638      2 0.727 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.AV~Ergebnisse3$Extremgruppe)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Summe.AV 146      1.67      2 0.433 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.AV~Ergebnisse3$Extremgruppe_de
k, na.action=na.exclude) #signifikant#
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Summe.AV 146     13.0      2 0.00154 Kruskal-wallis
> kruskal_effsize(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.AV~Ergebnisse3$Extremgrupp
e_dek)
# A tibble: 1 x 5
  .y.                n effsize method magnitude
* <chr>              <int>      <dbl> <chr>    <ord>
1 Ergebnisse3$Summe.AV 146  0.0766 eta2[H] moderate
> describeBy(Ergebnisse3$Summe.AV, Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)

```

Descriptive statistics by group

group: 1

vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se	
x1	1	30	22.6	4.11	23	22.75	4.45	9	30	21	-0.88	1.88	0.75

group: 2

vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se	
x1	1	41	20.68	4.25	21	20.82	4.45	11	29	18	-0.28	-0.45	0.66

```

group: 3
  vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1    1 41 18.46 5.4    18   18.76 4.45    2  28   26 -0.54    0.47 0.84
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.IV~Ergebnisse3$Extremgruppe)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Summe.IV  146    0.0398    2  0.98 Kruskal-wallis
> kruskal_effsize(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.IV~Ergebnisse3$Extremgruppe)
# A tibble: 1 x 5
  .y.          n effsize method magnitude
* <chr>      <int>    <dbl> <chr>    <ord>
1 Ergebnisse3$Summe.IV  146 -0.0137 eta2[H] small
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Summe.IV~Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Summe.IV  146    3.96    2  0.138 Kruskal-wallis
>
>
> #Unterschiede Betrachtungszeit Extremgruppe#
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Betrachtungszeit..sek.~Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Betrachtungszeit..sek.  146    4.51    2  0.105 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Betrachtungszeit..sek.~Ergebnisse3$Extremgruppe)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Betrachtungszeit..sek.  146    3.66    2  0.161 Kruskal-wallis
>
> #Interaktion Extremgruppen#
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Interaktionen~Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Interaktionen  146    6.73    2  0.0346 Kruskal-wallis
> describeBy(Ergebnisse3$Interaktionen, Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)

```

Descriptive statistics by group

```

group: 1
  vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1    1 41 15.27 14.28    11   13.03 8.9    0  53   53 1.32    0.71 2.23
-----
group: 2
  vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1    1 45 18.67 19.19    14   16.24 14.83    0 106  106 2.15    7.03 2.86
-----
group: 3

```

```
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 49 10.65 11.16 7 9.12 7.41 0 47 47 1.3 1.04 1.59
> kruskal_effsize(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Interaktionen~Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)
# A tibble: 1 x 5
  .y. n effsize method magnitude
* <chr> <int> <dbl> <chr> <ord>
1 Ergebnisse3$Interaktionen 146 0.0331 eta2[H] small
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Interaktionen~Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)
# A tibble: 1 x 6
  .y. n statistic df p method
* <chr> <int> <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Interaktionen 146 1.40 2 0.496 Kruskal-wallis
> describeBy(Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard, Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)
```

Descriptive statistics by group

group: 1

```
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 44 0.35 0.08 0.38 0.36 0.09 0.13 0.44 0.31 -0.82 0.02 0.01
```

group: 2

```
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 51 0.57 0.05 0.56 0.58 0.09 0.5 0.63 0.13 -0.23 -1.54 0.01
```

group: 3

```
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 50 0.78 0.08 0.75 0.77 0.09 0.69 0.94 0.25 0.57 -0.94 0.01
> describeBy(Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard, Ergebnisse3$Extremgruppe)
```

Descriptive statistics by group

group: 1

```
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 49 0.34 0.12 0.38 0.36 0.1 0 0.46 0.46 -1.23 1.01 0.02
```

group: 2

```
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 51 0.56 0.05 0.54 0.56 0.06 0.5 0.62 0.12 0.14 -1.45 0.01
```

group: 3

```
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 46 0.74 0.08 0.73 0.73 0.09 0.65 0.96 0.31 0.92 0.06 0.01
```

>

>

> #Cluster Analyse, Nutzungsverhalten AV IV#

>

>

```
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard~Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_Cluster)
```

A tibble: 1 x 6

```
.y. n statistic df p method
* <chr> <int> <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard 146 8.18 2 0.0167 Kruskal-wallis
```

```
> kruskal_effsize(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard~Ergebnisse
3$Nutzungsverhalten_Cluster)
# A tibble: 1 x 5
  .y. n effsize method magnitude
* <chr> <int> <dbl> <chr> <ord>
1 Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard 146 0.0432 eta2[H] small
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek~Ergebnisse3$Nutzungsverh
alten_Cluster)
# A tibble: 1 x 6
  .y. n statistic df p method
* <chr> <int> <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Dek 146 6.40 2 0.0408 Kruskal-wallis
> kruskal_effsize(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek~Ergebnisse3$Nutzungsverh
alten_Cluster)
# A tibble: 1 x 5
  .y. n effsize method magnitude
* <chr> <int> <dbl> <chr> <ord>
1 Ergebnisse3$Max.Dek 146 0.0308 eta2[H] small
> pairwise.wilcox.test(Ergebnisse3$Max.Dek, Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_C
luster, paired = FALSE, p.adjust = "bonferroni")
```

Pairwise comparisons using wilcoxon rank sum test with continuity c
orrection

data: Ergebnisse3\$Max.Dek and Ergebnisse3\$Nutzungsverhalten_Cluster

```
 1      2
2 1.000 -
3 0.047 0.071
```

P value adjustment method: bonferroni

Warning message:

In wilcox.test.default(xi, xj, paired = paired, ...) :

kann bei Bindungen keinen exakten p-Wert Berechnen

```
> describeBy(Ergebnisse3$Max.Dek, Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_Cluster)
```

Descriptive statistics by group

group: 1

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x1	1	45	0.19	0.66	0.36	0.3	0.33	-3	0.88	3.88	-2.76	9.87	0.1

group: 2

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x1	1	60	0.15	0.56	0.25	0.21	0.37	-2	1.01	3.01	-1.31	2.4	0.07

group: 3

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	s
x1	1	4	-0.6	0.78	-0.44	-0.6	0.59	-1.67	0.13	1.8	-0.39	-1.93	0.3

```
> wilcoxonZ(Ergebnisse3$Max.Dek , Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_Cluster [c(
Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_Cluster == 1, Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_C
luster == 2)])
```

```
      z
-10.3
```

```
>
```

```
>
```

```
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard~Ergebnisse3$Nu
tzungsverhalten_Cluster)
```

```
# A tibble: 1 x 6
```

```
.y.
* <chr>
1 Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard 146 0.286 2 0.867 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp~Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_Cluster) #fast signifikant
# A tibble: 1 x 6
.y.
* <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp 146 5.56 2 0.062 Kruskal-wallis
> kruskal_effsize(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp~Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_Cluster)
# A tibble: 1 x 5
.y.
* <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp 146 0.0249 eta2[H] small
> describeBy(Ergebnisse3$Max.Komp, Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_Cluster)
```

```
Descriptive statistics by group
group: 1
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 45 0.14 0.6 0.3 0.21 0.47 -2.33 0.8 3.13 -1.72 4.12 0.09
-----
group: 2
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 60 -0.11 0.92 0.11 0.03 0.42 -6 0.71 6.71 -4.47 25.36 0.12
-----
group: 3
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 4 -0.18 0.63 -0.17 -0.18 0.79 -0.78 0.4 1.18 -0.01 -2.42 0.32
> pairwise.wilcox.test(Ergebnisse3$Max.Komp, Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_Cluster, paired = FALSE, p.adjust = "bonferroni")
```

```
Pairwise comparisons using wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: Ergebnisse3$Max.Komp and Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_Cluster

1 2
2 0.074 -
3 0.727 1.000

P value adjustment method: bonferroni
Warning message:
In wilcox.test.default(xi, xj, paired = paired, ...) :
kann bei Bindungen keinen exakten p-Wert Berechnen
>
> pairwise.wilcox.test(Ergebnisse3$Max.Komp, Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_Cluster, paired = FALSE, p.adjust = "bonferroni")
```

```
Pairwise comparisons using wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: Ergebnisse3$Max.Komp and Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_Cluster
```

```

1      2
2 0.074 -
3 0.727 1.000

```

P value adjustment method: bonferroni

Warning message:

```

In wilcox.test.default(xi, xj, paired = paired, ...) :
  kann bei Bindungen keinen exakten p-wert Berechnen

```

```

>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Interaktionen~Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_Cluster)
# A tibble: 1 x 6

```

.y.	n	statistic	df	p	method
<chr>	<int>	<dbl>	<int>	<dbl>	<chr>
1 Ergebnisse3\$Interaktionen	146	1.38	2	0.502	Kruskal-wallis

```

> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Interaktionen.pro.Minute~Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_Cluster, na.action = na.exclude)
# A tibble: 1 x 6

```

.y.	n	statistic	df	p	method
<chr>	<int>	<dbl>	<int>	<dbl>	<chr>
1 Ergebnisse3\$Interaktionen.pro.Minute	146	5.95	2	0.0512	Kruskal-wallis

```

>
> describeBy(Ergebnisse3$Interaktionen.pro.Minute, Ergebnisse3$Nutzungsverhalten_Cluster)

```

Descriptive statistics by group

group: 1

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x1	1	43	1.25	1.22	0.71	1.05	0.65	0	4.86	4.86	1.51	1.5	0.19

group: 2

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x1	1	51	1.08	0.96	0.81	0.94	0.7	0	4.56	4.56	1.46	2.18	0.13

group: 3

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x1	1	3	2.81	0.41	2.64	2.81	0.19	2.51	3.27	0.76	0.34	-2.33	0.23

```

>

```

```

> #Cluster Analyse, Interaktionen Betrachtungszeit#

```

```

> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard~Ergebnisse3$Interaktion_Cluster)
# A tibble: 1 x 6

```

.y.	n	statistic	df	p	method
<chr>	<int>	<dbl>	<int>	<dbl>	<chr>
1 Ergebnisse3\$Score.Declarativ.hard	146	1.84	1	0.175	Kruskal-wallis

```

> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek~Ergebnisse3$Interaktion_Cluster)
# A tibble: 1 x 6

```

.y.	n	statistic	df	p	method
<chr>	<int>	<dbl>	<int>	<dbl>	<chr>
1 Ergebnisse3\$Max.Dek	146	0.652	1	0.419	Kruskal-wallis

```

> describeBy(Ergebnisse3$Max.Dek, Ergebnisse3$Interaktion_Cluster)

```

Descriptive statistics by group

group: 1

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x1	1	99	0.12	0.66	0.29	0.22	0.42	-3	0.9	3.9	-1.94	4.83	0.07

```
-----
group: 2
  vars  n mean  sd median trimmed  mad  min  max range skew kurtosis  se
x1     1 22 0.34 0.31   0.3   0.32 0.24 -0.2 1.01  1.21 0.49   -0.7 0.07
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard~Ergebnisse3$In
teraktion_Cluster)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard 146    0.579    1 0.447 Kruskal-wall
is
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp~Ergebnisse3$Interaktion_Cl
uster)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp 146    1.07    1 0.301 Kruskal-wallis
> describeBy(Ergebnisse3$Max.Komp, Ergebnisse3$Interaktion_Cluster)
```

Descriptive statistics by group

```
group: 1
  vars  n mean  sd median trimmed  mad  min  max range skew kurtosis  se
x1     1 99 0.1 0.55   0.27   0.17 0.49  -2 0.8  2.8 -1.35   2.02 0.06
-----
group: 2
  vars  n mean  sd median trimmed  mad  min  max range skew kurtosis  s
e
x1     1 22 0.05 0.42   0.22   0.06 0.56 -0.71 0.7  1.41 -0.25  -1.19 0.0
9
>
>
> #Analyse Interaktion einzelne Aspekte#
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek~Ergebnisse3$Pause)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Dek 146    20.4    19 0.368 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek~Ergebnisse3$Start...Play)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Dek 146    14.5    20 0.806 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek~Ergebnisse3$Vorspulen)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Dek 146    9.14    13 0.762 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek~Ergebnisse3$Zurückspulen)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Dek 146    14.1    16 0.592 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek~Ergebnisse3$Minimieren...Ve
rlassen)
# A tibble: 1 x 6
  .y.                n statistic    df      p method
* <chr>              <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Dek 146    10.3    13 0.669 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek~Ergebnisse3$Maximieren...Öf
fnen)
```



```

# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Dek    146      6.49    11 0.839 Kruskal-wallis
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp~Ergebnisse3$Pause)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp    146     23.4    19 0.222 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp~Ergebnisse3$Start...Play)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp    146     28.9    20 0.089 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp~Ergebnisse3$Vorspulen)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp    146     9.94    13 0.699 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp~Ergebnisse3$Zurückspulen)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp    146     17.5    16 0.356 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp~Ergebnisse3$Minimieren...V
erlassen)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp    146     9.47    13 0.737 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp~Ergebnisse3$Maximieren...Ö
fnnen)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp    146     9.42    11 0.583 Kruskal-wallis
>
> #unterscheiden sich erfahrene hinsichtlich ihrer Interaktion)
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Pause ~ Ergebnisse3$Nutzungsverhalt
en_Cluster )
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Pause    146      3.84     2 0.147 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Start...Play~ Ergebnisse3$Nutzungsv
erhalten_Cluster)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Start...Play    146      2.31     2 0.316 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Vorspulen~ Ergebnisse3$Nutzungsverh
alten_Cluster)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Vorspulen    146      0.379     2 0.827 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Zurückspulen~ Ergebnisse3$Nutzungsv
erhalten_Cluster)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>

```

```
1 Ergebnisse3$Zurückspulen 146 4.50 2 0.106 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Minimieren...Verlassen~ Ergebnisse3
$Nutzungsverhalten_Cluster)
# A tibble: 1 x 6
  .y. n statistic df p method
* <chr> <int> <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Minimieren...Verlassen 146 0.160 2 0.923 Kruskal-wa
llis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Maximieren...Öffnen~ Ergebnisse3$Nu
tzungsverhalten_Cluster)
# A tibble: 1 x 6
  .y. n statistic df p method
* <chr> <int> <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Maximieren...Öffnen 146 1.30 2 0.523 Kruskal-walli
s
>
>
>
> #Handlungstest#
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Handlungsprüfung~ Ergebnisse3$Gruppe
4)
# A tibble: 1 x 6
  .y. n statistic df p method
* <chr> <int> <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Handlungsprüfung 146 0.686 3 0.877 Kruskal-wallis
> describeBy(Ergebnisse3$Handlungsprüfung, Ergebnisse3$Gruppe4)
```

Descriptive statistics by group

```
group: 1
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 34 10.71 1.87 11 10.93 1.48 5 13 8 -1.18 1.3 0.32
```

```
group: 2
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 29 8.93 4.6 12 9.24 1.48 0 13 13 -0.81 -1.17 0.85
```

```
group: 3
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 33 9.64 3.17 10 9.96 2.97 1 13 12 -0.94 -0.14 0.55
```

```
group: 4
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1 1 37 10.3 2.78 11 10.84 1.48 0 13 13 -2.39 5.77 0.46
```

```
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Handlungsprüfung~Ergebnisse3$Video)
# A tibble: 1 x 6
```

```
  .y. n statistic df p method
* <chr> <int> <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Handlungsprüfung 146 0.00152 1 0.969 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Handlungsprüfung~Ergebnisse3$Blende)
# A tibble: 1 x 6
```

```
  .y. n statistic df p method
* <chr> <int> <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Handlungsprüfung 146 0.306 1 0.580 Kruskal-wallis
>
>
```

```
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Handlungsprüfung ~ Ergebnisse3$Ext
remgruppe)
```

```
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Handlungsprüfung 146      4.32     2 0.115 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Handlungsprüfung ~ Ergebnisse3$Extr
emgruppe_dek)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Handlungsprüfung 146      4.84     2 0.089 Kruskal-wallis
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Handlungsprüfung~ Ergebnisse3$Inter
aktion_Cluster)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Handlungsprüfung 146      1.07     1 0.3 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Handlungsprüfung ~ Ergebnisse3$Nutz
ungsverhalten_Cluster)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Handlungsprüfung 146      2.10     2 0.35 Kruskal-wallis
>
> describeBy(Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard, Ergebnisse3$Video)

Descriptive statistics by group
group: 1
  vars  n mean  sd median trimmed  mad  min  max range  skew kurtosis  se
x1     1 72 0.58 0.2  0.63    0.58 0.27 0.13 0.94  0.81 -0.16    -0.8 0.02
-----
group: 2
  vars  n mean  sd median trimmed  mad  min  max range  skew kurtosis  s
e
x1     1 73 0.57 0.17  0.56    0.57 0.19 0.19 0.94  0.75 -0.07    -0.67 0.0
2
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard~Ergebnisse3$V
ideo)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard 146    0.0461     1 0.83 Kruskal-wa
llis
>
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard~Ergebnisse3$G
ruppe4)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard 146      2.87     3 0.412 Kruskal-wa
llis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard~Ergebnisse3$Gr
uppe4)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard 146      1.36     3 0.716 Kruskal-wa
llis
>
```

```
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard~Ergebnisse3$Video)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard 146 0.0461 1 0.83 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard~Ergebnisse3$Video)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard 146 0.0832 1 0.773 Kruskal-wallis
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard~Ergebnisse3$Blended)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard 146 0.918 1 0.338 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard~Ergebnisse3$Blended)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard 146 1.18 1 0.277 Kruskal-wallis
>
>
> describeBy(Ergebnisse3$Max.Dek, Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)

Descriptive statistics by group
group: 1
  vars  n mean  sd median trimmed  mad  min max range  skew kurtosis  se
x1    1 42 0.45 0.24  0.45    0.46 0.22 -0.2 0.9  1.1 -0.33  -0.16 0.04
-----
group: 2
  vars  n mean  sd median trimmed  mad  min max range  skew kurtosis  se
x1    1 51 0.27 0.34  0.25    0.28 0.37 -0.67 0.88  1.55 -0.41  0.46 0.05
-----
group: 3
  vars  n mean  sd median trimmed  mad  min max range  skew kurtosis  se
x1    1 49 -0.19 0.79    0   -0.1 0.59  -3 1.01  4.01 -1.24  1.78 0.11
-----
> describeBy(Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard, Ergebnisse3$Extremgruppe)

Descriptive statistics by group
group: 1
  vars  n mean  sd median trimmed  mad  min max range  skew kurtosis  se
x1    1 49 0.34 0.12  0.38    0.36 0.1  0 0.46  0.46 -1.23  1.01 0.02
-----
group: 2
  vars  n mean  sd median trimmed  mad  min max range  skew kurtosis  se
x1    1 51 0.56 0.05  0.54    0.56 0.06 0.5 0.62  0.12 0.14  -1.45 0.01
```

```
-----
group: 3
  vars  n mean  sd median trimmed  mad min  max range skew kurtosis  se
x1     1 46 0.74 0.08   0.73   0.73 0.09 0.65 0.96  0.31 0.92    0.06 0.01
>
> describeBy(Ergebnisse3$Interaktionen, Ergebnisse3$Blended)
```

Descriptive statistics by group

```
group: 1
  vars  n mean  sd median trimmed  mad min  max range skew kurtosis  s
e
x1     1 64 20.11 19.13  14.5   17.9 17.05   0 106  106 1.59    4.21 2.3
9
-----
```

```
group: 2
  vars  n mean  sd median trimmed  mad min  max range skew kurtosis  se
x1     1 71 9.87 8.68    8   8.68 7.41   0 35   35 1.13    0.56 1.03
>
>
> #Interaktionen Details#
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek ~ Ergebnisse3$Interaktion_6
)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Dek  146      1.08     1 0.299 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek ~ Ergebnisse3$Interaktion_7
10)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Dek  146      6.49     1 0.0109 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek ~ Ergebnisse3$Interaktion80
0) #fast signifikant#
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Dek  146      3.69     1 0.0549 Kruskal-wallis
> describeBy(Ergebnisse3$Max.Dek, Ergebnisse3$Interaktion800)
```

Descriptive statistics by group

```
group: 0
  vars  n mean  sd median trimmed  mad min  max range skew kurtosis  se
x1     1 132 0.15 0.59   0.25   0.24 0.37  -3 0.9   3.9 -2.18    7.01 0.05
-----
```

```
group: 1
  vars  n mean  sd median trimmed  mad min  max range skew kurtosis  se
x1     1 10 0.39 0.58   0.56   0.49 0.33  -1 1.01  2.01 -1.28    0.62 0.18
> kruskal_effsize(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek ~ Ergebnisse3$Interaktio
n800)
# A tibble: 1 x 5
  .y.          n effsize method  magnitude
* <chr>      <int>    <dbl> <chr>    <ord>
1 Ergebnisse3$Max.Dek  146  0.0186 eta2[H] small
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek ~ Ergebnisse3$Interaktion13
0) #fast sig#
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
```

