

Vergleich induktiver und deduktiver Erkläransätze im Bezug auf den Wissenserwerb im Physikunterricht

Masterarbeit

vorgelegt von

Miles Alpers

Große Annenstr. 102

28199 Bremen

Matr.-Nr: 2725695

angefertigt im Studiengang

Master of Education Physik und Chemie für Gymnasium/Oberschule

Universität Bremen

Fachbereich 1

Institut für Didaktik der Naturwissenschaften – Abteilung Physikdidaktik

AG Schecker

Sommersemester 2018

Erstgutachter: PD Dr. Christoph Kulgemeyer

Zweitgutachter: Prof. Dr. Horst Schecker

vorgelegt am 03.09.2018

Gliederung

Urheberrechtliche Erklärung.....	IV
Danksagung.....	V
Zusammenfassung.....	VI
Abstract.....	VI
Einleitung	1
1 Theoretischer Hintergrund.....	3
1.1 Formen der Erklärung.....	3
1.1.1 Die wissenschaftliche Erklärung.....	3
1.1.2 Die Unterrichtserklärung.....	5
1.2 Stand der Forschung zur Bedeutung von Unterrichtserklärungen	7
1.3 Merkmale guter Erklärungen.....	9
1.4 Induktive und deduktive Erkläransätze.....	13
1.4.1 Der deduktive Erkläransatz.....	13
1.4.2 Der induktive Erkläransatz.....	15
1.5 Bisheriger Stand der Forschung.....	17
2 Methodik.....	20
2.1 Entwicklung der Forschungsfrage.....	20
2.2 Design der Studie.....	21
2.3 Konzeption der Erklärungen	23
2.3.1 Die Vertauschung der Seiten beim Spiegelbild.....	23
2.3.1.1 Erklärung nach dem induktiven Erkläransatz.....	23
2.3.1.2 Erklärung nach dem deduktiven Erkläransatz.....	25
2.3.1.3 Gegenüberstellung der Erkläransätze.....	27
2.3.2 Der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur.....	30
2.3.2.1 Erklärung nach dem induktiven Erkläransatz.....	30
2.3.2.2 Erklärung nach dem deduktiven Erkläransatz.....	32
2.3.2.3 Gegenüberstellung der Erkläransätze.....	35
2.4 Konzeption des Erhebungsinstrumentes	36
2.4.1 Reliabilität.....	37
2.4.2 Validität.....	38
2.4.2.1 Die Vertauschung der Seiten beim Spiegel.....	38
2.4.2.2 Der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur.....	39
2.4.3 Objektivität.....	40
2.5 Methoden der Datenauswertung.....	41

3 Darstellung der Ergebnisse.....	44
3.1 Analyse der Lerngruppen.....	44
3.1.1 Die Vertauschung der Seiten beim Spiegel.....	44
3.1.2 Der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur.....	47
3.2 Vergleich der Ergebnisse von Prä- und Posttest.....	49
3.2.1 Die Vertauschung der Seiten beim Spiegel.....	49
3.2.2 Der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur.....	51
3.2.3 Differenzierte Analyse der Fragen mit gebundener Beantwortung.....	52
3.3 Vergleich des Lernzuwachses in Abhängigkeit vom Erkläransatz.....	54
3.3.1 Die Vertauschung der Seiten beim Spiegel.....	54
3.3.2 Der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur.....	55
4 Diskussion der Ergebnisse.....	57
4.1 Vergleichbarkeit der Lerngruppen.....	57
4.2 Analyse des Wissenserwerbs zwischen Prä- und Posttest.....	58
4.3 Wissenserwerb in Abhängigkeit vom Erkläransatz.....	59
4.4 Kritische Reflexion der Studie.....	61
Fazit und Ausblick.....	63
Verzeichnisse.....	VII
Literaturverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	XIII
Abbildungsverzeichnis.....	XIV
Anhang	XVI
Anhang A: Fragebögen.....	XVI
Prä-Test zur Vertauschung der Seiten beim Spiegel.....	XVI
Post-Test zur Vertauschung der Seiten beim Spiegel.....	XX
Prä-Test zum Unterschied zwischen Wärme und Temperatur.....	XXIV
Post-Test zum Unterschied zwischen Wärme und Temperatur.....	XXVIII
Anhang B: Codierleitfäden.....	XXXII
Fragebogen zur Vertauschung der Seiten beim Spiegel.....	XXXII
Fragebogen zum Unterschied zwischen Wärme und Temperatur.....	XXXIV
Anhang C: PowerPoint-Folien zu den Erklärungen.....	XXXVI
PowerPoint-Folien zum Spiegel.....	XXXVI
PowerPoint-Folien zum Unterschied zwischen Wärme und Temperatur.....	XLV
Anhang D: Tabellen mit den Werten der Datenanalyse aus PSPP.....	LIII

Urheberrechtliche Erklärung



Nachname: Alpers

Matrikelnr. 2725695

Vorname: Miles

Diese Seite ist in jedes Exemplar der Bachelor- bzw. Masterarbeit mit einzubinden.

Urheberrechtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Stellen, die ich wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken entnommen habe, habe ich unter Angabe der Quellen als solche kenntlich gemacht.

28.08.2018

Datum

Miles Alpers

Unterschrift

Erklärung zur Veröffentlichung von Abschlussarbeiten

Die Abschlussarbeit wird zwei Jahre nach Studienabschluss dem Archiv der Universität Bremen zur dauerhaften Archivierung angeboten.

Archiviert werden:

- 1) Masterarbeiten mit lokalem oder regionalem Bezug sowie pro Studienfach und Studienjahr 10 % aller Abschlussarbeiten
- 2) Bachelorarbeiten des jeweils der ersten und letzten Bachelorabschlusses pro Studienfach und Jahr.

Ich bin damit einverstanden, dass meine Abschlussarbeit im Universitätsarchiv für wissenschaftliche Zwecke von Dritten eingesehen werden darf.

Ich bin damit einverstanden, dass meine Abschlussarbeit nach frühestens 30 Jahren (gem. §7 Abs. 2 BremArchivG) im Universitätsarchiv für wissenschaftliche Zwecke von Dritten eingesehen werden darf.

Ich bin nicht damit einverstanden, dass meine Abschlussarbeit im Universitätsarchiv für wissenschaftliche Zwecke von Dritten eingesehen werden darf.

28.08.2018

Datum

Miles Alpers

Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die durch ihre Ideen und Unterstützung diese Masterarbeit erst ermöglicht haben.

Allen voran möchte ich mich bei meinem Betreuer und Erstgutachter Herrn Dr. Christoph Kulgemeyer für den Vorschlag zu dieser Arbeit und die Unterstützung bedanken. Er war regelmäßig an den Fortschritten und den Ergebnissen dieser Arbeit interessiert und stand bei jeglicher Art von Fragen oder Problemen stets zur Verfügung.

Ich danke zudem Herrn Prof. Dr. Horst Schecker für die Zweitbegutachtung dieser Arbeit.

Weiterhin möchte ich mich bei allen Lehrerinnen und Lehrern der Oberschule an der Kurt-Schumacher-Allee bedanken, die ihre Lerngruppen für die Erprobung der Erklärung und die damit verbundene Datenerhebung zur Verfügung gestellt haben.

Zu guter Letzt möchte ich mich aber auch bei meinen Freunden und meiner Familie bedanken, die mich auch in schwierigen Phasen unterstützt und damit zum Gelingen dieser Masterarbeit beigetragen haben.

Insbesondere möchte ich an dieser Stelle Sherryl und Talisa für das Gegenkodieren und das abschließende Korrekturlesen dieser Arbeit danken.

Zusammenfassung

Das Erklären gilt als eine der Kernkompetenzen von Lehrkräften. Trotzdem beschäftigt sich die naturwissenschaftsdidaktische Forschung bisher nur geringfügig mit Unterrichtserklärungen. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde zu zwei verschiedenen physikalischen Sachverhalten jeweils ein Erklärungskonzept nach dem induktiven und ein Erklärungskonzept nach dem deduktiven Erkläransatz bezüglich des Effekts auf den Wissenserwerb bei Schülerinnen und Schülern hin untersucht. Es handelt sich dabei um eine quantitative Studie nach dem Prä-Post-Design. Es zeigt sich, dass Lehrererklärungen generell einen signifikanten Effekt auf den Wissenserwerb bei Schülerinnen und Schülern haben. Eine Abhängigkeit des Lernzuwachses vom gewählten Erkläransatz konnte dagegen nicht eindeutig festgestellt werden.