```

1 Ergebnisse3$Max.Dek    146    0.0571    1 0.811 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Dek ~ Ergebnisse3$Interaktion14
0)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Dek    146      1.66     1 0.197 Kruskal-wallis
>
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp ~ Ergebnisse3$Interaktion_
6)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp    146      0.988     1 0.32 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp ~ Ergebnisse3$Interaktion_
710)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp    146      0.714     1 0.398 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp ~ Ergebnisse3$Interaktion8
00)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp    146      0.0116     1 0.914 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp ~ Ergebnisse3$Interaktion1
30)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp    146      1.35     1 0.245 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp ~ Ergebnisse3$Interaktion1
40)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp    146      1.59     1 0.208 Kruskal-wallis
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Interaktionen ~ Ergebnisse3$Extre
mgruppe )
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Interaktionen    146      1.40     2 0.496 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Interaktionen ~ Ergebnisse3$Extrem
gruppe_dek )#signifikant#
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Interaktionen    146      6.73     2 0.0346 Kruskal-wallis
> describeBy(Ergebnisse3$Interaktionen, Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)

```

Descriptive statistics by group

```

group: 1
  vars  n mean   sd median trimmed mad min max range skew kurtosis   se
x1    1 41 15.27 14.28    11  13.03 8.9  0  53   53 1.32    0.71 2.23
-----

```

group: 2

```

vars  n  mean    sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  s
e
x1    1 45 18.67 19.19    14   16.24 14.83    0 106   106 2.15    7.03 2.8
6
-----
group: 3
vars  n  mean    sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
x1    1 49 10.65 11.16     7    9.12 7.41    0 47    47 1.3    1.04 1.59
> describeBy(Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard, Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)

Descriptive statistics by group
group: 1
vars  n  mean    sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  s
e
x1    1 44 0.35 0.08    0.38    0.36 0.09 0.13 0.44  0.31 -0.82    0.02 0.0
1
-----
group: 2
vars  n  mean    sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
x1    1 51 0.57 0.05    0.56    0.58 0.09 0.5 0.63  0.13 -0.23   -1.54 0.01
-----
group: 3
vars  n  mean    sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
x1    1 50 0.78 0.08    0.75    0.77 0.09 0.69 0.94  0.25 0.57   -0.94 0.01
> describeBy(Ergebnisse3$Interaktionen, Ergebnisse3$Extremgruppe)

Descriptive statistics by group
group: 1
vars  n  mean    sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
x1    1 47 11.02 9.78     9    9.67 7.41    0 47    47 1.53    2.59 1.43
-----
group: 2
vars  n  mean    sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  s
e
x1    1 46 17.61 19.28    10    15 11.86    0 106   106 2.2    7.1 2.8
4
-----
group: 3
vars  n  mean    sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  s
e
x1    1 42 15.71 15.35    10   13.68 11.86    0 53    53 0.96   -0.19 2.3
7
>
> kruskal_effsize(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Interaktionen ~ Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)
# A tibble: 1 x 5
  .y.      n effsize method magnitude
* <chr>    <int> <dbl> <chr>    <ord>
1 Ergebnisse3$Interaktionen 146 0.0331 eta2[H] small
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Max.Komp ~ Ergebnisse3$Extremgruppe
.Interaktionen)
# A tibble: 1 x 6
  .y.      n statistic    df    p method
* <chr>    <int> <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Max.Komp 146 1.96    2 0.375 Kruskal-wallis
>

```

```

>
>
> #Zusatzrechnunge#
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Video ~ Ergebnisse3$Extremgruppe)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Video 146      2.05     2 0.359 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Video ~ Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Video 146      1.49     2 0.475 Kruskal-wallis
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Blended ~ Ergebnisse3$Extremgruppe)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Blended 146      0.988     2 0.61 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Blended ~ Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Blended 146      2.50     2 0.286 Kruskal-wallis
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Gruppe4 ~ Ergebnisse3$Extremgruppe)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Gruppe4 146      0.368     2 0.832 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Gruppe4 ~ Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Gruppe4 146      0.977     2 0.614 Kruskal-wallis
>
>
> #Summe Interaktionen
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Blended ~ Ergebnisse3$Summe_Interaktionen)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Blended 146      58.9    52 0.237 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Video ~ Ergebnisse3$Summe_Interaktionen)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Video 146      50.4    52 0.535 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Gruppe4 ~ Ergebnisse3$Summe_Interaktionen)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>    <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Gruppe4 146      52.1    52 0.471 Kruskal-wallis
>
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Extremgruppe ~ Ergebnisse3$Summe_Interaktionen)

```



```
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Extremgruppe 146      41.3    52 0.857 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Extremgruppe_dek ~ Ergebnisse3$Summe_
  e_Interaktionen)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Extremgruppe_dek 146      52.0    52 0.473 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Video ~ Ergebnisse3$Summe.V)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Video 146      24.4    25 0.495 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Extremgruppe ~ Ergebnisse3$Summe.V)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Extremgruppe 146      22.3    25 0.621 Kruskal-wallis
> kruskal_test(Ergebnisse3, Ergebnisse3$Gruppe4 ~ Ergebnisse3$Summe.V)
# A tibble: 1 x 6
  .y.          n statistic    df      p method
* <chr>      <int>      <dbl> <int> <dbl> <chr>
1 Ergebnisse3$Gruppe4 146      24.8    25 0.472 Kruskal-wallis
```

Anhang 13 – Clusteranalysen

```
> library(car)
> library(psych)
> library("cluster")
> library("factoextra")
> library("magrittr")
> setwd("C:/Users/Fabian Sterzing/sciebo/Erhebung/Für R")
> getwd()
[1] "C:/Users/Fabian Sterzing/sciebo/Erhebung/Für R"
> maxNA <- 5
> library("lavaan")
> library(semPlot)
> library(rcompanion)
> library(tidyverse)
>
>
> PreTest_Dek <- read.csv2("Pre-Deklarativ.csv", sep = ";", na.strings = c(
  "77" , "88", "89", "99") )
> PreTest_Komp <- read.csv2("Pre-Kompetenz.csv", sep = ";", na.strings = c(
  "77" , "88", "89", "99") )
> PostTest_Dek <- read.csv2("Post-Deklarativ.csv", sep = ";", na.strings =
  c("77" , "88", "89", "99") )
> PostTest_Komp <- read.csv2("Post-Kompetenz.csv", sep = ";", na.strings =
  c("77" , "88,00", "88", "99") )
> Ergebnisse <- read.csv2("Ergebnisse3.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
  , "88,00", "89", "99", "88.00", 88.00, 88) )
> Interaktion <- read.csv2("Interaktion.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
  , "88,00", "88", "99", 88.00, 88) )
> Motivation <- read.csv2("Motivation.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
  , "88,00", "88", "99", 88.00, 88) )
>
> Motivation_cluster = subset(Ergebnisse, select= c(Summe.AV:Summe.IV))
> Motivation_cluster = na.omit(Motivation_cluster)
> Motivation_cluster[is.na(Motivation_cluster)] <- 0
>
> Motivation_cluster <- scale(Motivation_cluster)
> res.dist <- get_dist(Motivation_cluster, stand = TRUE, method = "pearson"
  )
> rename
function (.data, ...)
{
  UseMethod("rename")
}
<bytecode: 0x0000000022d47bb0>
<environment: namespace:dplyr>
>
> fviz_dist(res.dist,
+           gradient = list(low = "#00AFBB", mid = "white", high = "#FC4E07"
+ ))
> fviz_nbclust(Motivation_cluster, kmeans)
> km.res <- kmeans(Motivation_cluster, 3, nstart = 25)
>
> print(km.res)
K-means clustering with 3 clusters of sizes 48, 60, 4

Cluster means:
      Summe.AV  Summe.IV
1  0.8884749  0.5457337
2 -0.5427752 -0.1888437
3 -2.5200708 -3.7161485
```

Clustering vector:

```

 5  6  9 10 11 12 13 14 15 16 18 19 20 21 22 24 25 28 29
31 32 33 34 35 36 38 39 40 41 42 43 44 45 46 48 49 51 52
53 54 57 58 59 60
 3  2  1  2  2  2  1  2  2  2  1  1  2  2  1  1  1  2  2  1
2  2  1  1  2  2  1  2  2  2  2  2  1  1  2  1  2  1  1
2  1  2  3  1  2
 62 63 64 68 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84
85 86 87 88 89 90 91 92 94 95 99 100 101 102 103 104 105 107 109
111 113 114 115 116 117
 2  2  2  1  2  1  2  3  1  2  2  1  1  2  2  1  2  2  1
1  1  2  1  2  1  2  2  1  1  1  1  2  2  2  2  2  2  2
2  1  2  2  2  2
118 119 120 121 122 123 124 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 138 140
141 142 144 145 146
 1  1  2  2  2  1  2  2  1  1  1  2  1  1  1  1  1  2  3
1  2  1  2  1

```

Within cluster sum of squares by cluster:

```

[1] 20.355804 44.082780 4.917127
(between_ss / total_ss = 68.8 %)

```

Available components:

```

[1] "cluster"      "centers"      "totss"        "withinss"     "tot.within
ss" "betweenss"   "size"         "iter"         "ifault"
> silhouette(km.res)
Error in round(x) : non-numeric argument to mathematical function
>
> silhouette(km.res$cluster)
Error in silhouette.default(km.res$cluster) :
  Benötige entweder Unähnlichkeitsmatrix 'dist' oder diss.matrix 'dmatrix'
> silhouette(km.res$cluster, dist(res.dist))
  cluster neighbor sil_width
[1,]      3      1 1.0000000
[2,]      2      1 0.4017946
[3,]      1      2 -0.4240196
[4,]      2      3 -1.0000000
[5,]      2      3 -1.0000000
[6,]      2      3 -1.0000000
[7,]      1      3 -1.0000000
[8,]      2      3 -1.0000000
[9,]      2      1 0.4017946
[10,]     1      3 -1.0000000
[11,]     1      3 -1.0000000
[12,]     2      3 -1.0000000
[13,]     2      1 0.4017946
[14,]     1      3 -1.0000000
[15,]     1      2 -0.4240196
[16,]     1      3 -1.0000000
[17,]     2      1 0.4017946
[18,]     2      1 0.4017946
[19,]     1      3 -1.0000000
[20,]     2      3 -1.0000000
[21,]     2      1 0.4017946
[22,]     1      3 -1.0000000
[23,]     1      3 -1.0000000
[24,]     2      3 -1.0000000
[25,]     2      1 0.4017946
[26,]     1      3 -1.0000000
[27,]     2      3 -1.0000000
[28,]     2      1 0.4017946

```

[29,]	2	1	0.4017946
[30,]	2	3	-1.0000000
[31,]	2	1	0.4017946
[32,]	1	2	-0.4240196
[33,]	1	3	-1.0000000
[34,]	2	1	0.4017946
[35,]	1	3	-1.0000000
[36,]	2	1	0.4017946
[37,]	1	2	-0.4240196
[38,]	1	3	-1.0000000
[39,]	2	3	-1.0000000
[40,]	1	2	-0.4240196
[41,]	2	1	0.4017946
[42,]	3	1	1.0000000
[43,]	1	3	-1.0000000
[44,]	2	3	-1.0000000
[45,]	2	1	0.4017946
[46,]	2	1	0.4017946
[47,]	2	1	0.4017946
[48,]	1	2	-0.4240196
[49,]	2	1	0.4017946
[50,]	1	2	-0.4240196
[51,]	2	1	0.4017946
[52,]	3	1	1.0000000
[53,]	1	3	-1.0000000
[54,]	2	3	-1.0000000
[55,]	2	1	0.4017946
[56,]	1	2	-0.4240196
[57,]	1	3	-1.0000000
[58,]	2	1	0.4017946
[59,]	2	1	0.4017946
[60,]	1	2	-0.4240196
[61,]	2	1	0.4017946
[62,]	2	3	-1.0000000
[63,]	1	3	-1.0000000
[64,]	1	3	-1.0000000
[65,]	1	3	-1.0000000
[66,]	2	3	-1.0000000
[67,]	1	3	-1.0000000
[68,]	2	1	0.4017946
[69,]	1	3	-1.0000000
[70,]	2	3	-1.0000000
[71,]	2	3	-1.0000000
[72,]	1	3	-1.0000000
[73,]	1	3	-1.0000000
[74,]	1	3	-1.0000000
[75,]	1	3	-1.0000000
[76,]	2	1	0.4017946
[77,]	2	1	0.4017946
[78,]	2	3	-1.0000000
[79,]	2	3	-1.0000000
[80,]	2	1	0.4017946
[81,]	2	1	0.4017946
[82,]	2	3	-1.0000000
[83,]	2	1	0.4017946
[84,]	1	2	-0.4240196
[85,]	2	1	0.4017946
[86,]	2	1	0.4017946
[87,]	2	3	-1.0000000
[88,]	2	3	-1.0000000
[89,]	1	2	-0.4240196
[90,]	1	3	-1.0000000

```

[91,]      2      1 0.4017946
[92,]      2      1 0.4017946
[93,]      2      1 0.4017946
[94,]      1      3 -1.0000000
[95,]      2      1 0.4017946
[96,]      2      3 -1.0000000
[97,]      1      2 -0.4240196
[98,]      1      3 -1.0000000
[99,]      1      3 -1.0000000
[100,]     2      3 -1.0000000
[101,]     1      3 -1.0000000
[102,]     1      3 -1.0000000
[103,]     1      2 -0.4240196
[104,]     1      2 -0.4240196
[105,]     1      3 -1.0000000
[106,]     2      3 -1.0000000
[107,]     3      1 1.0000000
[108,]     1      3 -1.0000000
[109,]     2      3 -1.0000000
[110,]     1      3 -1.0000000
[111,]     2      1 0.4017946
[112,]     1      3 -1.0000000
attr("Ordered")
[1] FALSE
attr("call")
silhouette.default(x = km.res$cluster, dist = dist(res.dist))
attr("class")
[1] "silhouette"

> # Visualize
>
> fviz_cluster(km.res, data = Motivation_cluster, frame.type = "convex", xlab = "Außerhalb der Veranstaltung", ylab = "Innerhalb der Veranstaltung")
Warning messages:
1: argument frame is deprecated; please use ellipse instead.
2: argument frame.type is deprecated; please use ellipse.type instead.
> theme_minimal()
List of 93
 $ line      :List of 6
  ..$ colour      : chr "black"
  ..$ size        : num 0.5
  ..$ linetype    : num 1
  ..$ lineend     : chr "butt"
  ..$ arrow       : logi FALSE
  ..$ inherit.blank: logi TRUE
  ..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_line" "element"
 $ rect      :List of 5
  ..$ fill        : chr "white"
  ..$ colour      : chr "black"
  ..$ size        : num 0.5
  ..$ linetype    : num 1
  ..$ inherit.blank: logi TRUE
  ..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_rect" "element"
 $ text      :List of 11
  ..$ family      : chr ""
  ..$ face        : chr "plain"
  ..$ colour      : chr "black"
  ..$ size        : num 11
  ..$ hjust       : num 0.5
  ..$ vjust       : num 0.5
  ..$ angle       : num 0

```

```
..$ lineheight : num 0.9
..$ margin : 'margin' num [1:4] 0points 0points 0points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug : logi FALSE
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ title : NULL
$ aspect.ratio : NULL
$ axis.title : NULL
$ axis.title.x :List of 11
..$ family : NULL
..$ face : NULL
..$ colour : NULL
..$ size : NULL
..$ hjust : NULL
..$ vjust : num 1
..$ angle : NULL
..$ lineheight : NULL
..$ margin : 'margin' num [1:4] 2.75points 0points 0points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.title.x.top :List of 11
..$ family : NULL
..$ face : NULL
..$ colour : NULL
..$ size : NULL
..$ hjust : NULL
..$ vjust : num 0
..$ angle : NULL
..$ lineheight : NULL
..$ margin : 'margin' num [1:4] 0points 0points 2.75points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.title.x.bottom : NULL
$ axis.title.y :List of 11
..$ family : NULL
..$ face : NULL
..$ colour : NULL
..$ size : NULL
..$ hjust : NULL
..$ vjust : num 1
..$ angle : num 90
..$ lineheight : NULL
..$ margin : 'margin' num [1:4] 0points 2.75points 0points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.title.y.left : NULL
$ axis.title.y.right :List of 11
..$ family : NULL
..$ face : NULL
..$ colour : NULL
..$ size : NULL
..$ hjust : NULL
..$ vjust : num 0
..$ angle : num -90
..$ lineheight : NULL
```

```

..$ margin      : 'margin' num [1:4] 0points 0points 0points 2.75points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug       : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.text     :List of 11
..$ family      : NULL
..$ face        : NULL
..$ colour      : chr "grey30"
..$ size        : 'rel' num 0.8
..$ hjust       : NULL
..$ vjust       : NULL
..$ angle       : NULL
..$ lineheight  : NULL
..$ margin      : NULL
..$ debug       : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.text.x   :List of 11
..$ family      : NULL
..$ face        : NULL
..$ colour      : NULL
..$ size        : NULL
..$ hjust       : NULL
..$ vjust       : num 1
..$ angle       : NULL
..$ lineheight  : NULL
..$ margin      : 'margin' num [1:4] 2.2points 0points 0points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug       : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.text.x.top :List of 11
..$ family      : NULL
..$ face        : NULL
..$ colour      : NULL
..$ size        : NULL
..$ hjust       : NULL
..$ vjust       : num 0
..$ angle       : NULL
..$ lineheight  : NULL
..$ margin      : 'margin' num [1:4] 0points 0points 2.2points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug       : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.text.x.bottom : NULL
$ axis.text.y     :List of 11
..$ family      : NULL
..$ face        : NULL
..$ colour      : NULL
..$ size        : NULL
..$ hjust       : num 1
..$ vjust       : NULL
..$ angle       : NULL
..$ lineheight  : NULL
..$ margin      : 'margin' num [1:4] 0points 2.2points 0points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug       : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.text.y.left : NULL

```

```
$ axis.text.y.right      :List of 11
..$ family              : NULL
..$ face                 : NULL
..$ colour               : NULL
..$ size                 : NULL
..$ hjust                : num 0
..$ vjust                : NULL
..$ angle                : NULL
..$ lineheight           : NULL
..$ margin                : 'margin' num [1:4] 0points 0points 0points 2.2points
..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug                : NULL
..$ inherit.blank        : logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.ticks              : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ axis.ticks.x            : NULL
$ axis.ticks.x.top        : NULL
$ axis.ticks.x.bottom     : NULL
$ axis.ticks.y            : NULL
$ axis.ticks.y.left       : NULL
$ axis.ticks.y.right      : NULL
$ axis.ticks.length       : 'simpleUnit' num 2.75points
..- attr(*, "unit")= int 8
$ axis.ticks.length.x     : NULL
$ axis.ticks.length.x.top : NULL
$ axis.ticks.length.x.bottom : NULL
$ axis.ticks.length.y     : NULL
$ axis.ticks.length.y.left : NULL
$ axis.ticks.length.y.right : NULL
$ axis.line               : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ axis.line.x             : NULL
$ axis.line.x.top         : NULL
$ axis.line.x.bottom      : NULL
$ axis.line.y             : NULL
$ axis.line.y.left        : NULL
$ axis.line.y.right       : NULL
$ legend.background       : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ legend.margin           : 'margin' num [1:4] 5.5points 5.5points 5.5po
ints 5.5points
..- attr(*, "unit")= int 8
$ legend.spacing          : 'simpleUnit' num 11points
..- attr(*, "unit")= int 8
$ legend.spacing.x        : NULL
$ legend.spacing.y        : NULL
$ legend.key              : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ legend.key.size         : 'simpleUnit' num 1.2lines
..- attr(*, "unit")= int 3
$ legend.key.height       : NULL
$ legend.key.width        : NULL
$ legend.text             :List of 11
..$ family                : NULL
..$ face                   : NULL
..$ colour                 : NULL
..$ size                   : 'rel' num 0.8
..$ hjust                  : NULL
..$ vjust                  : NULL
..$ angle                  : NULL
..$ lineheight             : NULL
```



```

..$ margin      : NULL
..$ debug       : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ legend.text.align      : NULL
$ legend.title           :List of 11
..$ family              : NULL
..$ face                : NULL
..$ colour              : NULL
..$ size                : NULL
..$ hjust               : num 0
..$ vjust               : NULL
..$ angle               : NULL
..$ lineheight          : NULL
..$ margin              : NULL
..$ debug               : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ legend.title.align     : NULL
$ legend.position        : chr "right"
$ legend.direction       : NULL
$ legend.justification   : chr "center"
$ legend.box             : NULL
$ legend.box.just        : NULL
$ legend.box.margin      : 'margin' num [1:4] 0cm 0cm 0cm 0cm
..- attr(*, "unit")= int 1
$ legend.box.background  : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ legend.box.spacing     : 'simpleUnit' num 11points
..- attr(*, "unit")= int 8
$ panel.background       : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ panel.border           : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ panel.spacing          : 'simpleUnit' num 5.5points
..- attr(*, "unit")= int 8
$ panel.spacing.x        : NULL
$ panel.spacing.y        : NULL
$ panel.grid             :List of 6
..$ colour               : chr "grey92"
..$ size                 : NULL
..$ linetype             : NULL
..$ lineend              : NULL
..$ arrow                : logi FALSE
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_line" "element"
$ panel.grid.major       : NULL
$ panel.grid.minor       :List of 6
..$ colour               : NULL
..$ size                 : 'rel' num 0.5
..$ linetype             : NULL
..$ lineend              : NULL
..$ arrow                : logi FALSE
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_line" "element"
$ panel.grid.major.x     : NULL
$ panel.grid.major.y     : NULL
$ panel.grid.minor.x     : NULL
$ panel.grid.minor.y     : NULL
$ panel.ontop            : logi FALSE
$ plot.background        : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"

```