Für zukünftige Studien wird empfohlen, einen stärkeren Fokus auf die Untersuchung von Lehrererklärungen zu legen.

Abstract

Explaining is mentioned as one of the most important skills in teaching. Nevertheless, science education research did not pay close attention to the role of explaining. Within the scope of this master thesis, two physical situations are analysed, comparing the impact of rule-sample- and sample-rule-structural explanations on students achievement in physics. A quantitative study based on pre-post design was used in each learning group. It turns out that teacher explanations generally have a strong impact on students acquisition of knowledge in physics. On the other hand, it was not possible to clearly show a relation, comparing students acquisition of knowledge in physics to the structure of explanation. For future studies, it is recommended to stronger focus on research of teacher explanations.

Einleitung

Immer wieder wird im Zusammenhang mit den Eigenschaften einer *guten* Lehrkraft das Erklären genannt. Zahlreiche Studien zeigen die verbreitete Auffassung, dass ein guter Lehrer auch gut erklären können muss (Harder 2014, S. 409). Das Erklären stellt daher eine grundlegende Fähigkeit von Lehrerinnen und Lehrern im Zusammenhang mit Unterricht dar (Ogborn 1996, S. 2 f.). Diese hohe Bedeutung, die das Erklären demnach im Lernprozess bei den Lernenden einnimmt, macht eine genauere Betrachtungsweise hinsichtlich der Funktion des Erklärens notwendig. Hierbei lässt sich feststellen, dass das Konzept, welches einer Erklärung zugrunde liegt, von zentraler Bedeutung ist (Wittwer und Renkl 2008). Aus diesem Grund ist es wichtig, sich mit verschiedenen Konzepten der Erklärung detaillierter zu beschäftigen.

Ziel dieser Masterarbeit ist es, den Einfluss des Erklärkonzeptes auf den Lerneffekt bei Schülerinnen und Schülern empirisch zu untersuchen. Insbesondere soll explizit auf induktive und deduktive Erkläransätze eingegangen werden. Konkret soll der Lerneffekt der Schülerinnen und Schüler in Abhängigkeit vom gewählten Erkläransatz untersucht werden. Der deduktive Erkläransatz verfolgt das Ziel eine Beobachtung oder ein spezielles Konzept auf ein allgemeines Prinzip zurückzuführen (Kulgemeyer 2016). Die induktive Methode führt dagegen, mehrere einzelne Beobachtungen zu einem allgemeingültigen Prinzip zusammen (Seidel et al. 2013). Die zentrale Fragestellung, welche im Zuge dieser Masterarbeit untersucht werden soll, beschäftigt sich damit, inwiefern sich der gewählte Erkläransatz auf den Wissenserwerb bei Schülerinnen und Schülern im Physikunterricht auswirkt.

Hierzu skizziert die Arbeit zunächst die theoretischen Grundlagen, die der hier durchgeführten Untersuchung zugrunde liegen. Zunächst ist dabei die Erklärung als Unterrichtssituation von anderen Formen einer Erklärung abzugrenzen. Darauf aufbauend soll näher dargelegt werden, was eine gute oder gelungene Erklärung im Unterricht nach aktuellem Forschungsstand charakterisiert. Im Folgenden wird zwischen deduktiven und induktiven Erklärungen differenziert, bevor die beiden genannten Erkläransätze hinsichtlich der Merkmale einer guten Erklärung untersucht und miteinander verglichen werden. Auf dieser Grundlage wird auch der derzeitige Stand der Forschung hinsichtlich des Einflusses auf den Lerneffekt induktiver und deduktiver Erkläransätze näher beleuchtet.

Im zweiten Teil dieser Masterarbeit wird die der Studie zugrundeliegende Methodik näher betrachtet. Hierzu wird zunächst die zentrale Fragestellung dieser Masterarbeit aus bisherigen Forschungsergebnissen entwickelt, ehe das Design der Studie und die eingesetzten Erklärungskonzepte vorgestellt werden. Zum Abschluss dieses Kapitels wird die Konzeption des Erhebungsinstrumentes näher beschrieben, bevor abschließend auf die angewandten Methoden der Datenauswertung eingegangen wird. Auf den methodischen Teil aufbauend folgt die Darstellung der Ergebnisse, welche im Rahmen der hier durchgeführten empirischen Studie erzielt wurden. Hier wird zunächst die Vergleichbarkeit der einzelnen Lerngruppen untersucht. Anschließend wird der Lerneffekt innerhalb der Lerngruppen durch die Durchführung der Lehrererklärung anhand einer Auswertung von Prä- und Posttest analysiert. Hieran schließt sich die zentrale Untersuchung dieser Masterarbeit an, welche den Wissenserwerb der einzelnen Lerngruppen mit dem jeweils angewandten Erkläransatz vergleicht. Um Aussagen über den tatsächlichen Lernzuwachs der einzelnen Lerngruppen treffen zu können und somit den Faktor eines möglicherweise unterschiedlichen Vorwissens der einzelnen Lerngruppen zu eliminieren, wird für jede Lerngruppe die Differenz richtig beantworteter Items zwischen Prä- und Posttest ermittelt.

Im Anschluss an die Darstellung der Ergebnisse sollen diese diskutiert und interpretiert werden. In diesem Zusammenhang wird auch die Vergleichbarkeit und die Aussagekraft der erzielten Ergebnisse analysiert. Auf Grundlage der in dieser Studie erzielten Ergebnisse wird die Studie zudem kritisch hinsichtlich ihrer Durchführung und ihrer Konzeption reflektiert.

Zum Abschluss dieser Masterarbeit wird ein Fazit gezogen und ein Ausblick gegeben, welche Fragen sich aus den gewonnenen Erkenntnissen für eine zukünftige Forschung zur Wirksamkeit verschiedener Erkläransätze ergeben.

1 Theoretischer Hintergrund

1.1 Formen der Erklärung

Der Begriff der Erklärung ist allgegenwärtig. Wird das Erklären allerdings genauer betrachtet, lässt sich feststellen, dass besonders die Rolle der Erklärung im Unterricht ein sehr viel komplexeres Verständnis des Erklärbegriffes erfordert. Der Begriff *Erklären* findet unter verschiedenen Bedeutungen Anwendung und wird nicht einheitlich verwendet (Kulgemeyer 2016). Grundlegend ist zunächst die Unterscheidung zwischen einer wissenschaftlichen Erklärung und einer Erklärung als Unterrichtssituation vorzunehmen (Kulgemeyer und Tomczyszyn 2015).

1.1.1 Die wissenschaftliche Erklärung

Bei der wissenschaftlichen Erklärung handelt es sich um die Form der Erklärung, welche oft in der Philosophie thematisiert wird (Kulgemeyer et al. 2015). Immer wieder wird die wissenschaftliche Erklärung dabei auch mit den Naturwissenschaften, insbesondere der Physik und Chemie, in Verbindung gebracht (Bartelborth 2007, S. 10 ff.). Für die Philosophie geht es im Sinne der wissenschaftlichen Erklärung „*um das Erklären von Ereignissen in der Welt*“ (Bartelborth 2007, S. 11). Die wissenschaftliche Erklärung versucht Antworten auf Warum-Fragen zu geben (Hempel 1977). In diesem Sinne meint die Erklärung die Förderung des Verständnisses bestimmter Geschehnisse in der Welt, was wiederum der Grund dafür ist, dass die Erklärung stets mit den Naturwissenschaften assoziiert wird (Bartelborth 2007, S. 10 ff.; McCain 2015). Erklären bedeutet im wissenschaftlichen Verständnis die Zurückführung eines Phänomens auf ein zugrundeliegendes Prinzip. Dieser Grundgedanke stellt den zentralen Zweck einer wissenschaftlichen Erklärung dar (Kulgemeyer 2016).

Gleichwohl zwischen mehreren Formen der Erklärung unterschieden werden muss, ist die deduktiv-nomologische Erklärung jene Erklärungsform, welche insbesondere in der Physik am meisten Beachtung findet (Kulgemeyer et al. 2015; Kulgemeyer 2016). Das dieser Erklärungsform zugrundeliegende Schema wird auch als Hempel-Oppenheim-Schema bezeichnet. Da diese Form der Erklärung zentraler Bestandteil der im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführten Untersuchung ist, wird die deduktiv-nomologische Erklärung in Kapitel 1.4.1 noch einmal ausführlich dargestellt.