```
$ plot.title                               :List of 11
..$ family                                : NULL
..$ face                                  : NULL
..$ colour                                : NULL
..$ size                                  : 'rel' num 1.2
..$ hjust                                 : num 0
..$ vjust                                 : num 1
..$ angle                                 : NULL
..$ lineheight                             : NULL
..$ margin                                 : 'margin' num [1:4] 0points 0points 5.5points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug                                  : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ plot.title.position                       : chr "panel"
$ plot.subtitle                             :List of 11
..$ family                                : NULL
..$ face                                  : NULL
..$ colour                                : NULL
..$ size                                  : NULL
..$ hjust                                 : num 0
..$ vjust                                 : num 1
..$ angle                                 : NULL
..$ lineheight                             : NULL
..$ margin                                 : 'margin' num [1:4] 0points 0points 5.5points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug                                  : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ plot.caption                             :List of 11
..$ family                                : NULL
..$ face                                  : NULL
..$ colour                                : NULL
..$ size                                  : 'rel' num 0.8
..$ hjust                                 : num 1
..$ vjust                                 : num 1
..$ angle                                 : NULL
..$ lineheight                             : NULL
..$ margin                                 : 'margin' num [1:4] 5.5points 0points 0points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug                                  : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ plot.caption.position                     : chr "panel"
$ plot.tag                                 :List of 11
..$ family                                : NULL
..$ face                                  : NULL
..$ colour                                : NULL
..$ size                                  : 'rel' num 1.2
..$ hjust                                 : num 0.5
..$ vjust                                 : num 0.5
..$ angle                                 : NULL
..$ lineheight                             : NULL
..$ margin                                 : NULL
..$ debug                                  : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ plot.tag.position                         : chr "topleft"
$ plot.margin                              : 'margin' num [1:4] 5.5points 5.5points 5.5po
ints 5.5points
..- attr(*, "unit")= int 8
$ strip.background                         : list()
```

```

..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ strip.background.x      : NULL
$ strip.background.y      : NULL
$ strip.placement         : chr "inside"
$ strip.text               :List of 11
..$ family                : NULL
..$ face                  : NULL
..$ colour                : chr "grey10"
..$ size                  : 'rel' num 0.8
..$ hjust                 : NULL
..$ vjust                 : NULL
..$ angle                 : NULL
..$ lineheight            : NULL
..$ margin                : 'margin' num [1:4] 4.4points 4.4points 4.4points 4.4po
ints
..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug                 : NULL
..$ inherit.blank         : logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ strip.text.x            : NULL
$ strip.text.y            :List of 11
..$ family                : NULL
..$ face                  : NULL
..$ colour                : NULL
..$ size                  : NULL
..$ hjust                 : NULL
..$ vjust                 : NULL
..$ angle                 : num -90
..$ lineheight            : NULL
..$ margin                : NULL
..$ debug                 : NULL
..$ inherit.blank         : logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ strip.switch.pad.grid   : 'simpleUnit' num 2.75points
..- attr(*, "unit")= int 8
$ strip.switch.pad.wrap   : 'simpleUnit' num 2.75points
..- attr(*, "unit")= int 8
$ strip.text.y.left       :List of 11
..$ family                : NULL
..$ face                  : NULL
..$ colour                : NULL
..$ size                  : NULL
..$ hjust                 : NULL
..$ vjust                 : NULL
..$ angle                 : num 90
..$ lineheight            : NULL
..$ margin                : NULL
..$ debug                 : NULL
..$ inherit.blank         : logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
- attr(*, "class")= chr [1:2] "theme" "gg"
- attr(*, "complete")= logi TRUE
- attr(*, "validate")= logi TRUE
> write.csv2(km.res$cluster,"test.csv")
>
> fviz_cluster(km.res, data = Motivation_cluster, frame.type = "convex", x1
ab = "Outside", ylab = "Inside")
Warning messages:
1: argument frame is deprecated; please use ellipse instead.
2: argument frame.type is deprecated; please use ellipse.type instead.
> theme_minimal()
List of 93

```

```
$ line                                :List of 6
..$ colour                           : chr "black"
..$ size                             : num 0.5
..$ linetype                         : num 1
..$ lineend                         : chr "butt"
..$ arrow                           : logi FALSE
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_line" "element"
$ rect                               :List of 5
..$ fill                             : chr "white"
..$ colour                           : chr "black"
..$ size                             : num 0.5
..$ linetype                         : num 1
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_rect" "element"
$ text                               :List of 11
..$ family                           : chr ""
..$ face                             : chr "plain"
..$ colour                           : chr "black"
..$ size                             : num 11
..$ hjust                            : num 0.5
..$ vjust                            : num 0.5
..$ angle                            : num 0
..$ lineheight                       : num 0.9
..$ margin                           : 'margin' num [1:4] 0points 0points 0points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug                            : logi FALSE
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ title                             : NULL
$ aspect.ratio                       : NULL
$ axis.title                         : NULL
$ axis.title.x                       :List of 11
..$ family                           : NULL
..$ face                             : NULL
..$ colour                           : NULL
..$ size                             : NULL
..$ hjust                            : NULL
..$ vjust                            : num 1
..$ angle                            : NULL
..$ lineheight                       : NULL
..$ margin                           : 'margin' num [1:4] 2.75points 0points 0points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug                            : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.title.x.top                   :List of 11
..$ family                           : NULL
..$ face                             : NULL
..$ colour                           : NULL
..$ size                             : NULL
..$ hjust                            : NULL
..$ vjust                            : num 0
..$ angle                            : NULL
..$ lineheight                       : NULL
..$ margin                           : 'margin' num [1:4] 0points 0points 2.75points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug                            : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.title.x.bottom                : NULL
$ axis.title.y                       :List of 11
```

```

..$ family      : NULL
..$ face        : NULL
..$ colour      : NULL
..$ size        : NULL
..$ hjust       : NULL
..$ vjust       : num 1
..$ angle       : num 90
..$ lineheight  : NULL
..$ margin      : 'margin' num [1:4] 0points 2.75points 0points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug       : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.title.y.left      : NULL
$ axis.title.y.right     :List of 11
..$ family      : NULL
..$ face        : NULL
..$ colour      : NULL
..$ size        : NULL
..$ hjust       : NULL
..$ vjust       : num 0
..$ angle       : num -90
..$ lineheight  : NULL
..$ margin      : 'margin' num [1:4] 0points 0points 0points 2.75points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug       : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.text          :List of 11
..$ family      : NULL
..$ face        : NULL
..$ colour      : chr "grey30"
..$ size        : 'rel' num 0.8
..$ hjust       : NULL
..$ vjust       : NULL
..$ angle       : NULL
..$ lineheight  : NULL
..$ margin      : NULL
..$ debug       : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.text.x        :List of 11
..$ family      : NULL
..$ face        : NULL
..$ colour      : NULL
..$ size        : NULL
..$ hjust       : NULL
..$ vjust       : num 1
..$ angle       : NULL
..$ lineheight  : NULL
..$ margin      : 'margin' num [1:4] 2.2points 0points 0points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug       : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.text.x.top    :List of 11
..$ family      : NULL
..$ face        : NULL
..$ colour      : NULL
..$ size        : NULL
..$ hjust       : NULL
..$ vjust       : num 0

```

```
..$ angle      : NULL
..$ lineheight : NULL
..$ margin     : 'margin' num [1:4] 0points 0points 2.2points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug      : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.text.x.bottom : NULL
$ axis.text.y        :List of 11
..$ family          : NULL
..$ face            : NULL
..$ colour          : NULL
..$ size            : NULL
..$ hjust           : num 1
..$ vjust           : NULL
..$ angle           : NULL
..$ lineheight      : NULL
..$ margin          : 'margin' num [1:4] 0points 2.2points 0points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug           : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.text.y.left  : NULL
$ axis.text.y.right :List of 11
..$ family          : NULL
..$ face            : NULL
..$ colour          : NULL
..$ size            : NULL
..$ hjust           : num 0
..$ vjust           : NULL
..$ angle           : NULL
..$ lineheight      : NULL
..$ margin          : 'margin' num [1:4] 0points 0points 0points 2.2points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug           : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ axis.ticks        : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ axis.ticks.x      : NULL
$ axis.ticks.x.top   : NULL
$ axis.ticks.x.bottom : NULL
$ axis.ticks.y      : NULL
$ axis.ticks.y.left  : NULL
$ axis.ticks.y.right : NULL
$ axis.ticks.length  : 'simpleunit' num 2.75points
..- attr(*, "unit")= int 8
$ axis.ticks.length.x : NULL
$ axis.ticks.length.x.top : NULL
$ axis.ticks.length.x.bottom: NULL
$ axis.ticks.length.y : NULL
$ axis.ticks.length.y.left : NULL
$ axis.ticks.length.y.right : NULL
$ axis.line          : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ axis.line.x        : NULL
$ axis.line.x.top     : NULL
$ axis.line.x.bottom  : NULL
$ axis.line.y         : NULL
$ axis.line.y.left    : NULL
$ axis.line.y.right   : NULL
$ legend.background  : list()
```

```

..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ legend.margin          : 'margin' num [1:4] 5.5points 5.5points 5.5po
ints 5.5points
..- attr(*, "unit")= int 8
$ legend.spacing         : 'simpleUnit' num 11points
..- attr(*, "unit")= int 8
$ legend.spacing.x       : NULL
$ legend.spacing.y       : NULL
$ legend.key             : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ legend.key.size        : 'simpleUnit' num 1.2lines
..- attr(*, "unit")= int 3
$ legend.key.height      : NULL
$ legend.key.width       : NULL
$ legend.text            :List of 11
..$ family              : NULL
..$ face                : NULL
..$ colour              : NULL
..$ size                : 'rel' num 0.8
..$ hjust               : NULL
..$ vjust               : NULL
..$ angle               : NULL
..$ lineheight          : NULL
..$ margin              : NULL
..$ debug               : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ legend.text.align      : NULL
$ legend.title           :List of 11
..$ family              : NULL
..$ face                : NULL
..$ colour              : NULL
..$ size                : NULL
..$ hjust               : num 0
..$ vjust               : NULL
..$ angle               : NULL
..$ lineheight          : NULL
..$ margin              : NULL
..$ debug               : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ legend.title.align     : NULL
$ legend.position        : chr "right"
$ legend.direction       : NULL
$ legend.justification   : chr "center"
$ legend.box             : NULL
$ legend.box.just        : NULL
$ legend.box.margin      : 'margin' num [1:4] 0cm 0cm 0cm 0cm
..- attr(*, "unit")= int 1
$ legend.box.background  : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ legend.box.spacing     : 'simpleUnit' num 11points
..- attr(*, "unit")= int 8
$ panel.background       : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ panel.border           : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ panel.spacing          : 'simpleUnit' num 5.5points
..- attr(*, "unit")= int 8
$ panel.spacing.x        : NULL
$ panel.spacing.y        : NULL
$ panel.grid             :List of 6

```

```
..$ colour      : chr "grey92"
..$ size        : NULL
..$ linetype     : NULL
..$ lineend      : NULL
..$ arrow        : logi FALSE
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_line" "element"
$ panel.grid.major : NULL
$ panel.grid.minor  :List of 6
..$ colour      : NULL
..$ size        : 'rel' num 0.5
..$ linetype     : NULL
..$ lineend      : NULL
..$ arrow        : logi FALSE
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_line" "element"
$ panel.grid.major.x : NULL
$ panel.grid.major.y : NULL
$ panel.grid.minor.x : NULL
$ panel.grid.minor.y : NULL
$ panel.ontop        : logi FALSE
$ plot.background    : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ plot.title         :List of 11
..$ family           : NULL
..$ face             : NULL
..$ colour           : NULL
..$ size             : 'rel' num 1.2
..$ hjust            : num 0
..$ vjust            : num 1
..$ angle            : NULL
..$ lineheight       : NULL
..$ margin           : 'margin' num [1:4] 0points 0points 5.5points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug            : NULL
..$ inherit.blank    : logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ plot.title.position : chr "panel"
$ plot.subtitle       :List of 11
..$ family           : NULL
..$ face             : NULL
..$ colour           : NULL
..$ size             : NULL
..$ hjust            : num 0
..$ vjust            : num 1
..$ angle            : NULL
..$ lineheight       : NULL
..$ margin           : 'margin' num [1:4] 0points 0points 5.5points 0points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug            : NULL
..$ inherit.blank    : logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ plot.caption        :List of 11
..$ family           : NULL
..$ face             : NULL
..$ colour           : NULL
..$ size             : 'rel' num 0.8
..$ hjust            : num 1
..$ vjust            : num 1
..$ angle            : NULL
..$ lineheight       : NULL
..$ margin           : 'margin' num [1:4] 5.5points 0points 0points 0points
```



```

.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug          : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ plot.caption.position : chr "panel"
$ plot.tag          :List of 11
..$ family          : NULL
..$ face             : NULL
..$ colour           : NULL
..$ size             : 'rel' num 1.2
..$ hjust            : num 0.5
..$ vjust            : num 0.5
..$ angle            : NULL
..$ lineheight       : NULL
..$ margin           : NULL
..$ debug            : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ plot.tag.position  : chr "topleft"
$ plot.margin        : 'margin' num [1:4] 5.5points 5.5points 5.5po
ints 5.5points
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
$ strip.background   : list()
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_blank" "element"
$ strip.background.x : NULL
$ strip.background.y : NULL
$ strip.placement     : chr "inside"
$ strip.text          :List of 11
..$ family           : NULL
..$ face              : NULL
..$ colour            : chr "grey10"
..$ size              : 'rel' num 0.8
..$ hjust             : NULL
..$ vjust             : NULL
..$ angle             : NULL
..$ lineheight        : NULL
..$ margin            : 'margin' num [1:4] 4.4points 4.4points 4.4points 4.4po
ints
.. ..- attr(*, "unit")= int 8
..$ debug            : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ strip.text.x        : NULL
$ strip.text.y        :List of 11
..$ family           : NULL
..$ face              : NULL
..$ colour            : NULL
..$ size              : NULL
..$ hjust             : NULL
..$ vjust             : NULL
..$ angle             : num -90
..$ lineheight        : NULL
..$ margin            : NULL
..$ debug            : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
$ strip.switch.pad.grid : 'simpleUnit' num 2.75points
..- attr(*, "unit")= int 8
$ strip.switch.pad.wrap : 'simpleUnit' num 2.75points
..- attr(*, "unit")= int 8
$ strip.text.y.left    :List of 11
..$ family            : NULL

```

```
..$ face      : NULL
..$ colour    : NULL
..$ size      : NULL
..$ hjust     : NULL
..$ vjust     : NULL
..$ angle     : num 90
..$ lineheight : NULL
..$ margin    : NULL
..$ debug     : NULL
..$ inherit.blank: logi TRUE
..- attr(*, "class")= chr [1:2] "element_text" "element"
- attr(*, "class")= chr [1:2] "theme" "gg"
- attr(*, "complete")= logi TRUE
- attr(*, "validate")= logi TRUE
> write.csv2(km.res$cluster,"test.csv")
>
> #ende#
```

Anhang 14 – Regressionsmodell

```
> setwd("C:/Users/Fabian Sterzing/sciebo/Erhebung/Für R")
> getwd()
[1] "C:/Users/Fabian Sterzing/sciebo/Erhebung/Für R"
> maxNA <- 5
> library("lavaan")
> library(car)
> library(psych)
> library(semPlot)
> library(rcompanion)
> library(tidyverse)
> library(ggpubr)
> library(rstatix)
>
> PreTest_Dek <- read.csv2("Pre-Deklarativ.csv", sep = ";", na.strings = c(
  "77" , "88", "89", "99") )
> PreTest_Komp <- read.csv2("Pre-Kompetenz.csv", sep = ";", na.strings = c(
  "77" , "88", "89", "99") )
> PostTest_Dek <- read.csv2("Post-Deklarativ.csv", sep = ";", na.strings =
  c("77" , "88", "89", "99") )
> PostTest_Komp <- read.csv2("Post-Kompetenz.csv", sep = ";", na.strings =
  c("77" , "88,00", "89", "99") )
> Ergebnisse <- read.csv2("Ergebnisse.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
  , "88,00", "89", "99", "88.00", 88.00, 88) )
> Ergebnisse3 <- read.csv2("Ergebnisse3.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
  , "88,00", "89", "99", "88.00", 88.00, 88) )
>
> Interaktion <- read.csv2("Interaktion.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
  , "88,00", "88", "99", 88.00, 88) )
> Motivation <- read.csv2("Motivation.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
  , "88,00", "88", "99", 88.00, 88) )
>
> Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard <- scale(Ergebnisse3$Score.Declarativ.h
ard)
> Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard <- scale(Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Har
d)
> Ergebnisse3$SummeAVIV <- rowSums(Ergebnisse3[,c("Summe.AV", "Summe.IV")],
na.rm = TRUE)
> Ergebnisse3$SummeAVIV <- scale(Ergebnisse3$SummeAVIV)
> Ergebnisse3$Summe.AV <- scale(Ergebnisse3$Summe.AV)
> Ergebnisse3$Summe.IV <- scale(Ergebnisse3$Summe.IV)
> Ergebnisse3$Extremgruppe <- scale(Ergebnisse3$Extremgruppe)
> Ergebnisse3$Extremgruppe_dek <- scale(Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)
> Ergebnisse3$Interaktion_Cluster <- scale(Ergebnisse3$Interaktion_Cluster)
> Ergebnisse3$Handlungsprüfung <- scale(Ergebnisse3$Handlungsprüfung)
> Ergebnisse3$Summe_Interaktionen <- scale(Ergebnisse3$Summe_Interaktionen)
> Regressionsmodell3 <- lm(Ergebnisse3$Max.Dek ~ Ergebnisse3$Score.Declarat
iv.hard+Ergebnisse3$Summe.AV + Ergebnisse3$Summe.IV , na.action = na.exclud
e)
> summary(Regressionsmodell3)
```

Call:

```
lm(formula = Ergebnisse3$Max.Dek ~ Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard +
  Ergebnisse3$Summe.AV + Ergebnisse3$Summe.IV, na.action = na.exclude)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.42276	-0.28672	0.02359	0.28609	1.01103

Coefficients:

Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)

```
(Intercept)                0.14927    0.04779    3.124    0.00232 **
Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard -0.37650    0.05130   -7.339    4.94e-11 ***
Ergebnisse3$Summe.AV         -0.09016    0.06333   -1.424    0.15755
Ergebnisse3$Summe.IV         0.13074    0.06015    2.173    0.03202 *
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.4957 on 104 degrees of freedom

(38 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.3784, Adjusted R-squared: 0.3605

F-statistic: 21.1 on 3 and 104 DF, p-value: 9.382e-11

```
> Regressionsmodell4 <- lm(Ergebnisse3$Max.Komp ~ Ergebnisse3$Score.Kompete
nz.Hard+Ergebnisse3$Summe.AV + Ergebnisse3$Summe.IV , na.action = na.exclu
de)
```

```
> summary(Regressionsmodell4)
```

Call:

```
lm(formula = Ergebnisse3$Max.Komp ~ Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard +
    Ergebnisse3$Summe.AV + Ergebnisse3$Summe.IV, na.action = na.exclude)
```

Residuals:

```
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-5.0240 -0.2544  0.0273  0.3016  1.3159
```

Coefficients:

```
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    0.0007489   0.0682549    0.011    0.991
Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard -0.3253317   0.0712041   -4.569    1.34e-05 ***
Ergebnisse3$Summe.AV    0.1497919   0.0910107    1.646    0.103
Ergebnisse3$Summe.IV   -0.0755719   0.0875486   -0.863    0.390
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.7122 on 105 degrees of freedom

(37 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.2249, Adjusted R-squared: 0.2027