Als zentrales Gütekriterium für die Qualität einer wissenschaftlichen Erklärung wird dabei häufig die Vorhersagbarkeit von Phänomen angeführt. Exemplarisch lässt sich dies an der aus der Physik bekannten Erklärung der Bewegung von Planeten verdeutlichen. Im Laufe der Zeit wurden hier Gesetze und Axiome formuliert, welche sehr exakte Vorhersagbarkeit über die Bewegung von Planeten erlauben. Diese Gesetze, wie beispielsweise das Gravitationsgesetz, stellen daher nach dem wissenschaftlichen Verständnis einer Erklärung eine gute Erklärung dieses Phänomens dar (Bartelborth 2007, S. 13 f.). Es wird versucht einen logischen Zusammenhang zwischen einer Beobachtung, dem Phänomen, und einem dem Phänomen zugrundeliegenden Prinzip zu finden. Das Phänomen muss im Sinne der Vorhersagbarkeit durch das dem Phänomen zugrundeliegenden Prinzip vorhersagbar sein. Ist dieser Zusammenhang zwischen der Beobachtung und dem allgemeinen Prinzip logisch nachvollziehbar, gilt die Beobachtung als „erklärt“ (Kulgemeyer 2016).

Ein weiteres wichtiges Merkmal wissenschaftlicher Erklärungen ist die Verknüpfung bereits vorhandener Gesetze mit neuen Erkenntnissen zu einer noch allgemeineren Gesetzmäßigkeit. Dies lässt sich exemplarisch am Beispiel von Bohr und seiner Erklärung der Spektrallinien im Wasserstoffatom verdeutlichen (Treagust und Harrison 1999). Aus den hier skizzierten Merkmalen einer wissenschaftlichen Erklärung lässt sich ableiten, dass das wissenschaftliche Verständnis einer Erklärung stark dem ähnelt, was unter dem Erklären als Operator im Unterricht verstanden wird (Leisen 2013; Kulgemeyer 2016). So findet sich im Bildungsplan für das Fach Physik im Land Bremen folgende Definition des Operators *Erklären*:

„Ausgehend von theoretischen Überlegungen (z. B. Regeln, Gesetze, Funktionszusammenhänge, Modelle, etc.) einen Sachverhalt unter Verwendung der Fachsprache verständlich darstellen.“ (Die Senatorin für Bildung und Wissenschaft 2008, S. 20)

Die Schülerinnen und Schüler werden im Zusammenhang mit dem Erklären als Operator dazu aufgefordert, eine Verbindung zwischen einem Phänomen und theoretischen Überlegungen herzustellen (Leisen 2013).

Die hier beschriebene wissenschaftliche Erklärung unterscheidet sich jedoch in einigen zentralen Punkten von einer Erklärung im Unterricht. Da die Unterrichtserklärung den zentralen Gegenstand dieser Masterarbeit darstellt, soll im Folgenden darauf eingegangen werden, was die Erklärung im Unterricht vom wissenschaftlichen Verständnis einer Erklärung unterscheidet.

1.1.2 Die Unterrichtserklärung

Im Gegensatz zur wissenschaftlichen Erklärung ist unter der Unterrichtserklärung eine didaktische Handlung zu verstehen. Die reine, logische Zurückführung des Sachverhaltes auf ein zugrundeliegendes Prinzip ist hier nicht das alleinige Kriterium. Die Erklärung soll zusätzlich auch für den Adressaten verständlich sein (Kulgemeyer 2016). Bei Unterrichtserklärungen kommt also zusätzlich der Vermittlungscharakter der Erklärung hinzu, was Erklärungen im Unterricht zu einer sehr komplexen Angelegenheit macht. Bei wissenschaftlichen Erklärungen steht also der fachliche Gegenstand im Mittelpunkt, während bei Unterrichtserklärungen der kommunikative Prozess zwischen Erklärer und Adressat im Fokus steht (Kulgemeyer 2016). Die erklärende Person befindet sich daher in einem Spannungsfeld zwischen fachlicher Korrektheit und schülergerechter Vereinfachung (Leisen 2013). Während bei der wissenschaftlichen Erklärung die Vorhersagbarkeit von Phänomenen als Qualitätskriterium einer guten Erklärung genannt wird (vgl. Kap. 1.1), wird im Zusammenhang mit der Unterrichtserklärung vorwiegend der Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler durch die Erklärung als Qualitätsmerkmal einer guten Erklärung verwendet (Findeisen 2017, S. 46 ff.). Dies zeigt, dass der Schwerpunkt einer Unterrichtserklärung auf dem kommunikativen Prozess zwischen Vermittler und Adressat liegt.

Aus kommunikationstheoretischer Sicht lässt sich die Erklärung als Angebot des Erklärenden auffassen, welches der Adressat entweder annehmen oder auch ablehnen kann (Rusch 1999, S. 150 ff.). Der Erklärende muss also darauf achten seine Erklärung adressatengerecht zu gestalten damit der Adressat die Kommunikation nicht ablehnt. Kulgemeyer (2016) beschreibt das Erklären im Unterricht insgesamt als spiralförmigen Prozess. Nach diesem Modell ist die Unterrichtserklärung nie abgeschlossen, sondern muss ständig evaluiert und an die Rückmeldung des Adressaten angepasst werden (Kulgemeyer et al. 2015). Nach Kulgemeyer (2016) lässt sich die Unterrichtserklärung in verschiedene Phasen unterteilen. Zu Beginn jeder Erklärung muss den Schülerinnen und Schülern zunächst die Notwendigkeit der Erklärung, der Erklärungsanlass, transparent gemacht werden. Ziel ist es die Schülerinnen und Schüler für das Thema der Erklärung zu sensibilisieren und sie kognitiv zu aktivieren (Kulgemeyer 2016). Im Anschluss daran wird den Schülerinnen und Schülern das Ziel der Erklärung, das allgemeine Prinzip, transparent gemacht. Im nächsten Schritt konzipiert die Lehrkraft

eine Erklärung unter Abwägung der adressatengerechten und der sachgerechten Funktion der Unterrichtserklärung (Kulgemeyer 2016). Nach Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015) lässt sich diese Adressatengerechtheit und Sachgerechtheit der Erklärung durch vier Bereiche ausdrücken (siehe Abb. 1).

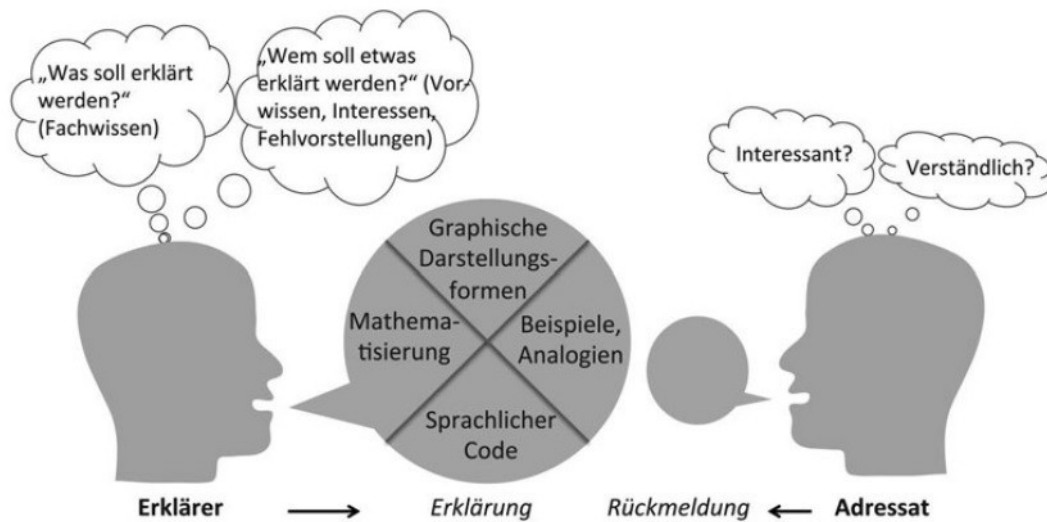


Abb. 1: Darstellung des physikspezifischen Prozesses der Unterrichtserklärung (Kulgemeyer et al. 2015, S. 116)

Die vier Bereiche der Unterrichtserklärung bestehen nach Kulgemeyer und Tomczyszyn (2015) aus der Mathematisierung, den graphischen Darstellungsformen, Beispielen und Analogien sowie dem sprachlichen Code. Das Modell stellt eine um die Mathematisierung erweiterte Form des Modells nach Kulgemeyer und Schecker (2009) dar. Unter dem sprachlichen Code ist dabei beispielsweise die Verwendung eines adressatengerechten Verhältnisses von Alltags- und Fachsprache zu verstehen (Kulgemeyer und Schecker 2009a). Im Bereich der graphischen Darstellungsformen ist insbesondere darauf zu achten, den Abstraktionsgrad der Darstellungsform dem Adressaten anzupassen (Kulgemeyer und Schecker 2009b).

Im Anschluss an die Erklärung evaluiert der Erklärende den Erfolg der Erklärung indem er beispielsweise Rückmeldungen der Schülerinnen und Schüler einholt. Stellt der Erklärende hierbei fest, dass die Schülerinnen und Schüler den Sachverhalt nicht verstanden haben, kommt der didaktische Aspekt der Unterrichtserklärung zum Tragen. Der Erklärende muss nun aus den Äußerungen des Adressaten schließen, worauf die Verständnisschwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler zurückzuführen sind (Kulgemeyer 2016). Speziell auf den Physikunterricht können dies nicht selten fehlerhafte Schülervorstellungen zum Themengebiet sein. Die Herausforderung für den Erklärenden besteht nun darin, die Erklärung auf Grundlage dieser Diagnose zu

optimieren. Dabei hat der Erklärende erneut vier Bereiche zu beachten (siehe Abb. 1), die er so anpassen muss, dass die Erklärung adressatengerechter wird. Die Kunst des Erklärens besteht demnach zum einen darin, die Erklärung gemäß dieser vier Bereiche adressatengemäß zu gestalten und zum anderen darin, die richtigen Schlüsse aus den Rückmeldungen der Adressaten zu ziehen, um zu erkennen wo die Schwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler liegen und an welchen Stellen die Erklärung variiert werden muss, damit sie für den Adressaten verständlich wird (Kulgemeyer et al. 2015). Es lässt sich auf Grundlage des hier beschriebenen Modells festhalten, dass neben der Erklärung an sich die ständige Evaluation und Diagnose unerlässlich für eine gelungene Erklärung im Unterricht sind.

Um einen zufriedenstellenden Lerneffekt bei den Schülerinnen und Schülern zu erzielen, reicht die direkte Instruktion zudem nicht aus. Besonders effizient ist der Erklärprozess, wenn nach der Instruktion eine konstruktive Phase an die Lehrererklärung anschließt (Leisen 2007). Leisen (2007) unterscheidet in dieser Hinsicht zwischen einem Lehrervortrag und der Erklärung im Unterricht. Die von Leisen beschriebene konstruktive Phase kann beispielsweise in einer an die Erklärung anschließenden Übungsphase bestehen, in welcher sich die Schülerinnen und Schüler selbst aktiv mit der Thematik auseinandersetzen.

Das Erklären im Unterricht ist daher ein lang andauernder Prozess und keine abgeschlossene Handlung (Kulgemeyer 2016). Abschließend sei an dieser Stelle angemerkt, dass nicht nur die Lehrkräfte im Unterricht erklären, sondern auch die Schülerinnen und Schüler. Da die Lehrererklärung allerdings im Mittelpunkt der im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführten Untersuchung steht, wurde sich hier auf die Erklärung durch die Lehrkraft beschränkt.

1.2 Stand der Forschung zur Bedeutung von Unterrichtserklärungen

Wie im vorherigen Abschnitt deutlich wird, ist das Erklären im Unterricht ein sehr komplexer Prozess. Dies wirft die Frage auf, inwiefern sich Unterrichtserklärungen positiv auf den Lerneffekt bei Schülerinnen und Schülern auswirken bzw. welche Bedeutung die Erklärung durch die Lehrkraft für die Lernenden hat. Hierzu zeigen Studien zunächst generell, dass das Erklären für Schülerinnen und Schüler eine sehr bedeutende Kompetenz angehender Lehrkräfte darstellt (Leisen 2007; Harder 2014, S. 409). Insgesamt nehmen Lehrerklärungen dabei etwa 10 - 30% der Unterrichtszeit in Anspruch (Brown 2006). In einer groß angelegten Studie von Wilson und Mant, bei der

5044 Schülerinnen und Schüler zum naturwissenschaftlichen Unterricht befragt wurden, lässt sich feststellen, dass die Erklärfähigkeit einer Lehrkraft eine der Schlüsselkomponenten eines für Schülerinnen und Schüler *guten* Unterrichts beschreibt (Wilson und Mant 2011a). Aus der Studie von Wilson und Mant (2011a) lässt sich daher schlussfolgern, dass insbesondere im naturwissenschaftlichen Unterricht das Erklären eine hohe Bedeutung für Schülerinnen und Schüler hat. Besonders interessant im Zusammenhang mit dieser Studie ist der Vergleich von Schüler- und Lehrerperspektive. Während die Schülerinnen und Schüler das Erklären explizit als Merkmal guten naturwissenschaftlichen Unterrichts anführen, wird das Erklären von Lehrkräften nicht als Qualitätskriterium guten naturwissenschaftlichen Unterrichts genannt (Wilson und Mant 2011b). Insgesamt lässt sich feststellen, dass sich die naturwissenschaftsdidaktische Forschung nur sehr wenig mit Unterrichtserklärungen beschäftigt (Kulgemeyer et al. 2015).

Dies spiegelt sich letztendlich auch in den Erkenntnissen der Studie von Wilson und Mant (2011b) wieder. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass das Erklären auch in der naturwissenschaftsdidaktischen Ausbildung zu wenig thematisiert wird (Kulgemeyer et al. 2015). Zu ähnlichen Erkenntnissen kommt auch Geelan (2012) bei einer Zusammenstellung des Forschungsstandes zu Unterrichtserklärungen. Er stellt fest, dass sich überhaupt nur sehr wenige Studien mit der Unterrichtserklärung beschäftigen. Speziell die Lehrererklärung findet in der Forschung wenig Beachtung (Geelan 2012; Roehler und Duffy 1986). Dagegen lässt sich beobachten, dass die Selbsterklärung eines Sachverhaltes durch die Schülerinnen und Schüler in den Fokus fachdidaktischer Forschung rückt (Chi et al. 1989; Renkl 2002; Renkl et al. 2006). Dabei stellt das Erklären im Unterricht gerade für junge, angehende Lehrkräfte mit die größte Schwierigkeit dar (Findeisen 2017, S. 125 f.; Merzyn 2005; Leisen 2007). Es fällt ihnen schwer, das im Studium theoretisch Erlernte auf die reale Situation im Klassenraum zu übertragen und anzuwenden (Seidel et al. 2013). Insgesamt neigen Lehrkräfte dazu die Gedanken bei der Konzeption der Erklärungen zu stark auf das Wecken des Interesses bei den Lernenden zu lenken (Leisen 2007).

Leisen (2007) nennt als Grund für diese besondere Schwierigkeit junger Lehrkräfte mit dem Erklären das Finden des richtigen Verhältnisses zwischen Instruktion und Konstruktion bei der Erklärung. Ihnen fehlt ein didaktisches Gefühl dafür, welches Maß von Instruktion und Konstruktion für die Erklärung angemessen ist (Leisen 2007). Findeisen (2017) geht dabei noch einen Schritt weiter und legt dar, dass die Gründe für die Schwierigkeiten angehender Lehrkräfte im Zusammenhang mit dem Erklären auch

auf Defizite im Fachwissen zurückzuführen ist (Findeisen 2017, S. 125 f.). Kulgemeyer (2016) sieht die Rolle des Fachwissens dagegen zwiespaltener. Ein zu hohes Fachwissen des Erklärenden kann unter Umständen sogar hinderlich für den Erfolg der Erklärung sein (Kulgemeyer 2016). Im Einklang mit Leisen (2007) stellt jedoch auch Findeisen (2017) fachdidaktische Schwächen angehender Lehrkräfte heraus. Sie spezifiziert die fachdidaktische Problematik auf die Berücksichtigung der Verständnisschwierigkeiten der Lernenden (Findeisen 2017, S. 125 f.). Wird dies konkret auf physikdidaktische Aspekte bezogen, bedeutet dies, dass insbesondere alternative Vorstellungen der Lernenden zu wenig Berücksichtigung bei Lehrerklärungen im Unterricht finden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die hier präsentierten Erkenntnisse zeigen, dass die Qualität von Lehrerklärungen für Schülerinnen und Schüler ein sehr wichtiges Kriterium für die Gesamtqualität des Unterrichts ist. Dies gilt insbesondere für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Für angehende Lehrkräfte stellt jedoch gerade das Erklären eine der größten Schwierigkeiten dar. In der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung wird die Lehrerklärung jedoch bisher nur beiläufig thematisiert (Kulgemeyer et al. 2015; Geelan 2012).