F-statistic: 10.15 on 3 and 105 DF, p-value: 6.271e-06

Anhang 15 – Regressionsmodell mit Imputation

```

> setwd("C:/Users/Fabian Sterzing/sciebo/Erhebung/Für R")
> getwd()
[1] "C:/Users/Fabian Sterzing/sciebo/Erhebung/Für R"
> maxNA <- 5
> library("lavaan")
> library(car)
> library(psych)
> library(semPlot)
> library(rcompanion)
> library(tidyverse)
> library(ggpubr)
> library(rstatix)
>
> library(mice)
> library(dplyr)
> PreTest_Dek <- read.csv2("Pre-Deklarativ.csv", sep = ";", na.strings =
c("77", "88", "89", "99"))
> PreTest_Komp <- read.csv2("Pre-Kompetenz.csv", sep = ";", na.strings =
c("77", "88", "89", "99"))
> PostTest_Dek <- read.csv2("Post-Deklarativ.csv", sep = ";", na.strings =
c("77", "88", "89", "99"))
> PostTest_Komp <- read.csv2("Post-Kompetenz.csv", sep = ";", na.strings =
c("77", "88,00", "89", "99"))
> Ergebnisse <- read.csv2("Ergebnisse.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
, "88,00", "89", "99", "88.00", 88.00, 88))
> Ergebnisse3 <- read.csv2("Ergebnisse3.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
, "88,00", "89", "99", "88.00", 88.00, 88))
>
> Interaktion <- read.csv2("Interaktion.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
, "88,00", "88", "99", 88.00, 88))
> Motivation <- read.csv2("Motivation.csv", sep = ";", na.strings = c("77"
, "88,00", "88", "99", 88.00, 88))
>
>
> summary(Ergebnisse3$Summe.AV)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.   NA's
  2.00  17.00  21.00  20.38  24.00   30.00    34
> summary(Ergebnisse3$Summe.IV)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.   NA's
  0.00  30.75  34.00  33.12  38.00   45.00    34
> Ergebnisse3$Summe.AV_imp <- as.numeric(Ergebnisse3$Summe.AV)
> Ergebnisse3$Summe.IV_imp <- as.numeric(Ergebnisse3$Summe.IV)
> Ergebnisse4 <- select(Ergebnisse3, Code, Score.Declarativ.hard,
Score.Kompetenz.Hard, Max.Dek, Max.Komp, Summe.AV, Summe.IV)
> summary(Ergebnisse4$Summe.AV_imp)
Length Class Mode
  0      NULL  NULL
>
> my_imp1 = mice(Ergebnisse4, m= 5, method = c("", "", "", "", "", "pmm", "pmm"),
maxit = 20)

iter imp variable
  1   1 Summe.AV Summe.IV
  1   2 Summe.AV Summe.IV
  1   3 Summe.AV Summe.IV
  1   4 Summe.AV Summe.IV
  1   5 Summe.AV Summe.IV
  2   1 Summe.AV Summe.IV
  2   2 Summe.AV Summe.IV
  2   3 Summe.AV Summe.IV
  2   4 Summe.AV Summe.IV
  2   5 Summe.AV Summe.IV
  3   1 Summe.AV Summe.IV
  3   2 Summe.AV Summe.IV
  3   3 Summe.AV Summe.IV
  3   4 Summe.AV Summe.IV
  3   5 Summe.AV Summe.IV
  4   1 Summe.AV Summe.IV

```

4	2	Summe.AV	Summe.IV
4	3	Summe.AV	Summe.IV
4	4	Summe.AV	Summe.IV
4	5	Summe.AV	Summe.IV
5	1	Summe.AV	Summe.IV
5	2	Summe.AV	Summe.IV
5	3	Summe.AV	Summe.IV
5	4	Summe.AV	Summe.IV
5	5	Summe.AV	Summe.IV
6	1	Summe.AV	Summe.IV
6	2	Summe.AV	Summe.IV
6	3	Summe.AV	Summe.IV
6	4	Summe.AV	Summe.IV
6	5	Summe.AV	Summe.IV
7	1	Summe.AV	Summe.IV
7	2	Summe.AV	Summe.IV
7	3	Summe.AV	Summe.IV
7	4	Summe.AV	Summe.IV
7	5	Summe.AV	Summe.IV
8	1	Summe.AV	Summe.IV
8	2	Summe.AV	Summe.IV
8	3	Summe.AV	Summe.IV
8	4	Summe.AV	Summe.IV
8	5	Summe.AV	Summe.IV
9	1	Summe.AV	Summe.IV
9	2	Summe.AV	Summe.IV
9	3	Summe.AV	Summe.IV
9	4	Summe.AV	Summe.IV
9	5	Summe.AV	Summe.IV
10	1	Summe.AV	Summe.IV
10	2	Summe.AV	Summe.IV
10	3	Summe.AV	Summe.IV
10	4	Summe.AV	Summe.IV
10	5	Summe.AV	Summe.IV
11	1	Summe.AV	Summe.IV
11	2	Summe.AV	Summe.IV
11	3	Summe.AV	Summe.IV
11	4	Summe.AV	Summe.IV
11	5	Summe.AV	Summe.IV
12	1	Summe.AV	Summe.IV
12	2	Summe.AV	Summe.IV
12	3	Summe.AV	Summe.IV
12	4	Summe.AV	Summe.IV
12	5	Summe.AV	Summe.IV
13	1	Summe.AV	Summe.IV
13	2	Summe.AV	Summe.IV
13	3	Summe.AV	Summe.IV
13	4	Summe.AV	Summe.IV
13	5	Summe.AV	Summe.IV
14	1	Summe.AV	Summe.IV
14	2	Summe.AV	Summe.IV
14	3	Summe.AV	Summe.IV
14	4	Summe.AV	Summe.IV
14	5	Summe.AV	Summe.IV
15	1	Summe.AV	Summe.IV
15	2	Summe.AV	Summe.IV
15	3	Summe.AV	Summe.IV
15	4	Summe.AV	Summe.IV
15	5	Summe.AV	Summe.IV
16	1	Summe.AV	Summe.IV
16	2	Summe.AV	Summe.IV
16	3	Summe.AV	Summe.IV
16	4	Summe.AV	Summe.IV
16	5	Summe.AV	Summe.IV
17	1	Summe.AV	Summe.IV
17	2	Summe.AV	Summe.IV
17	3	Summe.AV	Summe.IV
17	4	Summe.AV	Summe.IV
17	5	Summe.AV	Summe.IV
18	1	Summe.AV	Summe.IV

```

18 2 Summe.AV Summe.IV
18 3 Summe.AV Summe.IV
18 4 Summe.AV Summe.IV
18 5 Summe.AV Summe.IV
19 1 Summe.AV Summe.IV
19 2 Summe.AV Summe.IV
19 3 Summe.AV Summe.IV
19 4 Summe.AV Summe.IV
19 5 Summe.AV Summe.IV
20 1 Summe.AV Summe.IV
20 2 Summe.AV Summe.IV
20 3 Summe.AV Summe.IV
20 4 Summe.AV Summe.IV
20 5 Summe.AV Summe.IV
Warning message:
Number of logged events: 1
> summary(my_imp1)
Class: mids
Number of multiple imputations: 5
Imputation methods:
      Code      Score.Declarativ.hard      Score.Kompetenz.Hard
Max.Dek      ""      Max.Komp      Summe.AV      ""
""      ""      ""      "pmm"      ""
      Summe.IV
      "pmm"
PredictorMatrix:
      Code      Score.Declarativ.hard      Score.Kompetenz.Hard
Max.Dek Max.Komp Summe.AV Summe.IV
Code      0      1      1      1
1      1      1      1      0
Score.Declarativ.hard      0      0      1      1
1      1      1      1      0
Score.Kompetenz.Hard      0      1      0      1
1      1      1      0      1
Max.Dek      0      1      1      0
1      1      1      0      1
Max.Komp      0      1      1      1
0      1      1      0      1
Summe.AV      0      1      1      1
1      0      1      1      1
Number of logged events: 1
  it im dep      meth out
1 0 0      constant Code
> my_imp1$imp$Summe.AV
  1 2 3 4 5
1 25 27 16 20 24
2 25 18 25 16 17
3 24 16 24 19 19
4 20 18 25 23 24
7 16 27 21 25 22
8 25 22 29 16 21
17 16 20 18 16 21
23 24 25 25 18 12
26 24 24 14 21 17
27 25 21 16 23 19
30 16 20 21 26 25
37 19 24 23 25 23
47 20 26 20 25 24
50 19 26 26 19 23
55 24 27 19 20 30
56 17 27 21 18 19
61 22 19 21 23 26
65 18 24 29 23 24
66 23 26 25 25 23
67 16 16 21 25 16
69 20 24 16 23 25
93 16 14 12 18 18
96 18 24 24 26 24
97 16 26 24 20 24

```

```

98  20 26 20 25 20
106  9 28 26 20 19
108 16 21 18 16 21
110 NA NA NA NA NA
112 20 25 24 16 23
125 17 26 24 27 21
136 22 10 25 20 16
137 25 16 18 23 14
139 21 20 18 16 17
143 20 26 20 14 26
> my_imp1$imp$Summe.IV
  1  2  3  4  5
1   39 39 27 34 40
2   37 41 39 44 31
3   31 34 39 26 33
4   41 31 31 34 34
7   21 37 27 42 34
8   39 39 45 43 32
17  25 34 31 34 32
23  34 44 36 28 29
26  39 37 34 38 35
27  32 27 25 36 29
30  26 33 32 39 41
37  43 38 40 34 33
47  27 31 23 41 40
50  35 36 40 34 36
55  41 39 25 31 42
56  37 39 32 33 34
61  32 31 35 38 31
65  34 37 37 32 39
66  34 41 28 32 39
67  34 34 42 39 27
69  26 37 33 37 31
93  33 34 33 38 38
96  31 39 39 39 37
97  31 42 37 31 36
98  31 31 34 28 23
106  6 42 39 33 38
108 34 39 38 37 33
110 NA NA NA NA NA
112 34 37 41 44 41
125 25 42 28 39 34
136 27 24 34 27 33
137 28 27 34 34 34
139 34 31 37 21 31
143 36 37 30 25 42
> final_clean_ds <- complete(my_imp1, 5)
> final_clean_ds <- as.data.frame(final_clean_ds)
> dimnames(final_clean_ds)
[[1]]
 [1] "1" "2" "3" "4" "5" "6" "7" "8" "9" "10" "11" "12"
[13] "14" "15" "16" "17" "18" "19" "20" "21"
 [22] "22" "23" "24" "25" "26" "27" "28" "29" "30" "31" "32" "33"
 [34] "35" "36" "37" "38" "39" "40" "41" "42"
 [43] "43" "44" "45" "46" "47" "48" "49" "50" "51" "52" "53" "54"
 [55] "56" "57" "58" "59" "60" "61" "62" "63"
 [64] "64" "65" "66" "67" "68" "69" "70" "71" "72" "73" "74" "75"
 [76] "77" "78" "79" "80" "81" "82" "83" "84"
 [85] "85" "86" "87" "88" "89" "90" "91" "92" "93" "94" "95" "96"
 [97] "98" "99" "100" "101" "102" "103" "104" "105"
[106] "106" "107" "108" "109" "110" "111" "112" "113" "114" "115" "116" "117"
[118] "119" "120" "121" "122" "123" "124" "125" "126"
[127] "127" "128" "129" "130" "131" "132" "133" "134" "135" "136" "137" "138"
[139] "140" "141" "142" "143" "144" "145" "146"

[[2]]
[1] "Code" "Score.Declarativ.hard" "Score.Kompetenz.Hard"
"Max.Dek" "Max.Komp"
[6] "Summe.AV" "Summe.IV"

```



```

>
>
>
>
>
> Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard <-
scale(Ergebnisse3$Score.Declarativ.hard)
> Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard <-
scale(Ergebnisse3$Score.Kompetenz.Hard)
> Ergebnisse3$SummeAVIV <- rowSums(Ergebnisse3[,c("Summe.AV", "Summe.IV")],
na.rm = TRUE)
> Ergebnisse3$SummeAVIV <- scale(Ergebnisse3$SummeAVIV)
> Ergebnisse3$Summe.AV <- scale(Ergebnisse3$Summe.AV)
> Ergebnisse3$Summe.IV <- scale(Ergebnisse3$Summe.IV)
> Ergebnisse3$Extremgruppe <- scale(Ergebnisse3$Extremgruppe)
> Ergebnisse3$Extremgruppe_dek <- scale(Ergebnisse3$Extremgruppe_dek)
> Ergebnisse3$Interaktion_Cluster <- scale(Ergebnisse3$Interaktion_Cluster)
>
> final_clean_ds$Score.Declarativ.hard <-
scale(final_clean_ds$Score.Declarativ.hard)
> final_clean_ds$Score.Kompetenz.Hard <-
scale(final_clean_ds$Score.Kompetenz.Hard)
> final_clean_ds$Summe.AV_imp <- scale(final_clean_ds$Summe.AV)
> final_clean_ds$Summe.IV_imp <- scale(final_clean_ds$Summe.IV)
>
>
> Regressionsmodell11 <- lm(final_clean_ds$Max.Dek ~
final_clean_ds$Score.Declarativ.hard+final_clean_ds$Summe.AV+final_clean_ds$
Summe.IV)
> summary(Regressionsmodell11)

```

Call:

```
lm(formula = final_clean_ds$Max.Dek ~ final_clean_ds$Score.Declarativ.hard +
    final_clean_ds$Summe.AV + final_clean_ds$Summe.IV)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-2.58460	-0.24429	0.02385	0.29824	0.96302

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.162639	0.221175	-0.735	0.4634
final_clean_ds\$Score.Declarativ.hard	-0.313278	0.043504	-7.201	3.6e-11

final_clean_ds\$Summe.AV	-0.008198	0.011401	-0.719	0.4733
final_clean_ds\$Summe.IV	0.014855	0.007430	1.999	0.0475
*				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.4891 on 137 degrees of freedom

(5 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.3155, Adjusted R-squared: 0.3005

F-statistic: 21.05 on 3 and 137 DF, p-value: 2.827e-11

```

>
>
> Regressionsmodell16 <- lm(final_clean_ds$Max.Komp
final_clean_ds$Score.Kompetenz.Hard+final_clean_ds$Summe.AV+final_clean_ds$
Summe.IV)
> summary(Regressionsmodell16)

```

Call:

```
lm(formula = final_clean_ds$Max.Komp ~ final_clean_ds$Score.Kompetenz.Hard +
    final_clean_ds$Summe.AV + final_clean_ds$Summe.IV)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-5.0594	-0.2538	0.0050	0.3141	1.2950

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.319538	0.290161	-1.101	0.2727
final_clean_ds\$Score.Kompetenz.Hard	-0.320257	0.057193	-5.600	1.12e-07

final_clean_ds\$Summe.AV	0.030234	0.015385	1.965	0.0514
final_clean_ds\$Summe.IV	-0.008322	0.010174	-0.818	0.4148

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.6604 on 138 degrees of freedom
 (4 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.2379, Adjusted R-squared: 0.2213

F-statistic: 14.36 on 3 and 138 DF, p-value: 3.402e-08

Anhang 16 – Arc Diagramme

```
library(devtools)
library(igraph)
library(arcDiagram)
library(tidyverse)
library(network)
library(tidygraph)
library(ggraph)
library(ggplot2)
library(alluvial)

setwd("C:/Users/Fabian Sterzing/sciebo/Erhebung/Für R")
getwd()

Springen <- read.csv2("Springen.csv", sep = ";", na.strings = c("77", "88",
"89", "99"))
Count <- read.csv2("Count.csv", sep = ";", na.strings = c("77", "88", "89",
"99"))
Vorspulen <- read.csv2("Vorspulen.csv", sep = ";", na.strings = c("77",
"88", "89", "99"))
Zusammen <- read.csv2("Zusammen.csv", sep = ";", na.strings = c("77", "88",
"89", "99"))
vor_video1 <- read.csv2("Vor_Video1.csv", sep = ";", na.strings = c("77",
"88", "89", "99"))
vor_video2 <- read.csv2("Vor_Video2.csv", sep = ";", na.strings = c("77",
"88", "89", "99"))
Zurück_video1 <- read.csv2("Zurück_Video1.csv", sep = ";", na.strings = c("77",
"88", "89", "99"))
Zurück_video2 <- read.csv2("Zurück_Video2.csv", sep = ";", na.strings = c("77",
"88", "89", "99"))
vorspuleEx1 <- read.csv2("Vorspulen_Ex1.csv", sep = ";", na.strings = c("77",
"88", "89", "99"))
vorspuleEx2 <- read.csv2("Vorspulen_Ex2.csv", sep = ";", na.strings = c("77",
"88", "89", "99"))
vorspuleEx3 <- read.csv2("Vorspulen_Ex3.csv", sep = ";", na.strings = c("77",
"88", "89", "99"))
zurückEx1 <- read.csv2("Zurück_Ex1.csv", sep = ";", na.strings = c("77",
"88", "89", "99"))
zurückEx2 <- read.csv2("Zurück_Ex2.csv", sep = ";", na.strings = c("77",
"88", "89", "99"))
zurückEx3 <- read.csv2("Zurück_Ex3.csv", sep = ";", na.strings = c("77",
"88", "89", "99"))
zurückEx1dek <- read.csv2("ZurückEx1dek.csv", sep = ";", na.strings = c("77",
"88", "89", "99"))
VorEx1dek <- read.csv2("VorEx1dek.csv", sep = ";", na.strings = c("77", "88",
"89", "99"))

ZurückEx2dek <- read.csv2("ZurückEx2dek.csv", sep = ";", na.strings = c("77",
"88", "89", "99"))
VorEx2dek <- read.csv2("VorEx2dek.csv", sep = ";", na.strings = c("77", "88",
"89", "99"))
```

```
ZurückEx3dek <- read.csv2("ZurückEx3dek.csv",sep = ";", na.strings = c("77"
, "88", "89", "99"))
VorEx3dek <- read.csv2("VorEx3dek.csv",sep = ";", na.strings = c("77" , "88",
"89", "99"))
labels1 <- read.csv2("labels1.csv",sep = ";", na.strings = c("77" , "88",
"89", "99"))
Ex1Vi1 <- read.csv2("Ex1Vi1.csv",sep = ";", na.strings = c("77" , "88", "89",
"99"))
Ex1Vi2 <- read.csv2("Ex1Vi2.csv",sep = ";", na.strings = c("77" , "88", "89",
"99"))
Vor_Asy <- read.csv2("VorAsy.csv",sep = ";", na.strings = c("77" , "88",
"89", "99"))
Zurück_Asy <- read.csv2("ZurückAsy.csv",sep = ";", na.strings = c("77" ,
"88", "89", "99"))
Vor_Sy<- read.csv2("VorSy.csv",sep = ";", na.strings = c("77" , "88", "89",
"99"))
Zurück_Sy <- read.csv2("ZurückSy.csv",sep = ";", na.strings = c("77" , "88",
"89", "99"))
```

```
count1 <- as.data.frame(Count, stringsAsFactors = FALSE)
vorspulen1 <- as.data.frame(vorspulen, StringsAsFactors = FALSE)
zusammen1 <- as.data.frame(Zusammen, Stringasfactors= FALSE)
vor_video1 <- as.data.frame(vor_video1, stringasfactors = FALSE)
vor_video2 <- as.data.frame(vor_video2, stringasfactors = FALSE)
zurück_video1 <- as.data.frame(Zurück_video1, stringasfactors = FALSE)
zurück_video2 <- as.data.frame(Zurück_video2, stringasfactors = FALSE)
vorspuleEx1 <- as.data.frame(vorspuleEx1, stringasfactors = FALSE)
vorspuleEx2 <- as.data.frame(vorspuleEx2, stringasfactors = FALSE)
vorspuleEx3 <- as.data.frame(vorspuleEx3, stringasfactors = FALSE)
Vor_Asy <- as.data.frame(vors)
Zurück_Asy
Vor_Sy
Zurück_Sy
```

```
zurückEx1 <- as.data.frame(zurückEx1, stringasfactors = FALSE)
zurückEx2 <- as.data.frame(zurückEx2, stringasfactors = FALSE)
zurückEx3 <- as.data.frame(zurückEx3, stringasfactors = FALSE)
Vor_Asy <-as.data.frame(Vor_Asy, stringasfactors = FALSE)
Zurück_Asy <-as.data.frame(Zurück_Asy, stringasfactors = FALSE)
Vor_Sy <-as.data.frame(Vor_Sy, stringasfactors = FALSE)
Zurück_Sy <-as.data.frame(Zurück_Sy, stringasfactors = FALSE)
```

```
head(count1)
```

```
alluvial(count1[,1:2], freq=count1$Anzahl, cex = 0.8, hide = count1$Anzahl
< 2, blocks = TRUE, gap.width = 0.3, cw = 0.03)
```

```
head(vorspulen1)
```

```
alluvial(vorspulen1[,1:2], freq=vorspulen1$Anzahl, cex = 0.8, hide =
count1$Anzahl < 2, blocks = TRUE, gap.width = 0.3, cw = 0.03)
```

```
#ARC gespiele#
```

```
count2 <- select(count1, Start, Ende)
count3 <- as.matrix(count2)
```

```
arcplot(count3, lwd.arcs = count1$Anzahl,
sorted= TRUE, show.nodes = TRUE)
```

```
vorspulen2 <- select(vorspulen1, i..Start1, Ende1)
vorspulen3 <- as.matrix(vorspulen2)
arcplot(vorspulen3, lwd.arcs = vorspulen1$Anzahl1,
sorted= TRUE, show.nodes = TRUE, horizontal = TRUE, col.arcs =
"#77777765")
```

```

zusammen2 <- select(zusammen1, i..Start1, Ende1)
zusammen3 <- as.matrix(zusammen2)

arcplot(zusammen3, lwd.arcs = zusammen1$Anzahl1,
        sorted= TRUE, show.nodes = TRUE, above =
c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,2
8,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,5
3,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,7
8,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100,101,10
2,103,104,105,106,107,108,109,110,111,112,113,114,115,116,117,118,119,120,1
21,122,123,124,125,126,127,128,129,130,131,132,133,134,135,136,137,138,139,
140,141,142,143,144,145,146,147,148,149,150,151,152,153,154,155,156,157,158
,159,160,161,162,163,164,165,166,167,168,169,170,171,172,173,174,175
))

#Vor_video 1#

vor_video1.1 <-select(vor_video1, Start1, Ende1)
vor_video1.1 <- as.matrix(vor_video1.1)
arcplot(vor_video1.1, lwd.arcs = vor_video1$Anzahl1, sorted = TRUE,
show.nodes = TRUE, col.arcs = "#77777765")

#Vor_video 2#

vor_video2.1 <-select(vor_video2, Start1, Ende1)
vor_video2.1 <- as.matrix(vor_video2.1)
arcplot(vor_video2.1, lwd.arcs = vor_video2$Anzahl1, sorted = TRUE,
show.nodes = TRUE, col.arcs = "#77777765")

#Zurück_video 1#

zurück_video1.1 <-select(zurück_video1, Start1, Ende1)
zurück_video1.1 <- as.matrix(zurück_video1.1)
arcplot(zurück_video1.1, lwd.arcs = zurück_video1$Anzahl1, sorted = TRUE,
show.nodes = TRUE)

#Zurück_video 2#

zurück_video2.1 <-select(zurück_video2, Start1, Ende1)
zurück_video2.1 <- as.matrix(zurück_video2.1)
arcplot(zurück_video2.1, lwd.arcs = zurück_video2$Anzahl1, sorted = TRUE,
show.nodes = TRUE)

#vor und zurück Extremgruppe 1#

vorspuleEx1.1 <-select(vorspuleEx1, Start1, Ende1)
vorspuleEx1.1 <- as.matrix(vorspuleEx1.1)
arcplot(vorspuleEx1.1, lwd.arcs = vorspuleEx1$Anzahl1, sorted = TRUE,
show.nodes = TRUE, col.arcs = "#77777765")

zurückEx1.1 <-select(zurückEx1, Start1, Ende1)
zurückEx1.1 <- as.matrix(zurückEx1.1)
arcplot(zurückEx1.1, lwd.arcs = zurückEx1$Anzahl1, sorted = TRUE, show.nodes
= TRUE)

#vor und zurück Extremgruppe 2#

vorspuleEx2.1 <-select(vorspuleEx2, Start1, Ende1)
vorspuleEx2.1 <- as.matrix(vorspuleEx2.1)
arcplot(vorspuleEx2.1, lwd.arcs = vorspuleEx2$Anzahl1, sorted = TRUE,
show.nodes = TRUE, col.arcs = "#77777765")

zurückEx2.1 <-select(zurückEx2, Start1, Ende1)
zurückEx2.1 <- as.matrix(zurückEx2.1)
arcplot(zurückEx2.1, lwd.arcs = zurückEx2$Anzahl1, sorted = TRUE, show.nodes
= TRUE)

#vor und zurück Extremgruppe 3#

vorspuleEx3.1 <-select(vorspuleEx3, Start1, Ende1)
vorspuleEx3.1 <- as.matrix(vorspuleEx3.1)
arcplot(vorspuleEx3.1, lwd.arcs = vorspuleEx3$Anzahl1, sorted = TRUE,
show.nodes = TRUE, col.arcs = "#77777765")