Das Feld der Lehrerklärung bietet daher einen großen Rahmen für zukünftige Forschung. Vor allem die Wirksamkeit von Lehrerklärungen wurde bisher kaum näher untersucht (Geelan 2012).

Die Lehrerklärung als eine spezielle Form der Unterrichtserklärung soll daher im Rahmen dieser Masterarbeit genauer untersucht werden. Leisen (2013) unterscheidet hierbei zunächst zwischen vorbereiteten Lehrerklärungen und Ad-hoc-Erklärungen (Leisen 2013). Da jedoch lediglich die vorbereitete Lehrerklärung Gegenstand dieser Masterarbeit ist, wird sich im Folgenden auf diese Form der Lehrerklärung beschränkt. Um ein tieferes Verständnis der Lehrerklärung zu erlangen, wird nachfolgend zunächst herausgearbeitet, was eine gute Lehrerklärung im Allgemeinen kennzeichnet.

1.3 Merkmale guter Erklärungen

Neben den bereits in Kap. 1.2 angeschnittenen kommunikationstheoretischen Aspekten, die den Prozess des Erklärens kennzeichnen, spielen im Zusammenhang mit der Lehrerklärung im Unterricht weitere didaktische und psychologische Kennzeichen

eine wesentliche Rolle, damit nach derzeitigem Forschungsstand von einer guten Lehrererklärung gesprochen werden kann. Nach Leisen (2013) kann jedoch nicht von der allgemeinen Lehrererklärung im Unterricht die Rede sein. Er unterscheidet zwischen der Erklärung eines Phänomens, eines Begriffs, eines Gesetzes oder eines Experimentes (Leisen 2013). Leisen (2013) begründet diese Unterscheidung mit den verschiedenen Graden an Vernetzung, Abstraktion und Vorwissen, die die unterschiedlichen Erklärsituationen mit sich bringen.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wird sich auf die Erklärung von Phänomenen beschränkt. Ganz allgemein lässt sich festhalten, dass der Grundstein einer guten Erklärung in deren Vorbereitung liegt (Tomczyszyn und Kulgemeyer 2016). Die Erklärung sollte eine klare Struktur aufweisen und einem roten Faden folgen (Tomczyszyn et al. 2016). Vorbereitete Erklärungen weisen somit gegenüber den, von Leisen (2013) beschriebenen, Ad-hoc-Erklärungen eine höhere Qualität auf (Tomczyszyn et al. 2016).

Gleichwohl das Erklären einen sehr komplexen und kommunikativen Prozess darstellt, lassen sich in Studien immer wieder auftretende Merkmale finden, die eine gute Lehrererklärung im Unterricht kennzeichnen (Brown 2006; Kulgemeyer und Schecker 2013). Kulgemeyer (2013) fasst die empirischen und theoretischen Befunde zur Wirkung der Erklärung zusammen und formuliert Gelingensbedingungen einer guten Erklärung im Unterricht. Es lässt sich die Erkenntnis gewinnen, dass eine gute Lehrererklärung nicht allein gut strukturiert sein muss, weiterhin muss sie auch für die Schülerinnen und Schüler interessant sein (Brown 2006). Die kognitive Aktivierung der Schülerinnen und Schüler stellt ein weiteres Kriterium dar, welches als Ursache für den Erfolg guter Lehrerklärungen in der Literatur herangezogen wird (Brown 2006). Eine interessante Erklärung erleichtert die kognitive Aktivierung der Schülerinnen und Schüler.

In diesem Zusammenhang spielt auch die Transparenz des Erklärprozesses für die Schülerinnen und Schüler eine entscheidende Rolle. Zu Beginn der Erklärung sollte den Schülerinnen und Schülern daher verdeutlicht werden, worin das Ziel der Erklärung besteht und wie das Vorgehen aussieht (Tomczyszyn et al. 2016). Damit die Erklärung überhaupt als eine solche anerkannt wird, sollte immer ein logischer Bezug zwischen einer Beobachtung und einem Phänomen hergestellt werden (Tomczyszyn et al. 2016). Entscheidend für den Erfolg einer Lehrererklärung ist weiterhin die Berücksichtigung des Vorwissens der Lernenden. Unter diesem Aspekt sollte eine gute Lehrererklärung

immer an das Vorwissen der Lernenden anschließen (Tomczyszyn et al. 2016; Wittwer et al. 2008). Dies beinhaltet auch explizit die Berücksichtigung von Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. Eine Nichtberücksichtigung von Schülervorstellungen oder Alltagserfahrungen bei der Erklärung kann zu Verwirrung bei den Schülerinnen und Schülern führen und erschwert somit nicht nur das Verständnis des zu erklärenden Sachverhalts, sondern fördert auch das Auftreten typischer Fehlvorstellungen bei Schülerinnen und Schülern (Kulgemeyer 2016; Chi et al. 2001).

Ebenso spielen Beispiele und Analogien eine wichtige Rolle im Erklärprozess. Beispiele können helfen, kognitive Schemata bei den Lernenden zu aktivieren und auszubilden (Brown 2006). Die verwendeten Beispiele sollten jedoch sorgfältig ausgewählt sein, denn einzig das Einbeziehen von Beispielen in die Erklärung führt nicht automatisch zu einer Förderung des Verständnisses (Tomczyszyn et al. 2016). Die Beispiele sollten vielmehr den zu erklärenden Sachverhalt auf bereits bekanntes Wissen zurückführen (Kulgemeyer 2013). Ein gutes Beispiel sollte dabei aus der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler stammen und sie in ihrer Alltagswelt abholen (Tomczyszyn et al. 2016). Das Beispiel selbst sollte zudem nicht zu lange erklärt werden müssen. Im Sinne der Cognitive Load Theory wird ansonsten zu viel kognitive Kapazität für das Verständnis des Beispiels bei den Lernenden benötigt (Tomczyszyn et al. 2016; Paas et al. 2003). Die Erklärung sollte daher keine überflüssigen Informationen enthalten, welche für das Verständnis des Sachverhaltes nicht zwingend notwendig sind. Die Erklärung ist auf die nötigsten Informationen zu beschränken. Der Effekt der besten Beispiele bleibt jedoch aus, wenn diese in der Erklärung isoliert und ohne Einbettung in den Kontext der Erklärung eingesetzt werden. Das Beispiel sollte in den Zusammenhang der Erklärung integriert werden. Dies ist dann der Fall, wenn es dem Erklärenden gelingt, Parallelen zwischen dem Beispiel und dem erklärten Sachverhalt explizit aufzuzeigen (Tomczyszyn et al. 2016).

Im Sinne der Adressatengerechtigkeit einer guten Erklärung ist auch die Wahl einer geeigneten Sprachebene ein essentieller Punkt bei der Vorbereitung einer Lehrererklärung. Das Sprachniveau ist an den Adressaten anzupassen. Im Falle der Lehrererklärung, wo der Sachverhalt Schülerinnen und Schülern näher gebracht werden soll, ist folglich ein anderes sprachliches Niveau zu wählen als bei einer instruktionalen Erklärung gegenüber Wissenschaftlern. Gute Erklärungen zeichnen sich durch eine für den Adressaten verständliche Sprache aus. Neue, den Lernenden unbekanntes, Fachbegriffe sollten vermieden oder durch Alltagssprache umschrieben werden (Tomczyszyn et al. 2016). Die Erklärung als Gesamtpaket kann für den Adressaten nur

verständlich sein, wenn es auch die einzelnen in ihr auftauchenden Begriffe sind (Tomczyszyn et al. 2016). Im Sinne einer guten Erklärung empfiehlt es sich daher, möglichst viele Fachbegriffe durch alltagssprachliche Formulierungen zu ersetzen (Tomczyszyn et al. 2016).