```

```

zurückEx3.1 <-select(zurückEx3, Start1, Ende1)
zurückEx3.1 <- as.matrix(zurückEx3.1)
arcplot(zurückEx3.1, lwd.arcs = zurückEx3$Anzahl1, sorted = TRUE, show.nodes
= TRUE)

#Vor und Zurück Extremgruppe 1 dek#
VorEx1.1dek <-select(VorEx1dek, Start1, Ende1)
VorEx1.1dek <- as.matrix(VorEx1.1dek)
arcplot(VorEx1.1dek, lwd.arcs = VorEx1dek$Anzahl1, sorted = TRUE, show.nodes
= TRUE, col.arcs = "#77777765")

ZurückEx1.1dek <-select(ZurückEx1dek, Start1, Ende1)
ZurückEx1.1dek <- as.matrix(ZurückEx1.1dek)
arcplot(ZurückEx1.1dek, lwd.arcs = ZurückEx1dek$Anzahl1, sorted = TRUE,
show.nodes = TRUE)

#Vor und Zurück Extremgruppe 2 dek#
VorEx2.1dek <-select(VorEx2dek, Start1, Ende1)
VorEx2.1dek <- as.matrix(VorEx2.1dek)
arcplot(VorEx2.1dek, lwd.arcs = VorEx2dek$Anzahl1, sorted = TRUE, show.nodes
= TRUE, col.arcs = "#77777765")

ZurückEx2.1dek <-select(ZurückEx2dek, Start1, Ende1)
ZurückEx2.1dek <- as.matrix(ZurückEx2.1dek)
arcplot(ZurückEx2.1dek, lwd.arcs = ZurückEx2dek$Anzahl1, sorted = TRUE,
show.nodes = TRUE)

#Vor und Zurück Extremgruppe 3 dek#
VorEx3.1dek <-select(VorEx3dek, Start1, Ende1)
VorEx3.1dek <- as.matrix(VorEx3.1dek)
arcplot(VorEx3.1dek, lwd.arcs = VorEx3dek$Anzahl1, sorted = TRUE, show.nodes
= TRUE, col.arcs = "#77777765")

ZurückEx3.1dek <-select(ZurückEx3dek, Start1, Ende1)
ZurückEx3.1dek <- as.matrix(ZurückEx3.1dek)
arcplot(ZurückEx3.1dek, lwd.arcs = ZurückEx3dek$Anzahl1, sorted = TRUE,
show.nodes = TRUE)

#Vor und Zurück Synchron#
Vor_Sy1 <-select(Vor_Sy, Start, Ende)
Vor_Sy1 <- as.matrix(Vor_Sy1)
arcplot(Vor_Sy1, lwd.arcs = Vor_Sy$Anzahl1, sorted = TRUE, show.nodes = TRUE,
col.arcs = "#77777765")

Zurück_Sy1 <-select(Zurück_Sy, Start, Ende)
Zurück_Sy1 <- as.matrix(Zurück_Sy1)
arcplot(Zurück_Sy1, lwd.arcs = Zurück_Sy$Anzahl1, sorted = TRUE, show.nodes
= TRUE)

#Vor und Zurück Asynchron#
Vor_Asy1 <-select(Vor_Asy, Start, Ende)
Vor_Asy1 <- as.matrix(Vor_Asy1)
arcplot(Vor_Asy1, lwd.arcs = Vor_Asy$Anzahl1, sorted = TRUE, show.nodes =
TRUE, col.arcs = "#77777765")

Zurück_Asy1 <-select(Zurück_Asy, Start, Ende)
Zurück_Asy1 <- as.matrix(Zurück_Asy1)
arcplot(Zurück_Asy1, lwd.arcs = Zurück_Asy$Anzahl1, sorted = TRUE, show.nodes
= TRUE)

#Extremgruppe 1 Video 1#
Ex1Vi1.1 <-select(Ex1Vi1, Start1, Ende1)
Ex1Vi1.1 <- as.matrix(Ex1Vi1.1)
arcplot(Ex1Vi1.1, lwd.arcs = Ex1Vi1$Anzahl1, sorted = TRUE, show.nodes =
TRUE)

```

```
#Extremgruppe 1 Video 2#  
Ex1Vi2.1 <-select(Ex1Vi2, Start1, Ende1)  
Ex1Vi2.1 <- as.matrix(Ex1Vi2.1)  
arcplot(Ex1Vi2.1, lwd.arcs = Ex1Vi2$Anzahl, sorted = TRUE, show.nodes =  
TRUE)
```

Bisher erschienene Bände der Reihe „*Studien zum Physik- und Chemielernen*“

ISSN 1614-8967 (vormals *Studien zum Physiklernen* ISSN 1435-5280)

- 1 Helmut Fischler, Jochen Peuckert (Hrsg.): Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie
ISBN 978-3-89722-256-4 40.50 EUR
- 2 Anja Schoster: Bedeutungsentwicklungsprozesse beim Lösen algorithmischer Physikaufgaben. *Eine Fallstudie zu Lernprozessen von Schülern im Physiknachhilfeunterricht während der Bearbeitung algorithmischer Physikaufgaben*
ISBN 978-3-89722-045-4 40.50 EUR
- 3 Claudia von Aufschnaiter: Bedeutungsentwicklungen, Interaktionen und situatives Erleben beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben
ISBN 978-3-89722-143-7 40.50 EUR
- 4 Susanne Haerberlen: Lernprozesse im Unterricht mit Wasserstromkreisen. *Eine Fallstudie in der Sekundarstufe I*
ISBN 978-3-89722-172-7 40.50 EUR
- 5 Kerstin Haller: Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen. *Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum*
ISBN 978-3-89722-242-7 40.50 EUR
- 6 Michaela Horstendahl: Motivationale Orientierungen im Physikunterricht
ISBN 978-3-89722-227-4 50.00 EUR
- 7 Stefan Deylitz: Lernergebnisse in der Quanten-Atomphysik. *Evaluation des Bremer Unterrichtskonzepts*
ISBN 978-3-89722-291-5 40.50 EUR
- 8 Lorenz Huckle: Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums
ISBN 978-3-89722-316-5 50.00 EUR
- 9 Heike Theyßen: Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin. *Darstellung der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion*
ISBN 978-3-89722-334-9 40.50 EUR
- 10 Annette Schick: Der Einfluß von Interesse und anderen selbstbezogenen Kognitionen auf Handlungen im Physikunterricht. *Fallstudien zu Interessenhandlungen im Physikunterricht*
ISBN 978-3-89722-380-6 40.50 EUR
- 11 Roland Berger: Moderne bildgebende Verfahren der medizinischen Diagnostik. *Ein Weg zu interessanterem Physikunterricht*
ISBN 978-3-89722-445-2 40.50 EUR

- 12 Johannes Werner: Vom Licht zum Atom. *Ein Unterrichtskonzept zur Quantenphysik unter Nutzung des Zeigermodells*
ISBN 978-3-89722-471-1 40.50 EUR
- 13 Florian Sander: Verbindung von Theorie und Experiment im physikalischen Praktikum. *Eine empirische Untersuchung zum handlungsbezogenen Vorverständnis und dem Einsatz grafikorientierter Modellbildung im Praktikum*
ISBN 978-3-89722-482-7 40.50 EUR
- 14 Jörn Gerdes: Der Begriff der physikalischen Kompetenz. *Zur Validierung eines Konstruktes*
ISBN 978-3-89722-510-7 40.50 EUR
- 15 Malte Meyer-Arndt: Interaktionen im Physikpraktikum zwischen Studierenden und Betreuern. *Feldstudie zu Bedeutungsentwicklungsprozessen im physikalischen Praktikum*
ISBN 978-3-89722-541-1 40.50 EUR
- 16 Dietmar Höttecke: Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. *Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen*
ISBN 978-3-89722-607-4 40.50 EUR
- 17 Gil Gabriel Mavanga: Entwicklung und Evaluation eines experimentell- und phänomenorientierten Optikcurriculums. *Untersuchung zu Schülervorstellungen in der Sekundarstufe I in Mosambik und Deutschland*
ISBN 978-3-89722-721-7 40.50 EUR
- 18 Meike Ute Zastrow: Interaktive Experimentieranleitungen. *Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes zur Vorbereitung auf das Experimentieren mit Messgeräten im Physikalischen Praktikum*
ISBN 978-3-89722-802-3 40.50 EUR
- 19 Gunnar Friege: Wissen und Problemlösen. *Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*
ISBN 978-3-89722-809-2 40.50 EUR
- 20 Erich Starauschek: Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs. *Ergebnisse einer Evaluationsstudie*
ISBN 978-3-89722-823-8 40.50 EUR
- 21 Roland Paatz: Charakteristika analogiebasierten Denkens. *Vergleich von Lernprozessen in Basis- und Zielbereich*
ISBN 978-3-89722-944-0 40.50 EUR
- 22 Silke Mikelskis-Seifert: Die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern. *Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen*
ISBN 978-3-8325-0013-9 40.50 EUR
- 23 Brunhild Landwehr: Distanzen von Lehrkräften und Studierenden des Sachunterrichts zur Physik. *Eine qualitativ-empirische Studie zu den Ursachen*
ISBN 978-3-8325-0044-3 40.50 EUR

- 24 Lydia Murmann: Physiklernen zu Licht, Schatten und Sehen. *Eine phänomenografische Untersuchung in der Primarstufe*
ISBN 978-3-8325-0060-3 40.50 EUR
- 25 Thorsten Bell: Strukturprinzipien der Selbstregulation. *Komplexe Systeme, Elementarisierungen und Lernprozessstudien für den Unterricht der Sekundarstufe II*
ISBN 978-3-8325-0134-1 40.50 EUR
- 26 Rainer Müller: Quantenphysik in der Schule
ISBN 978-3-8325-0186-0 40.50 EUR
- 27 Jutta Roth: Bedeutungsentwicklungsprozesse von Physikerinnen und Physikern in den Dimensionen Komplexität, Zeit und Inhalt
ISBN 978-3-8325-0183-9 40.50 EUR
- 28 Andreas Saniter: Spezifika der Verhaltensmuster fortgeschrittener Studierender der Physik
ISBN 978-3-8325-0292-8 40.50 EUR
- 29 Thomas Weber: Kumulatives Lernen im Physikunterricht. *Eine vergleichende Untersuchung in Unterrichtsgängen zur geometrischen Optik*
ISBN 978-3-8325-0316-1 40.50 EUR
- 30 Markus Rehm: Über die Chancen und Grenzen moralischer Erziehung im naturwissenschaftlichen Unterricht
ISBN 978-3-8325-0368-0 40.50 EUR
- 31 Marion Budde: Lernwirkungen in der Quanten-Atom-Physik. *Fallstudien über Resonanzen zwischen Lernangeboten und SchülerInnen-Vorstellungen*
ISBN 978-3-8325-0483-0 40.50 EUR
- 32 Thomas Reyer: Oberflächenmerkmale und Tiefenstrukturen im Unterricht. *Exemplarische Analysen im Physikunterricht der gymnasialen Sekundarstufe*
ISBN 978-3-8325-0488-5 40.50 EUR
- 33 Christoph Thomas Müller: Subjektive Theorien und handlungsleitende Kognitionen von Lehrern als Determinanten schulischer Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-0543-1 40.50 EUR
- 34 Gabriela Jonas-Ahrend: Physiklehrervorstellungen zum Experiment im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-0576-9 40.50 EUR
- 35 Dimitrios Stavrou: Das Zusammenspiel von Zufall und Gesetzmäßigkeiten in der nicht-linearen Dynamik. *Didaktische Analyse und Lernprozesse*
ISBN 978-3-8325-0609-4 40.50 EUR
- 36 Katrin Engeln: Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken
ISBN 978-3-8325-0689-6 40.50 EUR
- 37 Susann Hartmann: Erklärungsvielfalt
ISBN 978-3-8325-0730-5 40.50 EUR

- 38 Knut Neumann: Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker
ISBN 978-3-8325-0762-6 40.50 EUR
- 39 Michael Späth: Kontextbedingungen für Physikunterricht an der Hauptschule. *Möglichkeiten und Ansatzpunkte für einen fachübergreifenden, handlungsorientierten und berufsorientierten Unterricht*
ISBN 978-3-8325-0827-2 40.50 EUR
- 40 Jörg Hirsch: Interesse, Handlungen und situatives Erleben von Schülerinnen und Schülern beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben
ISBN 978-3-8325-0875-3 40.50 EUR
- 41 Monika Hüther: Evaluation einer hypermedialen Lernumgebung zum Thema Gasgesetze. *Eine Studie im Rahmen des Physikpraktikums für Studierende der Medizin*
ISBN 978-3-8325-0911-8 40.50 EUR
- 42 Maike Tesch: Das Experiment im Physikunterricht. *Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie*
ISBN 978-3-8325-0975-0 40.50 EUR
- 43 Nina Nicolai: Skriptgeleitete Eltern-Kind-Interaktion bei Chemiehausaufgaben. *Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Säure-Base*
ISBN 978-3-8325-1013-8 40.50 EUR
- 44 Antje Leisner: Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-1020-6 40.50 EUR
- 45 Stefan Rumann: Evaluation einer Interventionsstudie zur Säure-Base-Thematik
ISBN 978-3-8325-1027-5 40.50 EUR
- 46 Thomas Wilhelm: Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung – mit CD-ROM
ISBN 978-3-8325-1046-6 45.50 EUR
- 47 Andrea Maier-Richter: Computerunterstütztes Lernen mit Lösungsbeispielen in der Chemie. *Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Löslichkeit*
ISBN 978-3-8325-1046-6 40.50 EUR
- 48 Jochen Peuckert: Stabilität und Ausprägung kognitiver Strukturen zum Atombegriff
ISBN 978-3-8325-1104-3 40.50 EUR
- 49 Maik Walpuski: Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback
ISBN 978-3-8325-1184-5 40.50 EUR
- 50 Helmut Fischler, Christiane S. Reiners (Hrsg.): Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-1225-5 34.90 EUR
- 51 Claudia Eysel: Interdisziplinäres Lehren und Lernen in der Lehrerbildung. *Eine empirische Studie zum Kompetenzerwerb in einer komplexen Lernumgebung*
ISBN 978-3-8325-1238-5 40.50 EUR

- 52 Johannes Günther: Lehrerfortbildung über die Natur der Naturwissenschaften. *Studien über das Wissenschaftsverständnis von Grundschullehrkräften*
ISBN 978-3-8325-1287-3 40.50 EUR
- 53 Christoph Neugebauer: Lernen mit Simulationen und der Einfluss auf das Problemlösen in der Physik
ISBN 978-3-8325-1300-9 40.50 EUR
- 54 Andreas Schnirch: Gendergerechte Interessen- und Motivationsförderung im Kontext naturwissenschaftlicher Grundbildung. *Konzeption, Entwicklung und Evaluation einer multimedial unterstützten Lernumgebung*
ISBN 978-3-8325-1334-4 40.50 EUR
- 55 Hilde Köster: Freies Explorieren und Experimentieren. *Eine Untersuchung zur selbstbestimmten Gewinnung von Erfahrungen mit physikalischen Phänomenen im Sachunterricht*
ISBN 978-3-8325-1348-1 40.50 EUR
- 56 Eva Heran-Dörr: Entwicklung und Evaluation einer Lehrerfortbildung zur Förderung der physikdidaktischen Kompetenz von Sachunterrichtslehrkräften
ISBN 978-3-8325-1377-1 40.50 EUR
- 57 Agnes Szabone Varnai: Unterstützung des Problemlösens in Physik durch den Einsatz von Simulationen und die Vorgabe eines strukturierten Kooperationsformats
ISBN 978-3-8325-1403-7 40.50 EUR
- 58 Johannes Rethfeld: Aufgabenbasierte Lernprozesse in selbstorganisationsoffenem Unterricht der Sekundarstufe I zum Themengebiet ELEKTROSTATIK. *Eine Feldstudie in vier 10. Klassen zu einer kartenbasierten Lernumgebung mit Aufgaben aus der Elektrostatik*
ISBN 978-3-8325-1416-7 40.50 EUR
- 59 Christian Henke: Experimentell-naturwissenschaftliche Arbeitsweisen in der Oberstufe. *Untersuchung am Beispiel des HIGHSEA-Projekts in Bremerhaven*
ISBN 978-3-8325-1515-7 40.50 EUR
- 60 Lutz Kasper: Diskursiv-narrative Elemente für den Physikunterricht. *Entwicklung und Evaluation einer multimedialen Lernumgebung zum Erdmagnetismus*
ISBN 978-3-8325-1537-9 40.50 EUR
- 61 Thorid Rabe: Textgestaltung und Aufforderung zu Selbsterklärungen beim Physiklernen mit Multimedia
ISBN 978-3-8325-1539-3 40.50 EUR
- 62 Ina Glemnitz: Vertikale Vernetzung im Chemieunterricht. *Ein Vergleich von traditionellem Unterricht mit Unterricht nach Chemie im Kontext*
ISBN 978-3-8325-1628-4 40.50 EUR
- 63 Erik Einhaus: Schülerkompetenzen im Bereich Wärmelehre. *Entwicklung eines Testinstruments zur Überprüfung und Weiterentwicklung eines normativen Modells fachbezogener Kompetenzen*
ISBN 978-3-8325-1630-7 40.50 EUR

- 64 Jasmin Neuroth: Concept Mapping als Lernstrategie. *Eine Interventionsstudie zum Chemielernen aus Texten*
ISBN 978-3-8325-1659-8 40.50 EUR
- 65 Hans Gerd Hegeler-Burkhart: Zur Kommunikation von Hauptschülerinnen und Hauptschülern in einem handlungsorientierten und fächerübergreifenden Unterricht mit physikalischen und technischen Inhalten
ISBN 978-3-8325-1667-3 40.50 EUR
- 66 Karsten Rincke: Sprachentwicklung und Fachlernen im Mechanikunterricht. *Sprache und Kommunikation bei der Einführung in den Kraftbegriff*
ISBN 978-3-8325-1699-4 40.50 EUR
- 67 Nina Strehle: Das Ion im Chemieunterricht. *Alternative Schülervorstellungen und curriculare Konsequenzen*
ISBN 978-3-8325-1710-6 40.50 EUR
- 68 Martin Hopf: Problemorientierte Schülerexperimente
ISBN 978-3-8325-1711-3 40.50 EUR
- 69 Anne Beerenwinkel: Fostering conceptual change in chemistry classes using expository texts
ISBN 978-3-8325-1721-2 40.50 EUR
- 70 Roland Berger: Das Gruppenpuzzle im Physikunterricht der Sekundarstufe II. *Eine empirische Untersuchung auf der Grundlage der Selbstbestimmungstheorie der Motivation*
ISBN 978-3-8325-1732-8 40.50 EUR
- 71 Giuseppe Colicchia: Physikunterricht im Kontext von Medizin und Biologie. *Entwicklung und Erprobung von Unterrichtseinheiten*
ISBN 978-3-8325-1746-5 40.50 EUR
- 72 Sandra Winheller: Geschlechtsspezifische Auswirkungen der Lehrer-Schüler-Interaktion im Chemieanfangsunterricht
ISBN 978-3-8325-1757-1 40.50 EUR
- 73 Isabel Wahser: Training von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-1815-8 40.50 EUR
- 74 Claus Brell: Lernmedien und Lernerfolg - reale und virtuelle Materialien im Physikunterricht. *Empirische Untersuchungen in achten Klassen an Gymnasien (Laborstudie) zum Computereinsatz mit Simulation und IBE*
ISBN 978-3-8325-1829-5 40.50 EUR
- 75 Rainer Wackermann: Überprüfung der Wirksamkeit eines Basismodell-Trainings für Physiklehrer
ISBN 978-3-8325-1882-0 40.50 EUR
- 76 Oliver Tepner: Effektivität von Aufgaben im Chemieunterricht der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-1919-3 40.50 EUR