In der Physik besteht hier eine zusätzliche Schwierigkeit in der Wahl des Mathematisierungsgrades. Neben der Sprache gilt es hier auch den Mathematisierungsgrad an den Adressaten anzupassen (Kulgemeyer 2013). Generell lässt sich diesbezüglich sagen, dass gute Erklärungen auf der mathematischen Ebene zunächst qualitativ beginnen und später in quantitative Betrachtungen übergehen. Zu Beginn der Erklärung sollten demnach keine Formeln eingeführt werden, sondern stattdessen mit Zahlenbeispielen und Je-Desto-Aussagen gestartet werden (Tomczyszyn et al. 2016). Dies fördert die Anschaulichkeit der ansonsten sehr abstrakten mathematischen Ebene bei den Lernenden.

Ein letzter Punkt, welcher sich in der Literatur im Zusammenhang mit guten Lehrerklärungen finden lässt, betrifft die dafür verwendeten Darstellungsformen. Studien zeigen, dass das Verwenden vielfältiger Darstellungsformen ein entscheidendes Kriterium einer guten Erklärung darstellt (Kulgemeyer et al. 2013; Tomczyszyn et al. 2016). Insbesondere in der Naturwissenschaftsdidaktik spielt die Visualisierung eines Sachverhaltes eine wichtige Rolle (Gilbert et al. 2008, S. 3). Abbildungen stellen ein häufig verwendetes Mittel von Erklärenden dar, um Sachverhalte zu veranschaulichen. Genau wie der Verwendung von Beispielen ist hier jedoch in gleicher Weise wichtig, dass die Abbildungen mit dem zu erklärenden Gegenstand in Verbindung gebracht werden (Tomczyszyn et al. 2016). Bezogen auf naturwissenschaftlichen Unterricht sind unter Abbildungen jedoch nicht ausschließlich Bilder oder Grafiken zu verstehen, sondern auch graphische Darstellungen oder Diagramme (Kulgemeyer et al. 2013). Es bietet sich zudem an das zu erklärende Phänomen durch ein Experiment zu veranschaulichen oder nachzustellen. Auch hier muss den Lernenden jedoch stets der Zusammenhang zwischen dem Phänomen und dem Experiment verdeutlicht werden (Tomczyszyn et al. 2016).

An den hier skizzierten Elementen einer guten Erklärung wird deutlich, dass es bei der Vorbereitung und der Durchführung einer Lehrerklärung extrem viele Aspekte und Ebenen zu bedenken und zu berücksichtigen gilt. Es verwundert daher nicht, dass das Erklären für Lehrkräfte die in Kap.1.2 erwähnte große Herausforderung darstellt. In besonderem Maße erschwert wird die Konzeption einer Lehrerklärung zusätzlich

dadurch, dass die Instruktionsphase nicht zu lang geraten darf. Nach Leisen (2013) muss an die Instruktionsphase eine konstruktive Phase anschließen, in welcher sich die Schülerinnen und Schüler selbst aktiv mit der Thematik auseinandersetzen (Leisen 2013). Als Richtwert hat sich in der Forschung herauskristallisiert, dass die Instruktionsphase nicht länger als zehn Minuten dauern sollte, wenn die Erklärung erfolversprechend sein soll (Kulgemeyer 2016). Generell lässt sich jedoch zeigen, dass Lehrererkklärungen sich in der Praxis durchaus positiv auf das Verständnis auswirken können, jedoch nur unter bestimmten Bedingungen (Renkl 2002; Renkl et al. 2006). Für eine Lehrererklärung in besonderem Maße geeignet sind komplexe Sachverhalte, zu denen die Schülerinnen und Schüler nur ein geringes Vorwissen aufweisen. Erklärungen sollten dabei stets auf ein allgemeines Prinzip hinauslaufen und an Beispielen verdeutlicht werden (Kulgemeyer 2016).

Abschließend soll an dieser Stelle noch einmal betont werden, dass über den hier genannten Merkmalen einer guten Erklärung der Erklärprozess als Ganzes steht. Dies bedeutet, dass die in Kap. 1.1.2 beschriebene ständige Diagnose und Evaluation im Zusammenhang mit der Erklärung zusätzlich zu den genannten Aspekten unentbehrlich für eine gute Erklärung ist. Diese sollte zudem besonders zentrale Punkte betonen und zusammenfassen (Kulgemeyer et al. 2015).

Zusätzlich zu den hier skizzierten Elementen, die eine gute Lehrererklärung berücksichtigen sollte, zeigt sich, dass das Konzept, welches einer Erklärung zugrunde liegt von zentraler Bedeutung im Lernprozess bei den Lernenden ist (Wittwer et al. 2008). Aus diesem Grund werden nachfolgend zwei konkrete Strategien zur Konzeption einer Lehrererklärung vorgestellt, um diese anschließend hinsichtlich der Beachtung von Kennzeichen guter Erklärungen näher zu beleuchten.

1.4 Induktive und deduktive Erkläransätze

1.4.1 Der deduktive Erkläransatz

Gleichwohl der deduktiv-nomologische Erkläransatz oft mit der wissenschaftlichen Form der Erklärung in Verbindung gebracht wird (Bartelborth 2007, S. 23 ff.), lässt sich das Modell der deduktiven Erklärung auch auf die Unterrichtserklärung übertragen (Kulgemeyer 2016). Der Grundgedanke des deduktiven Erkläransatzes besteht darin, eine Beobachtung oder ein Phänomen auf ein allgemeingültiges Prinzip zurückzuführen (Hempel und Oppenheim 1948). Gerade im Bezug auf die Erklärung physikalischer

Phänomene findet dieser Erkläransatz große Anwendung (Bartelborth 2007, S. 23 ff.). Kern des deduktiven Erkläransatzes ist es, eine logische Beziehung zwischen einem zugrundeliegenden Prinzip unter der Berücksichtigung von Randbedingungen herzustellen (Kulgemeyer 2016). Kulgemeyer (2016) verdeutlicht dies exemplarisch an dem allgemeinen Prinzip von leitendem Kupfer. So ist die Beobachtung, dass ein Draht Strom leitet auf dieses Prinzip zurückführbar, unter der Randbedingung, dass der Draht aus Kupfer besteht (Kulgemeyer 2016). Das Prinzip der deduktiv-nomologischen Erklärung ist an diesem Beispiel in Abb. 2 veranschaulicht (Kulgemeyer 2016, S. 3).

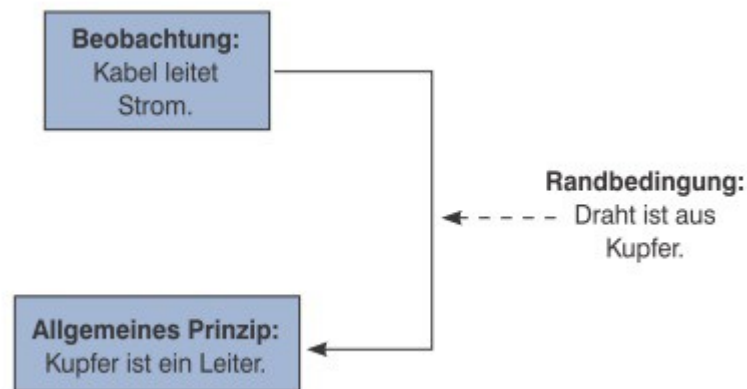


Abb. 2: Prinzip der deduktiven Erklärung am Beispiel von leitendem Kupfer (Kulgemeyer 2016, S. 3).

Gerade bei komplexeren Sachverhalten besteht jedoch die Möglichkeit, dass sich das allgemeine Prinzip selbst auf ein noch allgemeineres Prinzip zurückführen lässt (Hempel et al. 1948). Außerdem besteht ein Problem dieses Erklärmodells darin, dass sich nicht alle Beobachtungen und Phänomene auf ein allgemeingültiges Prinzip zurückführen lassen (Hempel et al. 1948; Bartelborth 2007, S. 23 ff.). Bartelborth (2007) verdeutlicht dies an der Beobachtung, dass alle Birnen in einem Korb süß sind. Diese Beobachtung lässt sich nicht ohne weiteres auf ein Naturgesetz zurückführen (Bartelborth 2007, S. 23 ff.).

Wie bereits eingangs erwähnt, spiegelt dieser Erkläransatz in erster Linie das wissenschaftliche Verständnis einer Erklärung wider (Bartelborth 2007, S. 10 ff.). Allerdings wird auch bei Unterrichtserklärungen versucht, eine Beobachtung auf ein allgemeines Prinzip zurückzuführen, sodass sich dieses Modell grundsätzlich auch im Unterricht einsetzen lässt (Kulgemeyer 2016). Im Zusammenhang mit Unterricht besteht jedoch der gravierende Unterschied der Adressatengerechtigkeit einer Erklärung. Diese bleibt bei der deduktiven Erklärung nach Hempel und Oppenheim (1948) unberücksichtigt. Dabei besteht durchaus die Möglichkeit, dass die strenge logische

Rückführung eines Phänomens auf ein Prinzip zwar aus wissenschaftlicher Sicht nachvollziehbar, für die Lernenden jedoch gar nicht verständlich ist (Kulgemeyer 2016). Bei der Durchführung einer Lehrererklärung anhand dieses Schemas ist also zusätzlich zur logischen Rückführung die adressatengemäße Komponente guten Erklärens zu beachten (Kulgemeyer 2016). Für die konkrete Struktur einer Lehrererklärung nach dem Konzept der deduktiv-nomologischen Erklärung bedeutet dies, dass die Lehrkraft zunächst die zu erklärende Beobachtung präsentiert. Anschließend erklärt sie das dahinterliegende allgemeine Prinzip und macht das Ziel der Erklärung deutlich (Seidel et al. 2013). Im Verlaufe der Erklärung gibt der Erklärende unterstützende Informationen zum Verständnis des Prinzips (Seidel et al. 2013). Dies kann im Sinne der Kriterien guter Erklärungen exemplarisch durch Beispiele weiterer Phänomene, bei denen das Prinzip auftritt, erfolgen oder auch durch die Verwendung entsprechender Analogien. Dies soll die logische Zurückführung des Phänomens auf das allgemeine Prinzip auch für die Lernenden verständlich machen.

Da sich jedoch nicht alle im Unterricht zu erklärenden Prinzipien auf ein allgemeineres Prinzip zurückführen lassen, das Erklären dieser Prinzipien jedoch im Unterricht allgegenwärtig ist, findet man im Unterricht oft eine andere Struktur des Erklärprozesses vor (Kulgemeyer 2016). Diese Struktur soll im Folgenden näher erläutert werden.

1.4.2 Der induktive Erkläransatz

Wie in Kap. 1.4.1 bereits angedeutet, kommt es im Unterricht mitunter zu Situationen, in denen sich ein Phänomen nicht ohne weiteres auf ein allgemeines Prinzip zurückführen lässt. Kulgemeyer (2016) verdeutlicht dies am Beispiel des dritten Newtonschen Axioms. Eine Erklärung nach dem deduktiven Erkläransatz ist nicht möglich, da kein noch allgemeineres Prinzip existiert, auf welches das dritte Newtonsche Axiom zurückgeführt werden könnte (Kulgemeyer 2016). In solchen Fällen erfolgt die Erklärung im Unterricht oftmals nach einem anderen Ansatz. Es wird nicht die Beobachtung auf das Prinzip zurückgeführt, sondern es wird versucht, das Prinzip zu erklären, indem verschiedene Beispiele genannt werden, welche die Gültigkeit des Prinzips zeigen (Kulgemeyer 2016). Es werden nach dieser Strategie verschiedene Beobachtungen oder Beispiele zu einem allgemeinen Prinzip zusammengeführt. Dies ist als induktiver Erkläransatz zu verstehen. Prinzipiell wird bei der induktiven Erklärstrategie somit versucht, mehrere Beobachtungen zu einem allgemeingültigen

Prinzip zusammenzufassen. Dieses Vorgehen unterscheidet den induktiven Erkläransatz grundlegend vom deduktiven Erkläransatz. Die Struktur des induktiven Erkläransatzes soll am eingangs erwähnten Beispiel des dritten newtonschen Axioms verdeutlicht werden (siehe Abb. 3).

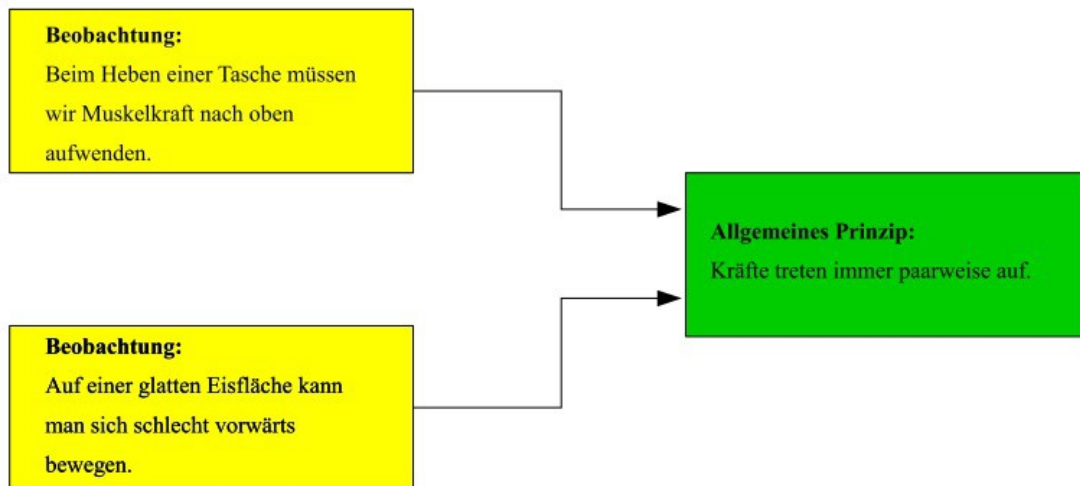


Abb. 3: Veranschaulichung des induktiven Erkläransatzes am Beispiel des dritten newtonschen Axioms

Führen wir exemplarisch zwei aus dem Alltag bekannte Beobachtungen an. Zum einen lässt sich spüren, dass zum Heben einer Tasche eine Muskelkraft nach oben aufgewendet werden muss. Eine zweite Beobachtung findet sich im Winter, wo es oftmals schwer fällt, sich auf glatten Eisflächen fortzubewegen. Es ließen sich hier noch weitaus mehr Beispiele finden, welche die Gültigkeit des dritten Newtonschen Axioms anschaulich zeigen. Im Sinne des induktiven Erkläransatzes wird nun versucht, diese beiden Beispiele zu einem allgemeingültigen Prinzip zusammenzuführen. Das den beiden Beobachtungen zugrundeliegende Prinzip wäre in diesem Fall das dritte Newtonsche Axiom. Bei dem konkreten Vorgehen im Unterricht würden den Lernenden somit zu Beginn der Erklärung unterstützende Informationen in Form von Beobachtungen oder Beispielen präsentiert werden, ehe daraus im späterem Verlauf der Erklärung auf das allgemeine Prinzip geschlossen wird (Seidel et al. 2013). Im Gegensatz zur deduktiven Methode wird den Schülerinnen und Schülern hier also am Anfang nicht deutlich gemacht, welches Ziel die Erklärung verfolgt. Dies führt dazu, dass die Erklärung für die Schülerinnen und Schüler zu Beginn eine sehr viel komplexere Struktur aufweist als bei der deduktiven Methode, da die Struktur hinter der Erklärung, der rote Faden, für sie nicht ersichtlich ist (Seidel et al. 2013).

1.5 Bisheriger Stand der Forschung

Wie im vorherigen Abschnitt deutlich wird, erfüllen sowohl induktive als auch deduktive Erkläransätze Kriterien guter Erklärungen. Aus theoretischer Sicht haben somit beide ihre Berechtigung für die Anwendung im Unterricht. In diesem Abschnitt soll daher der bisherige Forschungsstand zur Wirksamkeit von induktiven und deduktiven Erkläransätzen im Lernprozess kurz zusammengefasst werden. Hierzu lässt sich zunächst feststellen, dass sich insgesamt nur sehr wenige Studien mit der Erklärung im Unterricht beschäftigen (Geelan 2012). Noch dünner wird die Forschungslage, wenn konkret die Wirksamkeit von Lehrerklärungen untersucht werden soll (Seidel et al. 2013). Die meisten Studien zu Unterrichtserklärungen setzen sich eher mit Rolle der Erklärung im Unterricht auseinander als mit dessen Wirkung (Kulgemeyer et al. 2015; Geelan 2012).