- 77 Claudia Geyer: Museums- und Science-Center-Besuche im naturwissenschaftlichen Unterricht aus einer motivationalen Perspektive. *Die Sicht von Lehrkräften und Schülerinnen und Schülern*
ISBN 978-3-8325-1922-3 40.50 EUR
- 78 Tobias Leonhard: Professionalisierung in der Lehrerbildung. *Eine explorative Studie zur Entwicklung professioneller Kompetenzen in der Lehrererstausbildung*
ISBN 978-3-8325-1924-7 40.50 EUR
- 79 Alexander Kauertz: Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben
ISBN 978-3-8325-1925-4 40.50 EUR
- 80 Regina Hübinger: Schüler auf Weltreise. *Entwicklung und Evaluation von Lehr-/Lernmaterialien zur Förderung experimentell-naturwissenschaftlicher Kompetenzen für die Jahrgangsstufen 5 und 6*
ISBN 978-3-8325-1932-2 40.50 EUR
- 81 Christine Waltner: Physik lernen im Deutschen Museum
ISBN 978-3-8325-1933-9 40.50 EUR
- 82 Torsten Fischer: Handlungsmuster von Physiklehrkräften beim Einsatz neuer Medien. *Fallstudien zur Unterrichtspraxis*
ISBN 978-3-8325-1948-3 42.00 EUR
- 83 Corinna Kieren: Chemiehausaufgaben in der Sekundarstufe I des Gymnasiums. *Fragebogenerhebung zur gegenwärtigen Praxis und Entwicklung eines optimierten Hausaufgabendesigns im Themenbereich Säure-Base*
978-3-8325-1975-9 37.00 EUR
- 84 Marco Thiele: Modelle der Thermohalinen Zirkulation im Unterricht. *Eine empirische Studie zur Förderung des Modellverständnisses*
ISBN 978-3-8325-1982-7 40.50 EUR
- 85 Bernd Zinn: Physik lernen, um Physik zu lehren. *Eine Möglichkeit für interessanteren Physikunterricht*
ISBN 978-3-8325-1995-7 39.50 EUR
- 86 Esther Klaes: Außerschulische Lernorte im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Die Perspektive der Lehrkraft*
ISBN 978-3-8325-2006-9 43.00 EUR
- 87 Marita Schmidt: Kompetenzmodellierung und -diagnostik im Themengebiet Energie der Sekundarstufe I. *Entwicklung und Erprobung eines Testinventars*
ISBN 978-3-8325-2024-3 37.00 EUR
- 88 Gudrun Franke-Braun: Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. *Ein Aufgabenformat zur Förderung der sachbezogenen Kommunikation und Lernleistung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*
ISBN 978-3-8325-2026-7 38.00 EUR
- 89 Silke Klos: Kompetenzförderung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. *Der Einfluss eines integrierten Unterrichtskonzepts*
ISBN 978-3-8325-2133-2 37.00 EUR

- 90 Ulrike Elisabeth Burkard: Quantenphysik in der Schule. *Bestandsaufnahme, Perspektiven und Weiterentwicklungsmöglichkeiten durch die Implementation eines Medienservers*
ISBN 978-3-8325-2215-5 43.00 EUR
- 91 Ulrike Gromadecki: Argumente in physikalischen Kontexten. *Welche Geltungsgründe halten Physikanfänger für überzeugend?*
ISBN 978-3-8325-2250-6 41.50 EUR
- 92 Jürgen Bruns: Auf dem Weg zur Förderung naturwissenschaftsspezifischer Vorstellungen von zukünftigen Chemie-Lehrenden
ISBN 978-3-8325-2257-5 43.50 EUR
- 93 Cornelius Marsch: Räumliche Atomvorstellung. *Entwicklung und Erprobung eines Unterrichtskonzeptes mit Hilfe des Computers*
ISBN 978-3-8325-2293-3 82.50 EUR
- 94 Maja Brückmann: Sachstrukturen im Physikunterricht. *Ergebnisse einer Videostudie*
ISBN 978-3-8325-2272-8 39.50 EUR
- 95 Sabine Fechner: Effects of Context-oriented Learning on Student Interest and Achievement in Chemistry Education
ISBN 978-3-8325-2343-5 36.50 EUR
- 96 Clemens Nagel: eLearning im Physikalischen Anfängerpraktikum
ISBN 978-3-8325-2355-8 39.50 EUR
- 97 Josef Riese: Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften
ISBN 978-3-8325-2376-3 39.00 EUR
- 98 Sascha Bernholt: Kompetenzmodellierung in der Chemie. *Theoretische und empirische Reflexion am Beispiel des Modells hierarchischer Komplexität*
ISBN 978-3-8325-2447-0 40.00 EUR
- 99 Holger Christoph Stawitz: Auswirkung unterschiedlicher Aufgabenprofile auf die Schülerleistung. *Vergleich von Naturwissenschafts- und Problemlöseaufgaben der PISA 2003-Studie*
ISBN 978-3-8325-2451-7 37.50 EUR
- 100 Hans Ernst Fischer, Elke Sumfleth (Hrsg.): nwu-essen – 10 Jahre Essener Forschung zum naturwissenschaftlichen Unterricht
ISBN 978-3-8325-3331-1 40.00 EUR
- 101 Hendrik Härtig: Sachstrukturen von Physikschulbüchern als Grundlage zur Bestimmung der Inhaltsvalidität eines Tests
ISBN 978-3-8325-2512-5 34.00 EUR
- 102 Thomas Grüß-Niehaus: Zum Verständnis des Löslichkeitskonzeptes im Chemieunterricht. *Der Effekt von Methoden progressiver und kollaborativer Reflexion*
ISBN 978-3-8325-2537-8 40.50 EUR

- 103 Patrick Bronner: Quantenoptische Experimente als Grundlage eines Curriculums zur Quantenphysik des Photons
ISBN 978-3-8325-2540-8 36.00 EUR
- 104 Adrian Voßkühler: Blickbewegungsmessung an Versuchsaufbauten. *Studien zur Wahrnehmung, Verarbeitung und Usability von physikbezogenen Experimenten am Bildschirm und in der Realität*
ISBN 978-3-8325-2548-4 47.50 EUR
- 105 Verena Tobias: Newton'sche Mechanik im Anfangsunterricht. *Die Wirksamkeit einer Einführung über die zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen*
ISBN 978-3-8325-2558-3 54.00 EUR
- 106 Christian Rogge: Entwicklung physikalischer Konzepte in aufgabenbasierten Lernumgebungen
ISBN 978-3-8325-2574-3 45.00 EUR
- 107 Mathias Ropohl: Modellierung von Schülerkompetenzen im Basiskonzept Chemische Reaktion. *Entwicklung und Analyse von Testaufgaben*
ISBN 978-3-8325-2609-2 36.50 EUR
- 108 Christoph Kulgemeyer: Physikalische Kommunikationskompetenz. *Modellierung und Diagnostik*
ISBN 978-3-8325-2674-0 44.50 EUR
- 109 Jennifer Olszewski: The Impact of Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge on Teacher Actions and Student Outcomes
ISBN 978-3-8325-2680-1 33.50 EUR
- 110 Annika Ohle: Primary School Teachers' Content Knowledge in Physics and its Impact on Teaching and Students' Achievement
ISBN 978-3-8325-2684-9 36.50 EUR
- 111 Susanne Mannel: Assessing scientific inquiry. *Development and evaluation of a test for the low-performing stage*
ISBN 978-3-8325-2761-7 40.00 EUR
- 112 Michael Plomer: Physik physiologisch passend praktiziert. *Eine Studie zur Lernwirksamkeit von traditionellen und adressatenspezifischen Physikpraktika für die Physiologie*
ISBN 978-3-8325-2804-1 34.50 EUR
- 113 Alexandra Schulz: Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht. *Eine Videostudie*
ISBN 978-3-8325-2817-1 40.00 EUR
- 114 Franz Boczianowski: Eine empirische Untersuchung zu Vektoren im Physikunterricht der Mittelstufe
ISBN 978-3-8325-2843-0 39.50 EUR
- 115 Maria Ploog: Internetbasiertes Lernen durch Textproduktion im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-2853-9 39.50 EUR

- 116 Anja Dhein: Lernen in Explorier- und Experimentiersituationen. *Eine explorative Studie zu Bedeutungsentwicklungsprozessen bei Kindern im Alter zwischen 4 und 6 Jahren*
ISBN 978-3-8325-2859-1 45.50 EUR
- 117 Irene Neumann: Beyond Physics Content Knowledge. *Modeling Competence Regarding Nature of Scientific Inquiry and Nature of Scientific Knowledge*
ISBN 978-3-8325-2880-5 37.00 EUR
- 118 Markus Emden: Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. *Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I*
ISBN 978-3-8325-2867-6 38.00 EUR
- 119 Birgit Hofmann: Analyse von Blickbewegungen von Schülern beim Lesen von physikbezogenen Texten mit Bildern. *Eye Tracking als Methodenwerkzeug in der physikdidaktischen Forschung*
ISBN 978-3-8325-2925-3 59.00 EUR
- 120 Rebecca Knobloch: Analyse der fachinhaltlichen Qualität von Schüleräußerungen und deren Einfluss auf den Lernerfolg. *Eine Videostudie zu kooperativer Kleingruppenarbeit*
ISBN 978-3-8325-3006-8 36.50 EUR
- 121 Julia Hostenbach: Entwicklung und Prüfung eines Modells zur Beschreibung der Bewertungskompetenz im Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-3013-6 38.00 EUR
- 122 Anna Windt: Naturwissenschaftliches Experimentieren im Elementarbereich. *Evaluation verschiedener Lernsituationen*
ISBN 978-3-8325-3020-4 43.50 EUR
- 123 Eva Kölbach: Kontexteinflüsse beim Lernen mit Lösungsbeispielen
ISBN 978-3-8325-3025-9 38.50 EUR
- 124 Anna Lau: Passung und vertikale Vernetzung im Chemie- und Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-3021-1 36.00 EUR
- 125 Jan Lamprecht: Ausbildungswege und Komponenten professioneller Handlungskompetenz. *Vergleich von Quereinsteigern mit Lehramtsabsolventen für Gymnasien im Fach Physik*
ISBN 978-3-8325-3035-8 38.50 EUR
- 126 Ulrike Böhm: Förderung von Verstehensprozessen unter Einsatz von Modellen
ISBN 978-3-8325-3042-6 41.00 EUR
- 127 Sabrina Dollny: Entwicklung und Evaluation eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehrkräften
ISBN 978-3-8325-3046-4 37.00 EUR
- 128 Monika Zimmermann: Naturwissenschaftliche Bildung im Kindergarten. *Eine integrative Längsschnittstudie zur Kompetenzentwicklung von Erzieherinnen*
ISBN 978-3-8325-3053-2 54.00 EUR

- 129 Ulf Saballus: Über das Schlussfolgern von Schülerinnen und Schülern zu öffentlichen Kontroversen mit naturwissenschaftlichem Hintergrund. *Eine Fallstudie*
ISBN 978-3-8325-3086-0 39.50 EUR
- 130 Olaf Krey: Zur Rolle der Mathematik in der Physik. *Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender*
ISBN 978-3-8325-3101-0 46.00 EUR
- 131 Angelika Wolf: Zusammenhänge zwischen der Eigenständigkeit im Physikunterricht, der Motivation, den Grundbedürfnissen und dem Lernerfolg von Schülern
ISBN 978-3-8325-3161-4 45.00 EUR
- 132 Johannes Börlin: Das Experiment als Lerngelegenheit. *Vom interkulturellen Vergleich des Physikunterrichts zu Merkmalen seiner Qualität*
ISBN 978-3-8325-3170-6 45.00 EUR
- 133 Olaf Uhden: Mathematisches Denken im Physikunterricht. *Theorieentwicklung und Problemanalyse*
ISBN 978-3-8325-3170-6 45.00 EUR
- 134 Christoph Gut: Modellierung und Messung experimenteller Kompetenz. *Analyse eines large-scale Experimentiertests*
ISBN 978-3-8325-3213-0 40.00 EUR
- 135 Antonio Rueda: Lernen mit ExploMultimedial in kolumbianischen Schulen. *Analyse von kurzzeitigen Lernprozessen und der Motivation beim länderübergreifenden Einsatz einer deutschen computergestützten multimedialen Lernumgebung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*
ISBN 978-3-8325-3218-5 45.50 EUR
- 136 Krisztina Berger: Bilder, Animationen und Notizen. *Empirische Untersuchung zur Wirkung einfacher visueller Repräsentationen und Notizen auf den Wissenserwerb in der Optik*
ISBN 978-3-8325-3238-3 41.50 EUR
- 137 Antony Crossley: Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher physikalischer Konzepte auf den Wissenserwerb in der Thermodynamik der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-3275-8 40.00 EUR
- 138 Tobias Viering: Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I. *Validierung eines Kompetenzentwicklungsmodells für das Energiekonzept im Bereich Fachwissen*
ISBN 978-3-8325-3277-2 37.00 EUR
- 139 Nico Schreiber: Diagnostik experimenteller Kompetenz. *Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells*
ISBN 978-3-8325-3284-0 39.00 EUR
- 140 Sarah Hundertmark: Einblicke in kollaborative Lernprozesse. *Eine Fallstudie zur reflektierenden Zusammenarbeit unterstützt durch die Methoden Concept Mapping und Lernbegleitbogen*
ISBN 978-3-8325-3251-2 43.00 EUR

- 141 Ronny Scherer: Analyse der Struktur, Messinvarianz und Ausprägung komplexer Problemlösekompetenz im Fach Chemie. *Eine Querschnittstudie in der Sekundarstufe I und am Übergang zur Sekundarstufe II*
ISBN 978-3-8325-3312-0 43.00 EUR
- 142 Patricia Heitmann: Bewertungskompetenz im Rahmen naturwissenschaftlicher Problemlöseprozesse. *Modellierung und Diagnose der Kompetenzen Bewertung und analytisches Problemlösen für das Fach Chemie*
ISBN 978-3-8325-3314-4 37.00 EUR
- 143 Jan Fleischhauer: Wissenschaftliches Argumentieren und Entwicklung von Konzepten beim Lernen von Physik
ISBN 978-3-8325-3325-0 35.00 EUR
- 144 Nermin Özcan: Zum Einfluss der Fachsprache auf die Leistung im Fach Chemie. *Eine Förderstudie zur Fachsprache im Chemieunterricht*
ISBN 978-3-8325-3328-1 36.50 EUR
- 145 Helena van Vorst: Kontextmerkmale und ihr Einfluss auf das Schülerinteresse im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3321-2 38.50 EUR
- 146 Janine Cappell: Fachspezifische Diagnosekompetenz angehender Physiklehrkräfte in der ersten Ausbildungsphase
ISBN 978-3-8325-3356-4 38.50 EUR
- 147 Susanne Bley: Förderung von Transferprozessen im Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-3407-3 40.50 EUR
- 148 Cathrin Blaes: Die übungsgestützte Lehrerpräsentation im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Evaluation der Effektivität*
ISBN 978-3-8325-3409-7 43.50 EUR
- 149 Julia Suckut: Die Wirksamkeit von piko-OWL als Lehrerfortbildung. Eine Evaluation zum Projekt *Physik im Kontext* in Fallstudien
ISBN 978-3-8325-3440-0 45.00 EUR
- 150 Alexandra Dorschu: Die Wirkung von Kontexten in Physikkompetenztestaufgaben
ISBN 978-3-8325-3446-2 37.00 EUR
- 151 Jochen Scheid: Multiple Repräsentationen, Verständnis physikalischer Experimente und kognitive Aktivierung: *Ein Beitrag zur Entwicklung der Aufgabenkultur*
ISBN 978-3-8325-3449-3 49.00 EUR
- 152 Tim Plasa: Die Wahrnehmung von Schülerlaboren und Schülerforschungszentren
ISBN 978-3-8325-3483-7 35.50 EUR
- 153 Felix Schoppmeier: Physikkompetenz in der gymnasialen Oberstufe. *Entwicklung und Validierung eines Kompetenzstrukturmodells für den Kompetenzbereich Umgang mit Fachwissen*
ISBN 978-3-8325-3502-5 36.00 EUR

- 154 Katharina Groß: Experimente alternativ dokumentieren. *Eine qualitative Studie zur Förderung der Diagnose- und Differenzierungskompetenz in der Chemielehrerbildung*
ISBN 978-3-8325-3508-7 43.50 EUR
- 155 Barbara Hank: Konzeptwandelprozesse im Anfangsunterricht Chemie. *Eine quasixperimentelle Längsschnittstudie*
ISBN 978-3-8325-3519-3 38.50 EUR
- 156 Katja Freyer: Zum Einfluss von Studieneingangsvoraussetzungen auf den Studienerfolg Erstsemesterstudierender im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3544-5 38.00 EUR
- 157 Alexander Rachel: Auswirkungen instrukionaler Hilfen bei der Einführung des (Ferro-)Magnetismus. *Eine Vergleichsstudie in der Primar- und Sekundarstufe*
ISBN 978-3-8325-3548-3 43.50 EUR
- 158 Sebastian Ritter: Einfluss des Lerninhalts Nanogrößeneffekte auf Teilchen- und Teilchenmodellvorstellungen von Schülerinnen und Schülern
ISBN 978-3-8325-3558-2 36.00 EUR
- 159 Andrea Harbach: Problemorientierung und Vernetzung in kontextbasierten Lernaufgaben
ISBN 978-3-8325-3564-3 39.00 EUR
- 160 David Obst: Interaktive Tafeln im Physikunterricht. *Entwicklung und Evaluation einer Lehrerfortbildung*
ISBN 978-3-8325-3582-7 40.50 EUR
- 161 Sophie Kirschner: Modellierung und Analyse des Professionswissens von Physiklehrkräften
ISBN 978-3-8325-3601-5 35.00 EUR
- 162 Katja Stief: Selbstregulationsprozesse und Hausaufgabenmotivation im Chemieunterricht
ISBN 978-3-8325-3631-2 34.00 EUR
- 163 Nicola Meschede: Professionelle Wahrnehmung der inhaltlichen Strukturierung im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht. *Theoretische Beschreibung und empirische Erfassung*
ISBN 978-3-8325-3668-8 37.00 EUR
- 164 Johannes Maximilian Barth: Experimentieren im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. *Eine Rekonstruktion übergeordneter Einbettungsstrategien*
ISBN 978-3-8325-3681-7 39.00 EUR
- 165 Sandra Lein: Das Betriebspraktikum in der Lehrerbildung. *Eine Untersuchung zur Förderung der Wissenschafts- und Technikbildung im allgemeinbildenden Unterricht*
ISBN 978-3-8325-3698-5 40.00 EUR
- 166 Veranika Maiseyenka: Modellbasiertes Experimentieren im Unterricht. *Praxistauglichkeit und Lernwirkungen*
ISBN 978-3-8325-3708-1 38.00 EUR

- 167 Christoph Stolzenberger: Der Einfluss der didaktischen Lernumgebung auf das Erreichen geforderter Bildungsziele am Beispiel der W- und P-Seminare im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-3708-1 38.00 EUR
- 168 Pia Altenburger: Mehrebenenregressionsanalysen zum Physiklernen im Sachunterricht der Primarstufe. *Ergebnisse einer Evaluationsstudie.*
ISBN 978-3-8325-3717-3 37.50 EUR
- 169 Nora Ferber: Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung von Kompetenzentwicklung im Fach Chemie in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-3727-2 39.50 EUR
- 170 Anita Stender: Unterrichtsplanung: Vom Wissen zum Handeln.
Theoretische Entwicklung und empirische Überprüfung des Transformationsmodells der Unterrichtsplanung
ISBN 978-3-8325-3750-0 41.50 EUR
- 171 Jenna Koenen: Entwicklung und Evaluation von experimentunterstützten Lösungsbeispielen zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen
ISBN 978-3-8325-3785-2 43.00 EUR
- 172 Teresa Henning: Empirische Untersuchung kontextorientierter Lernumgebungen in der Hochschuldidaktik. *Entwicklung und Evaluation kontextorientierter Aufgaben in der Studieneingangsphase für Fach- und Nebenfachstudierende der Physik*
ISBN 978-3-8325-3801-9 43.00 EUR
- 173 Alexander Pusch: Fachspezifische Instrumente zur Diagnose und individuellen Förderung von Lehramtsstudierenden der Physik
ISBN 978-3-8325-3829-3 38.00 EUR
- 174 Christoph Vogelsang: Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. *Zusammenhangsanalysen zwischen Lehrerkompetenz und Lehrerperformanz*
ISBN 978-3-8325-3846-0 50.50 EUR
- 175 Ingo Brebeck: Selbstreguliertes Lernen in der Studieneingangsphase im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3859-0 37.00 EUR
- 176 Axel Eghtessad: Merkmale und Strukturen von Professionalisierungsprozessen in der ersten und zweiten Phase der Chemielehrerbildung. *Eine empirisch-qualitative Studie mit niedersächsischen Fachleiter_innen der Sekundarstufenlehrkräfte*
ISBN 978-3-8325-3861-3 45.00 EUR
- 177 Andreas Nehring: Wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Fach Chemie. Eine kompetenzorientierte Modell- und Testentwicklung für den Bereich der Erkenntnisgewinnung
ISBN 978-3-8325-3872-9 39.50 EUR
- 178 Maike Schmidt: Professionswissen von Sachunterrichtslehrkräften. Zusammenhangsanalyse zur Wirkung von Ausbildungshintergrund und Unterrichtserfahrung auf das fachspezifische Professionswissen im Unterrichtsinhalt „Verbrennung“
ISBN 978-3-8325-3907-8 38.50 EUR

- 179 Jan Winkelmann: Auswirkungen auf den Fachwissenszuwachs und auf affektive Schülermerkmale durch Schüler- und Demonstrationsexperimente im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-3915-3 41.00 EUR
- 180 Iwen Kobow: Entwicklung und Validierung eines Testinstrumentes zur Erfassung der Kommunikationskompetenz im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-3927-6 34.50 EUR
- 181 Yvonne Gramzow: Fachdidaktisches Wissen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik. Modellierung und Testkonstruktion
ISBN 978-3-8325-3931-3 42.50 EUR
- 182 Evelin Schröter: Entwicklung der Kompetenzerwartung durch Lösen physikalischer Aufgaben einer multimedialen Lernumgebung
ISBN 978-3-8325-3975-7 54.50 EUR
- 183 Inga Kallweit: Effektivität des Einsatzes von Selbsteinschätzungsbögen im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Individuelle Förderung durch selbstreguliertes Lernen*
ISBN 978-3-8325-3965-8 44.00 EUR
- 184 Andrea Schumacher: Paving the way towards authentic chemistry teaching. *A contribution to teachers' professional development*
ISBN 978-3-8325-3976-4 48.50 EUR
- 185 David Woitkowski: Fachliches Wissen Physik in der Hochschulausbildung. *Konzeptualisierung, Messung, Niveaubildung*
ISBN 978-3-8325-3988-7 53.00 EUR
- 186 Marianne Korner: Cross-Age Peer Tutoring in Physik. *Evaluation einer Unterrichtsmethode*
ISBN 978-3-8325-3979-5 38.50 EUR
- 187 Simone Nakoinz: Untersuchung zur Verknüpfung submikroskopischer und makroskopischer Konzepte im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4057-9 38.50 EUR
- 188 Sandra Anus: Evaluation individueller Förderung im Chemieunterricht. *Adaptivität von Lerninhalten an das Vorwissen von Lernenden am Beispiel des Basiskonzeptes Chemische Reaktion*
ISBN 978-3-8325-4059-3 43.50 EUR
- 189 Thomas Roßbegalle: Fachdidaktische Entwicklungsforschung zum besseren Verständnis atmosphärischer Phänomene. *Treibhauseffekt, saurer Regen und stratosphärischer Ozonabbau als Kontexte zur Vermittlung von Basiskonzepten der Chemie*
ISBN 978-3-8325-4059-3 45.50 EUR
- 190 Kathrin Steckenmesser-Sander: Gemeinsamkeiten und Unterschiede physikbezogener Handlungs-, Denk- und Lernprozesse von Mädchen und Jungen
ISBN 978-3-8325-4066-1 38.50 EUR
- 191 Cornelia Geller: Lernprozessorientierte Sequenzierung des Physikunterrichts im Zusammenhang mit Fachwissenserwerb. *Eine Videostudie in Finnland, Deutschland und der Schweiz*
ISBN 978-3-8325-4082-1 35.50 EUR

- 192 Jan Hofmann: Untersuchung des Kompetenzaufbaus von Physiklehrkräften während einer Fortbildungsmaßnahme
ISBN 978-3-8325-4104-0 38.50 EUR
- 193 Andreas Dickhäuser: Chemiespezifischer Humor. *Theoriebildung, Materialentwicklung, Evaluation*
ISBN 978-3-8325-4108-8 37.00 EUR
- 194 Stefan Korte: Die Grenzen der Naturwissenschaft als Thema des Physikunterrichts
ISBN 978-3-8325-4112-5 57.50 EUR
- 195 Carolin Hülsmann: Kurswahlmotive im Fach Chemie. Eine Studie zum Wahlverhalten und Erfolg von Schülerinnen und Schülern in der gymnasialen Oberstufe
ISBN 978-3-8325-4144-6 49.00 EUR
- 196 Caroline Körbs: Mindeststandards im Fach Chemie am Ende der Pflichtschulzeit
ISBN 978-3-8325-4148-4 34.00 EUR
- 197 Andreas Vorholzer: Wie lassen sich Kompetenzen des experimentellen Denkens und Arbeitens fördern? *Eine empirische Untersuchung der Wirkung eines expliziten und eines impliziten Instruktionsansatzes*
ISBN 978-3-8325-4194-1 37.50 EUR
- 198 Anna Katharina Schmitt: Entwicklung und Evaluation einer Chemielehrerfortbildung zum Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung
ISBN 978-3-8325-4228-3 39.50 EUR
- 199 Christian Maurer: Strukturierung von Lehr-Lern-Sequenzen
ISBN 978-3-8325-4247-4 36.50 EUR
- 200 Helmut Fischler, Elke Sumfleth (Hrsg.): Professionelle Kompetenz von Lehrkräften der Chemie und Physik
ISBN 978-3-8325-4523-9 34.00 EUR
- 201 Simon Zander: Lehrerfortbildung zu Basismodellen und Zusammenhänge zum Fachwissen
ISBN 978-3-8325-4248-1 35.00 EUR
- 202 Kerstin Arndt: Experimentierkompetenz erfassen.
Analyse von Prozessen und Mustern am Beispiel von Lehramtsstudierenden der Chemie
ISBN 978-3-8325-4266-5 45.00 EUR
- 203 Christian Lang: Kompetenzorientierung im Rahmen experimentalchemischer Praktika
ISBN 978-3-8325-4268-9 42.50 EUR
- 204 Eva Cauet: Testen wir relevantes Wissen? *Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften und gutem und erfolgreichem Unterrichten*
ISBN 978-3-8325-4276-4 39.50 EUR
- 205 Patrick Löffler: Modellanwendung in Problemlöseaufgaben. *Wie wirkt Kontext?*
ISBN 978-3-8325-4303-7 35.00 EUR

- 206 Carina Gehlen: Kompetenzstruktur naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4318-1 43.00 EUR
- 207 Lars Oettinghaus: Lehrerüberzeugungen und physikbezogenes Professionswissen. *Vergleich von Absolventinnen und Absolventen verschiedener Ausbildungswege im Physikreferendariat*
ISBN 978-3-8325-4319-8 38.50 EUR
- 208 Jennifer Petersen: Zum Einfluss des Merkmals Humor auf die Gesundheitsförderung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Eine Interventionsstudie zum Thema Sonnenschutz*
ISBN 978-3-8325-4348-8 40.00 EUR
- 209 Philipp Straube: Modellierung und Erfassung von Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bei (Lehramts-) Studierenden im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-4351-8 35.50 EUR
- 210 Martin Dickmann: Messung von Experimentierfähigkeiten. *Validierungsstudien zur Qualität eines computerbasierten Testverfahrens*
ISBN 978-3-8325-4356-3 41.00 EUR
- 211 Markus Bohlmann: Science Education. Empirie, Kulturen und Mechanismen der Didaktik der Naturwissenschaften
ISBN 978-3-8325-4377-8 44.00 EUR
- 212 Martin Draude: Die Kompetenz von Physiklehrkräften, Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern beim eigenständigen Experimentieren zu diagnostizieren
ISBN 978-3-8325-4382-2 37.50 EUR
- 213 Henning Rode: Prototypen evidenzbasierten Physikunterrichts. *Zwei empirische Studien zum Einsatz von Feedback und Blackboxes in der Sekundarstufe*
ISBN 978-3-8325-4389-1 42.00 EUR
- 214 Jan-Henrik Kechel: Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren. *Eine qualitative Studie am Beispiel einer Experimentieraufgabe zum Hooke'schen Gesetz*
ISBN 978-3-8325-4392-1 55.00 EUR
- 215 Katharina Fricke: Classroom Management and its Impact on Lesson Outcomes in Physics. *A multi-perspective comparison of teaching practices in primary and secondary schools*
ISBN 978-3-8325-4394-5 40.00 EUR
- 216 Hannes Sander: Orientierungen von Jugendlichen beim Urteilen und Entscheiden in Kontexten nachhaltiger Entwicklung. *Eine rekonstruktive Perspektive auf Bewertungskompetenz in der Didaktik der Naturwissenschaft*
ISBN 978-3-8325-4434-8 46.00 EUR
- 217 Inka Haak: Maßnahmen zur Unterstützung kognitiver und metakognitiver Prozesse in der Studieneingangsphase. *Eine Design-Based-Research-Studie zum universitären Lernzentrum Physiktreff*
ISBN 978-3-8325-4437-9 46.50 EUR

- 218 Martina Brandenburger: Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik?
Eine Untersuchung mit Studierenden
ISBN 978-3-8325-4409-6 42.50 EUR
- 219 Corinna Helms: Entwicklung und Evaluation eines Trainings zur Verbesserung der Erklärqualität von Schülerinnen und Schülern im Gruppenpuzzle
ISBN 978-3-8325-4454-6 42.50 EUR
- 220 Viktoria Rath: Diagnostische Kompetenz von angehenden Physiklehrkräften. *Modellierung, Testinstrumentenentwicklung und Erhebung der Performanz bei der Diagnose von Schülervorstellungen in der Mechanik*
ISBN 978-3-8325-4456-0 42.50 EUR
- 221 Janne Krüger: Schülerperspektiven auf die zeitliche Entwicklung der Naturwissenschaften
ISBN 978-3-8325-4457-7 45.50 EUR
- 222 Stefan Mutke: Das Professionswissen von Chemiereferendarinnen und -referendaren in Nordrhein-Westfalen. *Eine Längsschnittstudie*
ISBN 978-3-8325-4458-4 37.50 EUR
- 223 Sebastian Habig: Systematisch variierte Kontextaufgaben und ihr Einfluss auf kognitive und affektive Schülerfaktoren
ISBN 978-3-8325-4467-6 40.50 EUR
- 224 Sven Liepertz: Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften, dem sachstrukturellen Angebot des Unterrichts und der Schülerleistung
ISBN 978-3-8325-4480-5 34.00 EUR
- 225 Elina Platova: Optimierung eines Laborpraktikums durch kognitive Aktivierung
ISBN 978-3-8325-4481-2 39.00 EUR
- 226 Tim Reschke: Lesegeschichten im Chemieunterricht der Sekundarstufe I zur Unterstützung von situationalem Interesse und Lernerfolg
ISBN 978-3-8325-4487-4 41.00 EUR
- 227 Lena Mareike Walper: Entwicklung der physikbezogenen Interessen und selbstbezogenen Kognitionen von Schülerinnen und Schülern in der Übergangsphase von der Primar- in die Sekundarstufe. *Eine Längsschnittanalyse vom vierten bis zum siebten Schuljahr*
ISBN 978-3-8325-4495-9 43.00 EUR
- 228 Stefan Anthofer: Förderung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehramtsstudierenden
ISBN 978-3-8325-4498-0 39.50 EUR
- 229 Marcel Bullinger: Handlungsorientiertes Physiklernen mit instruierten Selbsterklärungen in der Primarstufe. *Eine experimentelle Laborstudie*
ISBN 978-3-8325-4504-8 44.00 EUR
- 230 Thomas Amenda: Bedeutung fachlicher Elementarisierungen für das Verständnis der Kinematik
ISBN 978-3-8325-4531-4 43.50 EUR

- 231 Sabrina Milke: Beeinflusst *Priming* das Physiklernen?
Eine empirische Studie zum Dritten Newtonschen Axiom
ISBN 978-3-8325-4549-4 42.00 EUR
- 232 Corinna Erfmann: Ein anschaulicher Weg zum Verständnis der elektromagnetischen Induktion. *Evaluation eines Unterrichtsvorschlags und Validierung eines Leistungsd Diagnoseinstruments*
ISBN 978-3-8325-4550-5 49.50 EUR
- 233 Hanne Rautenstrauch: Erhebung des (Fach-)Sprachstandes bei Lehramtsstudierenden im Kontext des Faches Chemie
ISBN 978-3-8325-4556-7 40.50 EUR
- 234 Tobias Klug: Wirkung kontextorientierter physikalischer Praktikumsversuche auf Lernprozesse von Studierenden der Medizin
ISBN 978-3-8325-4558-1 37.00 EUR
- 235 Mareike Bohrmann: Zur Förderung des Verständnisses der Variablenkontrolle im naturwissenschaftlichen Sachunterricht
ISBN 978-3-8325-4559-8 52.00 EUR
- 236 Anja Schödl: FALKO-Physik – Fachspezifische Lehrerkompetenzen im Fach Physik. *Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Physiklehrkräften*
ISBN 978-3-8325-4553-6 40.50 EUR
- 237 Hilda Scheuermann: Entwicklung und Evaluation von Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten
ISBN 978-3-8325-4568-0 39.00 EUR
- 238 Christian G. Strippel: Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung an chemischen Inhalten vermitteln. *Konzeption und empirische Untersuchung einer Ausstellung mit Experimentierstation*
ISBN 978-3-8325-4577-2 41.50 EUR
- 239 Sarah Rau: Durchführung von Sachunterricht im Vorbereitungsdienst. *Eine längsschnittliche, videobasierte Unterrichtsanalyse*
ISBN 978-3-8325-4579-6 46.00 EUR
- 240 Thomas Plotz: Lernprozesse zu nicht-sichtbarer Strahlung. *Empirische Untersuchungen in der Sekundarstufe 2*
ISBN 978-3-8325-4624-3 39.50 EUR
- 241 Wolfgang Aschauer: Elektrische und magnetische Felder. *Eine empirische Studie zu Lernprozessen in der Sekundarstufe II*
ISBN 978-3-8325-4625-0 50.00 EUR
- 242 Anna Donhauser: Didaktisch rekonstruierte Materialwissenschaft. *Aufbau und Konzeption eines Schülerlabors für den Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials*
ISBN 978-3-8325-4636-6 39.00 EUR

- 243 Katrin Schüller: Lernen mit Lösungsbeispielen im Chemieunterricht. *Einflüsse auf Lernerfolg, kognitive Belastung und Motivation*
ISBN 978-3-8325-4640-3 42.50 EUR
- 244 Timo Fleischer: Untersuchung der chemischen Fachsprache unter besonderer Berücksichtigung chemischer Repräsentationen
ISBN 978-3-8325-4642-7 46.50 EUR
- 245 Rosina Steininger: Concept Cartoons als Stimuli für Kleingruppendiskussionen im Chemieunterricht. *Beschreibung und Analyse einer komplexen Lerngelegenheit*
ISBN 978-3-8325-4647-2 39.00 EUR
- 246 Daniel Rehfeldt: Erfassung der Lehrqualität naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika
ISBN 978-3-8325-4590-1 40.00 EUR
- 247 Sandra Puddu: Implementing Inquiry-based Learning in a Diverse Classroom: Investigating Strategies of Scaffolding and Students' Views of Scientific Inquiry
ISBN 978-3-8325-4591-8 35.50 EUR
- 248 Markus Bliersbach: Kreativität in der Chemie. *Erhebung und Förderung der Vorstellungen von Chemielehramtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-4593-2 44.00 EUR
- 249 Lennart Kimpel: Aufgaben in der Allgemeinen Chemie. *Zum Zusammenspiel von chemischem Verständnis und Rechenfähigkeit*
ISBN 978-3-8325-4618-2 36.00 EUR
- 250 Louise Bindel: Effects of integrated learning: explicating a mathematical concept in inquiry-based science camps
ISBN 978-3-8325-4655-7 37.50 EUR
- 251 Michael Wenzel: Computereinsatz in Schule und Schülerlabor. *Einstellung von Physiklehrkräften zu Neuen Medien*
ISBN 978-3-8325-4659-5 38.50 EUR
- 252 Laura Muth: Einfluss der Auswertephase von Experimenten im Physikunterricht. *Ergebnisse einer Interventionsstudie zum Zuwachs von Fachwissen und experimenteller Kompetenz von Schülerinnen und Schülern*
ISBN 978-3-8325-4675-5 36.50 EUR
- 253 Annika Fricke: Interaktive Skripte im Physikalischen Praktikum. *Entwicklung und Evaluation von Hypermedien für die Nebenfachausbildung*
ISBN 978-3-8325-4676-2 41.00 EUR
- 254 Julia Haase: Selbstbestimmtes Lernen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. *Eine empirische Interventionsstudie mit Fokus auf Feedback und Kompetenzerleben*
ISBN 978-3-8325-4685-4 38.50 EUR
- 255 Antje J. Heine: Was ist Theoretische Physik? *Eine wissenschaftstheoretische Betrachtung und Rekonstruktion von Vorstellungen von Studierenden und Dozenten über das Wesen der Theoretischen Physik*
ISBN 978-3-8325-4691-5 46.50 EUR

- 256 Claudia Meinhardt: Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zu Selbstwirksamkeitserwartungen von (angehenden) Physiklehrkräften in physikdidaktischen Handlungsfeldern
ISBN 978-3-8325-4712-7 47.00 EUR
- 257 Ann-Kathrin Schlüter: Professionalisierung angehender Chemielehrkräfte für einen Gemeinsamen Unterricht
ISBN 978-3-8325-4713-4 53.50 EUR
- 258 Stefan Richtberg: Elektronenbahnen in Feldern. Konzeption und Evaluation einer webbasierten Lernumgebung
ISBN 978-3-8325-4723-3 49.00 EUR
- 259 Jan-Philipp Burde: Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells
ISBN 978-3-8325-4726-4 57.50 EUR
- 260 Frank Finkenberg: Flipped Classroom im Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-4737-4 42.50 EUR
- 261 Florian Treisch: Die Entwicklung der Professionellen Unterrichtswahrnehmung im Lehr-Lern-Labor Seminar
ISBN 978-3-8325-4741-4 41.50 EUR
- 262 Desiree Mayr: Strukturiertheit des experimentellen naturwissenschaftlichen Problemlöseprozesses
ISBN 978-3-8325-4757-8 37.00 EUR
- 263 Katrin Weber: Entwicklung und Validierung einer Learning Progression für das Konzept der chemischen Reaktion in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-4762-2 48.50 EUR
- 264 Hauke Bartels: Entwicklung und Bewertung eines performanznahen Videovignetten-tests zur Messung der Erklärfähigkeit von Physiklehrkräften
ISBN 978-3-8325-4804-9 37.00 EUR
- 265 Karl Marniok: Zum Wesen von Theorien und Gesetzen in der Chemie. *Begriffsanalyse und Förderung der Vorstellungen von Lehramtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-4805-6 42.00 EUR
- 266 Marisa Holzapfel: Fachspezifischer Humor als Methode in der Gesundheitsbildung im Übergang von der Primarstufe zur Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-4808-7 50.00 EUR
- 267 Anna Stolz: Die Auswirkungen von Experimentiersituationen mit unterschiedlichem Öffnungsgrad auf Leistung und Motivation der Schülerinnen und Schüler
ISBN 978-3-8325-4781-3 38.00 EUR
- 268 Nina Ulrich: Interaktive Lernaufgaben in dem digitalen Schulbuch eChemBook. *Einfluss des Interaktivitätsgrads der Lernaufgaben und des Vorwissens der Lernenden auf den Lernerfolg*
ISBN 978-3-8325-4814-8 43.50 EUR

- 269 Kim-Alessandro Weber: Quantenoptik in der Lehrerfortbildung. *Ein bedarfsgeprägtes Fortbildungskonzept zum Quantenobjekt „Photon“ mit Realexperimenten*
ISBN 978-3-8325-4792-9 55.00 EUR
- 270 Nina Skorsetz: Empathisierer und Systematisierer im Vorschulalter. *Eine Fragebogen- und Videostudie zur Motivation, sich mit Naturphänomenen zu beschäftigen*
ISBN 978-3-8325-4825-4 43.50 EUR
- 271 Franziska Kehne: Analyse des Transfers von kontextualisiert erworbenem Wissen im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4846-9 45.00 EUR
- 272 Markus Elsholz: Das akademische Selbstkonzept angehender Physiklehrkräfte als Teil ihrer professionellen Identität. *Dimensionalität und Veränderung während einer zentralen Praxisphase*
ISBN 978-3-8325-4857-5 37.50 EUR
- 273 Joachim Müller: Studienerfolg in der Physik. *Zusammenhang zwischen Modellierungskompetenz und Studienerfolg*
ISBN 978-3-8325-4859-9 35.00 EUR
- 274 Jennifer Dörschelln: Organische Leuchtdioden. *Implementation eines innovativen Themas in den Chemieunterricht*
ISBN 978-3-8325-4865-0 59.00 EUR
- 275 Stephanie Strelow: Beliefs von Studienanfängern des Kombi-Bachelors Physik über die Natur der Naturwissenschaften
ISBN 978-3-8325-4881-0 40.50 EUR
- 276 Dennis Jaeger: Kognitive Belastung und aufgabenspezifische sowie personenspezifische Einflussfaktoren beim Lösen von Physikaufgaben
ISBN 978-3-8325-4928-2 50.50 EUR
- 277 Vanessa Fischer: Der Einfluss von Interesse und Motivation auf die Messung von Fach- und Bewertungskompetenz im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4933-6 39.00 EUR
- 278 René Dohrmann: Professionsbezogene Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Veranstaltung. *Eine multimethodische Studie zu den professionsbezogenen Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Blockveranstaltung auf Studierende der Bachelorstudiengänge Lehramt Physik und Grundschulpädagogik (Sachunterricht)*
ISBN 978-3-8325-4958-9 40.00 EUR
- 279 Meike Bergs: Can We Make Them Use These Strategies? *Fostering Inquiry-Based Science Learning Skills with Physical and Virtual Experimentation Environments*
ISBN 978-3-8325-4962-6 39.50 EUR
- 280 Marie-Therese Hauerstein: Untersuchung zur Effektivität von Strukturierung und Binnendifferenzierung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Evaluation der Strukturierungshilfe Lernleiter*
ISBN 978-3-8325-4982-4 42.50 EUR

- 281 Verena Zucker: Erkennen und Beschreiben von formativem Assessment im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht. *Entwicklung eines Instruments zur Erfassung von Teilfähigkeiten der professionellen Wahrnehmung von Lehramtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-4991-6 38.00 EUR
- 282 Victoria Telser: Erfassung und Förderung experimenteller Kompetenz von Lehrkräften im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-4996-1 50.50 EUR
- 283 Kristine Tschirschky: Entwicklung und Evaluation eines gedächtnisorientierten Aufgabendesigns für Physikaufgaben
ISBN 978-3-8325-5002-8 42.50 EUR
- 284 Thomas Elert: Course Success in the Undergraduate General Chemistry Lab
ISBN 978-3-8325-5004-2 41.50 EUR
- 285 Britta Kalthoff: Explizit oder implizit? *Untersuchung der Lernwirksamkeit verschiedener fachmethodischer Instruktionen im Hinblick auf fachmethodische und fachinhaltliche Fähigkeiten von Sachunterrichtsstudierenden*
ISBN 978-3-8325-5013-4 37.50 EUR
- 286 Thomas Dickmann: Visuelles Modellverständnis und Studienerfolg in der Chemie. *Zwei Seiten einer Medaille*
ISBN 978-3-8325-5016-5 44.00 EUR
- 287 Markus Sebastian Feser: Physiklehrkräfte korrigieren Schülertexte. *Eine Explorationsstudie zur fachlich-konzeptuellen und sprachlichen Leistungsfeststellung und -beurteilung im Physikunterricht*
ISBN 978-3-8325-5020-2 49.00 EUR
- 288 Matylda Dudzinska: Lernen mit Beispielaufgaben und Feedback im Physikunterricht der Sekundarstufe 1. *Energieerhaltung zur Lösung von Aufgaben nutzen*
ISBN 978-3-8325-5025-7 47.00 EUR
- 289 Ines Sonnenschein: Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsprozesse Studierender im Labor
ISBN 978-3-8325-5033-2 52.00 EUR
- 290 Florian Simon: Der Einfluss von Betreuung und Betreuenden auf die Wirksamkeit von Schülerlaborbesuchen. *Eine Zusammenhangsanalyse von Betreuungsqualität, Betreuermerkmalen und Schülerlaborzielen sowie Replikationsstudie zur Wirksamkeit von Schülerlaborbesuchen*
ISBN 978-3-8325-5036-3 49.50 EUR
- 291 Marie-Annette Geyer: Physikalisch-mathematische Darstellungswechsel funktionaler Zusammenhänge. *Das Vorgehen von SchülerInnen der Sekundarstufe 1 und ihre Schwierigkeiten*
ISBN 978-3-8325-5047-9 46.50 EUR
- 292 Susanne Digel: Messung von Modellierungskompetenz in Physik. *Theoretische Herleitung und empirische Prüfung eines Kompetenzmodells physikspezifischer Modellierungskompetenz*
ISBN 978-3-8325-5055-4 41.00 EUR

- 293 Sönke Janssen: Angebots-Nutzungs-Prozesse eines Schülerlabors analysieren und gestalten. *Ein design-based research Projekt*
ISBN 978-3-8325-5065-3 57.50 EUR
- 294 Knut Wille: Der Productive Failure Ansatz als Beitrag zur Weiterentwicklung der Aufgabenkultur
ISBN 978-3-8325-5074-5 49.00 EUR
- 295 Lisanne Kraeva: Problemlösestrategien von Schülerinnen und Schülern diagnostizieren
ISBN 978-3-8325-5110-0 59.50 EUR
- 296 Jenny Lorentzen: Entwicklung und Evaluation eines Lernangebots im Lehramtsstudium Chemie zur Förderung von Vernetzungen innerhalb des fachbezogenen Professionswissens
ISBN 978-3-8325-5120-9 39.50 EUR
- 297 Micha Winkelmann: Lernprozesse in einem Schülerlabor unter Berücksichtigung individueller naturwissenschaftlicher Interessenstrukturen
ISBN 978-3-8325-5147-6 48.50 EUR
- 298 Carina Wöhlke: Entwicklung und Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Unterrichtswahrnehmung angehender Physiklehrkräfte
ISBN 978-3-8325-5149-0 43.00 EUR
- 299 Thomas Schubatzky: Das Amalgam Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht. *Eine multiperspektivische Betrachtung in Deutschland und Österreich*
ISBN 978-3-8325-5159-9 50.50 EUR
- 300 Amany Annaggar: A Design Framework for Video Game-Based Gamification Elements to Assess Problem-solving Competence in Chemistry Education
ISBN 978-3-8325-5150-6 52.00 EUR
- 301 Alexander Engl: CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur: *Entwicklung und Evaluation eines kontextorientierten Unterrichtskonzepts im Bereich Outdoor Education zur Änderung der Einstellung zu „Chemie und Natur“*
ISBN 978-3-8325-5174-2 59.00 EUR
- 302 Christin Marie Sajons: Kognitive und motivationale Dynamik in Schülerlaboren. *Kontextualisierung, Problemorientierung und Autonomieunterstützung der didaktischen Struktur analysieren und weiterentwickeln*
ISBN 978-3-8325-5155-1 56.00 EUR
- 303 Philipp Bitzenbauer: Quantenoptik an Schulen. *Studie im Mixed-Methods Design zur Evaluation des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik*
ISBN 978-3-8325-5123-0 59.00 EUR
- 304 Malte S. Ubben: Typisierung des Verständnisses mentaler Modelle mittels empirischer Datenerhebung am Beispiel der Quantenphysik
ISBN 978-3-8325-5181-0 43.50 EUR
- 305 Wiebke Kuske-Janßen: Sprachlicher Umgang mit Formeln von LehrerInnen im Physikunterricht am Beispiel des elektrischen Widerstandes in Klassenstufe 8
ISBN 978-3-8325-5183-4 47.50 EUR

- 306 Kai Bliesmer: Physik der Küste für außerschulische Lernorte. *Eine Didaktische Rekonstruktion*
ISBN 978-3-8325-5190-2 58.00 EUR
- 307 Nikola Schild: Eignung von domänenspezifischen Studieneingangsvariablen als Prädiktoren für Studienerfolg im Fach und Lehramt Physik
ISBN 978-3-8325-5226-8 42.00 EUR
- 308 Daniel Averbeck: Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums. *Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen*
ISBN 978-3-8325-5227-5 51.00 EUR
- 309 Martina Strübe: Modelle und Experimente im Chemieunterricht. *Eine Videostudie zum fachspezifischen Lehrerwissen und -handeln*
ISBN 978-3-8325-5245-9 45.50 EUR
- 310 Wolfgang Becker: Auswirkungen unterschiedlicher experimenteller Repräsentationen auf den Kenntnisstand bei Grundschulkindern
ISBN 978-3-8325-5255-8 50.00 EUR
- 311 Marvin Rost: Modelle als Mittel der Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Entwicklung und quantitative Dimensionalitätsanalyse eines Testinstruments aus epistemologischer Perspektive*
ISBN 978-3-8325-5256-5 44.00 EUR
- 312 Christina Kobl: Förderung und Erfassung der Reflexionskompetenz im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5259-6 41.00 EUR
- 313 Ann-Kathrin Beretz: Diagnostische Prozesse von Studierenden des Lehramts – *eine Videostudie in den Fächern Physik und Mathematik*
ISBN 978-3-8325-5288-6 45.00 EUR
- 314 Judith Breuer: Implementierung fachdidaktischer Innovationen durch das Angebot materialgestützter Unterrichtskonzeptionen. *Fallanalysen zum Nutzungsverhalten von Lehrkräften am Beispiel des Münchener Lehrgangs zur Quantenmechanik*
ISBN 978-3-8325-5293-0 50.50 EUR
- 315 Michaela Oettle: Modellierung des Fachwissens von Lehrkräften in der Teilchenphysik. *Eine Delphi-Studie*
ISBN 978-3-8325-5305-0 57.50 EUR
- 316 Volker Brüggemann: Entwicklung und Pilotierung eines adaptiven Multistage-Tests zur Kompetenzerfassung im Bereich naturwissenschaftlichen Denkens
ISBN 978-3-8325-5331-9 40.00 EUR
- 317 Stefan Müller: Die Vorläufigkeit und soziokulturelle Eingebundenheit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse. *Kritische Reflexion, empirische Befunde und fachdidaktische Konsequenzen für die Chemielehrer*innenbildung*
ISBN 978-3-8325-5343-2 63.00 EUR
- 318 Laurence Müller: Alltagsentscheidungen für den Chemieunterricht erkennen und Entscheidungsprozesse explorativ begleiten
ISBN 978-3-8325-5379-1 59.00 EUR

- 319 Lars Ehlert: Entwicklung und Evaluation einer Lehrkräftefortbildung zur Planung von selbstgesteuerten Experimenten
ISBN 978-3-8325-5393-71 41.50 EUR
- 320 Florian Seiler: Entwicklung und Evaluation eines Seminarkonzepts zur Förderung der experimentellen Planungskompetenz von Lehramtsstudierenden im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5397-5 47.50 EUR
- 321 Nadine Boele: Entwicklung eines Messinstruments zur Erfassung der professionellen Unterrichtswahrnehmung von (angehenden) Chemielehrkräften hinsichtlich der Lernunterstützung
ISBN 978-3-8325-5402-6 46.50 EUR
- 322 Franziska Zimmermann: Entwicklung und Evaluation digitalisierungsbezogener Kompetenzen von angehenden Chemielehrkräften
ISBN 978-3-8325-5410-1 49.50 EUR
- 323 Lars-Frederik Weiß: Der Flipped Classroom in der Physik-Lehre. *Empirische Untersuchungen in Schule und Hochschule*
ISBN 978-3-8325-5418-7 51.00 EUR
- 324 Tilmann Steinmetz: Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik. *Theorie und Evaluation eines Lehrkonzepts*
ISBN 978-3-8325-5421-7 51.00 EUR
- 325 Kübra Nur Celik: Entwicklung von chemischem Fachwissen in der Sekundarstufe I. *Validierung einer Learning Progression für die Basiskonzepte „Struktur der Materie“, „Chemische Reaktion“ und „Energie“ im Kompetenzbereich „Umgang mit Fachwissen“*
ISBN 978-3-8325-5431-6 55.00 EUR
- 326 Matthias Ungermann: Förderung des Verständnisses von Nature of Science und der experimentellen Kompetenz im Schüler*innen-Labor Physik in Abgrenzung zum Regelunterricht
ISBN 978-3-8325-5442-2 55.50 EUR
- 327 Christoph Hoyer: Multimedial unterstütztes Experimentieren im webbasierten Labor zur Messung, Visualisierung und Analyse des Feldes eines Permanentmagneten
ISBN 978-3-8325-5453-8 45.00 EUR
- 328 Tobias Schüttler: Schülerlabore als interesselördernde authentische Lernorte für den naturwissenschaftlichen Unterricht nutzen
ISBN 978-3-8325-5454-5 50.50 EUR
- 329 Christopher Kurth: Die Kompetenz von Studierenden, Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren zu diagnostizieren
ISBN 978-3-8325-5457-6 58.50 EUR
- 330 Dagmar Michna: Inklusiver Anfangsunterricht Chemie *Entwicklung und Evaluation einer Unterrichtseinheit zur Einführung der chemischen Reaktion*
ISBN 978-3-8325-5463-7 49.50 EUR
- 331 Marco Seiter: Die Bedeutung der Elementarisierung für den Erfolg von Mechanikunterricht in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-5471-2 66.00 EUR

- 332 Jörn Hägele: Kompetenzaufbau zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten. *Videobasierte Analysen zu Aktivitäten und Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe bei der Bearbeitung von fachmethodischer Instruktion*
ISBN 978-3-8325-5476-7 56.50 EUR
- 333 Erik Heine: Wissenschaftliche Kontroversen im Physikunterricht. *Explorationsstudie zum Umgang von Physiklehrkräften und Physiklehramtsstudierenden mit einer wissenschaftlichen Kontroverse am Beispiel der Masse in der Speziellen Relativitätstheorie*
ISBN 978-3-8325-5478-1 48.50 EUR
- 334 Simon Goertz: Module und Lernzirkel der Plattform FLexKom zur Förderung experimenteller Kompetenzen in der Schulpraxis *Verlauf und Ergebnisse einer Design-Based Research Studie*
ISBN 978-3-8325-5494-1 66.50 EUR
- 335 Christina Toschka: Lernen mit Modellexperimenten *Empirische Untersuchung der Wahrnehmung und des Denkens in Analogien beim Umgang mit Modellexperimenten*
ISBN 978-3-8325-5495-8 50.00 EUR
- 336 Alina Behrendt: Chemiebezogene Kompetenzen in der Übergangsphase zwischen dem Sachunterricht der Primarstufe und dem Chemieunterricht der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-5498-9 40.50 EUR
- 337 Manuel Daiber: Entwicklung eines Lehrkonzepts für eine elementare Quantenmechanik *Formuliert mit In-Out Symbolen*
ISBN 978-3-8325-5507-8 48.50 EUR
- 338 Felix Pawlak: Das Gemeinsame Experimentieren (an-)leiten *Eine qualitative Studie zum chemiespezifischen Classroom-Management*
ISBN 978-3-8325-5508-5 46.50 EUR
- 339 Liza Dopatka: Konzeption und Evaluation eines kontextstrukturierten Unterrichtskonzeptes für den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht
ISBN 978-3-8325-5514-6 69.50 EUR
- 340 Arne Bewersdorff: Untersuchung der Effektivität zweier Fortbildungsformate zum Experimentieren mit dem Fokus auf das Unterrichtshandeln
ISBN 978-3-8325-5522-1 39.00 EUR
- 341 Thomas Christoph Münster: Wie diagnostizieren Studierende des Lehramtes physikbezogene Lernprozesse von Schüler*innen? Eine Videostudie zur Mechanik
ISBN 978-3-8325-5534-4 44.50 EUR
- 342 Ines Komor: Förderung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses in der Physikalischen Chemie
ISBN 978-3-8325-5546-7 46.50 EUR
- 343 Verena Petermann: Überzeugungen von Lehrkräften zum Lehren und Lernen von Fachinhalten und Fachmethoden und deren Beziehung zu unterrichtsnahem Handeln
ISBN 978-3-8325-5545-0 47.00 EUR

- 344 Jana Heinze: Einfluss der sprachlichen Konzeption auf die Einschätzung der Qualität instruktionaler Unterrichtserklärungen im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-5545-0 47.00 EUR
- 345 Jannis Weber: Mathematische Modellbildung und Videoanalyse zum Lernen der Newtonschen Dynamik im Vergleich
ISBN 978-3-8325-5566-5 68.00 EUR
- 346 Fabian Sterzing: Zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos in der Physik *Eine Untersuchung in Abhängigkeit von ihrer fachdidaktischen Qualität und ihrem Einbettungsformat*
ISBN 978-3-8325-5576-4 52.00 EUR
- 347 Lars Greitemann: Wirkung des Tablet-Einsatzes im Chemieunterricht der Sekundarstufe I unter besonderer Berücksichtigung von Wissensvermittlung und Wissenssicherung
ISBN 978-3-8325-5580-1 50.00 EUR
- 348 Fabian Poensgen: Diagnose experimenteller Kompetenzen in der laborpraktischen Chemielehrer*innenbildung
ISBN 978-3-8325-5587-0 48.00 EUR
- 349 William Lindlahr: Virtual-Reality-Experimente *Entwicklung und Evaluation eines Konzepts für den forschend-entwickelnden Physikunterricht mit digitalen Medien*
ISBN 978-3-8325-5595-5 49.00 EUR
- 350 Bert Schlüter: Teilnahmemotivation und situationales Interesse von Kindern und Eltern im experimentellen Lernsetting KEMIE
ISBN 978-3-8325-5598-6 43.00 EUR
- 351 Katharina Nave: Charakterisierung situativer mentaler Modellkomponenten in der Chemie und die Bildung von Hypothesen *Eine qualitative Studie zur Operationalisierung mentaler Modell-komponenten für den Fachbereich Chemie*
ISBN 978-3-8325-5599-3 43.00 EUR

Alle erschienenen Bücher können unter der angegebenen ISBN direkt online (<http://www.logos-verlag.de>) oder per Fax (030 - 42 85 10 92) beim Logos Verlag Berlin bestellt werden.

Studien zum Physik- und Chemielernen

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

Die Reihe umfasst inzwischen eine große Zahl von wissenschaftlichen Arbeiten aus vielen Arbeitsgruppen der Physik- und Chemiedidaktik und zeichnet damit ein gültiges Bild der empirischen physik- und chemiedidaktischen Forschung im deutschsprachigen Raum.

Die Herausgeber laden daher Interessenten zu neuen Beiträgen ein und bitten sie, sich im Bedarfsfall an den Logos-Verlag oder an ein Mitglied des Herausgeberteams zu wenden.

Kontaktadressen:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
Universität Wien,
Österreichisches Kompetenzzentrum
für Didaktik der Physik,
Porzellangasse 4, Stiege 2,
1090 Wien, Österreich,
Tel. +43-1-4277-60330,
e-mail: martin.hopf@univie.ac.at

Prof. Dr. Hans Niedderer
Inst. f. Didaktik der Naturwissenschaften,
Abt. Physikdidaktik,
FB Physik/ Elektrotechnik,
Universität Bremen,
Postfach 33 04 40, 28334 Bremen
Tel. 0421-218 4695 (Sekretariat),
e-mail: niedderer@physik.uni-bremen.de

Prof. Dr. Mathias Ropohl
Didaktik der Chemie,
Fakultät für Chemie,
Universität Duisburg-Essen,
Schützenbahn 70, 45127 Essen,
Tel. 0201-183 2704,
e-mail: mathias.ropohl@uni-due.de

Prof. Dr. Elke Sumfleth
Didaktik der Chemie,
Fakultät für Chemie,
Universität Duisburg-Essen,
Schützenbahn 70, 45127 Essen
Tel. 0201-183 3757/3761,
e-mail: elke.sumfleth@uni-due.de

Erklärvideos stellen für Lernende eine wichtiger werdende Lerngelegenheit dar. Die Forschungslage zum Thema Erklärvideos lässt zum Teil noch offen, welchen Einfluss die didaktische Qualität eines Erklärvideos und die Form der Einbettung in Lehr-Lernprozesse auf den Lernzuwachs haben. Weiterhin ist unklar, ob es Personengruppen gibt, die von Erklärvideos besonders profitieren können. Ziel der Arbeit ist es daher, einen theoriebasierten Kategorienkatalog zur Gestaltung möglichst lernwirksamer Erklärvideos zu entwickeln, zwei Erklärvideos unterschiedlicher didaktischer Qualität zu einem Thema aus der Elektrizitätslehre zu gestalten und anhand dieser beiden Videos die Lernwirksamkeit empirisch zu prüfen.

Die Erhebung mit $N = 146$ Lehramtsstudierenden des Sachunterrichts zeigt über alle Treatmentgruppen große Lernzuwächse. Aus den Ergebnissen folgt, dass die Qualität und auch das Einbettungsformat in dieser Erhebung keinen direkten Einfluss auf den Lernzuwachs haben. Aus der Betrachtung der Nutzungsdaten der Erklärvideos folgt als eine mögliche Erklärung, dass die Studierenden auch im schlechteren Erklärvideo relevante Inhalte identifizieren können. Es konnte beobachtet werden, dass besonders im Vorwissen schwache Studierende überproportional von Erklärvideos profitieren. Der mögliche Lernzuwachs bei der Nutzung von Erklärvideos hängt somit von den individuellen Lernvoraussetzungen der Lernenden ab.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-5576-4