In bisherigen Studien wird beispielsweise die Bedeutung der wissenschaftlichen Erklärung und der Zusammenhang zwischen wissenschaftlichen Erklärungen und Alltagserklärungen untersucht (McNeill und Krajcik 2008). Allgemein können instruktionale Erklärungen durchaus einen positiven Effekt im Lernprozess bei den Schülerinnen und Schülern bewirken (Geelan 2012), auch wenn der Selbsterklärung durch die Lernenden in der Literatur ein größerer Lerneffekt zugeschrieben wird (Renkl et al. 2006; Webb 1992). Im Bezug zur Lehrerklärung zeigen Studien außerdem, dass das Konzept hinter einer Erklärung eine zentrale Rolle im Lernprozess der Lernenden spielt (Wittwer et al. 2008). Diese Erkenntnis macht eine tiefgründigere Forschung im Feld verschiedener Erklärkonzepte notwendig. Die bisherige Forschung zu Erklärkonzepten beschäftigt sich vor allem mit der Bedeutung der Lernvoraussetzungen für die Bedeutung des Erklärkonzeptes (Renkl et al. 2006). In diesem Zusammenhang bestätigt die bisherige Forschung die in Kap. 1.3 beschriebene These, dass die Berücksichtigung der Lernvoraussetzungen ein entscheidendes Kriterium für die Wirksamkeit einer Erklärung darstellt (Renkl 2002; Shulman 1986).

Der konkrete Effekt des Einsatzes verschiedener Erklärkonzepte auf den Lernprozess wird von Seidel, Blomberg und Renkl (2008) untersucht. In einer Studie mit Lehramtstudierenden untersuchen sie den Effekt des Einbettens von Videos in instruktionale Erklärungen. In einer Durchführung nutzen sie ein Video zur Illustration des erklärten Sachverhaltes (rule-example-strategy). In einer weiteren Untersuchung stellt ein Video dagegen den Kern der Erklärung dar (example-rule strategy) (Seidel et

al. 2013). Bei genauerer Betrachtung lässt sich feststellen, dass sich die *rule-example-strategy* dem deduktiven Erkläransatz zuordnen lässt, während sich die *example-rule-strategy* als induktiver Erkläransatz verstehen lässt. Die Studie zeigt, dass die Wahl des Erkläransatzes einen Einfluss auf den Erwerb von Kompetenzen aus unterschiedlichen Bereichen hat (Seidel et al. 2013). Bei beiden gewählten Erkläransätzen waren die Lernenden am Ende in der Lage Faktenwissen zu reproduzieren, beim deduktiven Ansatz lässt sich jedoch beobachten, dass zusätzlich die Anwendung und der Transfer des erlangten Wissens auf andere Situationen gefördert wird (Seidel et al. 2013).

Mayer und Jackson (2005) finden zudem heraus, dass die Anordnung und Organisation verschiedener Elemente in einer Erklärung entscheidenden Einfluss auf den Lernprozess hat (Mayer und Jackson 2005; Geelan 2012). Ihre Studie führen Mayer und Jackson (2005) mit zwei Gruppen durch. In einer Gruppe wird den Probanden der Sachverhalt in Form eines Booklets mit Text und veranschaulichenden Illustrationen qualitativ erklärt. Die andere Gruppe erhält eine ausführlichere Form des Booklets, indem die Erklärung des Phänomens durch zusätzliche Illustrationen und quantitative Gleichungen ergänzt wird (Mayer et al. 2005). Das zentrale Ergebnis dieser Studie besteht darin, dass die Probanden, welche zusätzliche Illustrationen und quantitative Gleichungen präsentiert bekommen, am Ende ein weniger ausgeprägtes qualitatives Verständnis des Phänomens aufweisen, als die Gruppe, die nur qualitative Informationen zur Verfügung hatte (Mayer et al. 2005; Geelan 2012). Dies legt den Schluss nahe, dass die Verwendung und Anordnung verschiedener Elemente in einer Erklärung einen Einfluss auf das qualitative Verständnis des Phänomens hat (Geelan 2012). Bei der von Mayer und Jackson (2005) durchgeführten Studie handelt es sich jedoch nicht um eine instruktionale Erklärung, vielmehr erarbeiten sich die Probanden das Verständnis selbstständig anhand des Booklets. Offen bleibt daher, ob die Verwendung und Anordnung verschiedener Elemente in der Erklärung auch bei instruktionalen Erklärungen einen Einfluss auf das qualitative Verständnis des Phänomens hat.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass sich die bisherige Forschung zu Erklärkonzepten sehr stark auf den Zusammenhang zwischen dem Vorwissen der Lerngruppe und dem Konzept der Erklärung konzentriert (Wittwer et al. 2008). Offen bleibt daher, welche Bedeutung andere Aspekte, wie kognitive Fähigkeiten, Interessen oder die Motivation einer Lerngruppe, für die Konzeption der Erklärung haben (Wittwer et al. 2008). Die zukünftige Forschung sollte daher verstärkt auf den Zusammenhang zwischen verschiedenen Aspekten einer Erklärung und ihrer Bedeutung für den Lernprozess eingehen (Wittwer et al. 2008). Weiterhin bleibt bei der Untersuchung verschiedener

Erkläransätze der Einfluss der Zielgruppe offen. Bezogen auf deduktive und induktive Erkläransätze wurde die Untersuchung mit Studierenden durchgeführt. Künftige Forschung sollte sich daher damit befassen, inwiefern sich unterschiedliche Erklärstrategien beispielsweise auf den Lerneffekt bei Schülerinnen und Schülern auswirken.

2 Methodik

2.1 Entwicklung der Forschungsfrage

Auf Grundlage der in Kap. 1 zusammengetragenen bisherigen Forschungsergebnisse zu Unterrichtserklärungen steht im Rahmen dieser Masterarbeit die Untersuchung des Einflusses induktiver und deduktiver Erkläransätze auf den Lerneffekt bei Schülerinnen und Schülern im Vordergrund. Während Wittwer et al. (2008) die Bedeutung verschiedener Erkläransätze für den Lernprozess bei Studierenden untersuchten, wird die vorliegende Studie mit Schülerinnen und Schülern durchgeführt. Es wird demnach bezüglich vorheriger Studien die Zielgruppe variiert. Konkret soll sich mit dem Zuwachs des Fachwissens in Abhängigkeit vom gewähltem Erkläransatz bei Schülerinnen und Schülern auseinandergesetzt werden.

Dies führt zur zentralen Forschungsfrage dieser Masterarbeit, welche sich damit beschäftigt, inwiefern die Form eines induktiven oder deduktiven Erkläransatzes einen Einfluss auf den Wissenserwerb bei Schülerinnen und Schülern hat. Im Gegensatz zu vorherigen Studien wird im Zuge dieser Masterarbeit die Variable des Vorwissens der Lerngruppe eliminiert, sodass konkrete Aussagen über den tatsächlichen Lernzuwachs möglich sind. Um allgemeinere Aussagen über die Abhängigkeit zwischen gewähltem Erkläransatz und dem Lernzuwachs treffen zu können, wird die Untersuchung zudem mit zwei verschiedenen physikalischen Themen durchgeführt. Hiermit soll überprüft werden, ob die gewonnenen Erkenntnisse unabhängig vom Thema der Erklärung sind oder ob das Thema der Erklärung möglicherweise ein entscheidender Aspekt ist, welchen es bei der Wahl des Erkläransatzes zu berücksichtigen gilt.

2.2 Design der Studie

Die im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführte empirische Untersuchung wird mit vier unterschiedlichen Lerngruppen durchgeführt. Dabei handelt es sich um zwei achte Klassen einer Oberschule und zwei Physikkurse aus der Einführungsphase der gymnasialen Oberstufe. Das prinzipielle Vorgehen der Erprobung ist in Abb. 4 veranschaulicht.

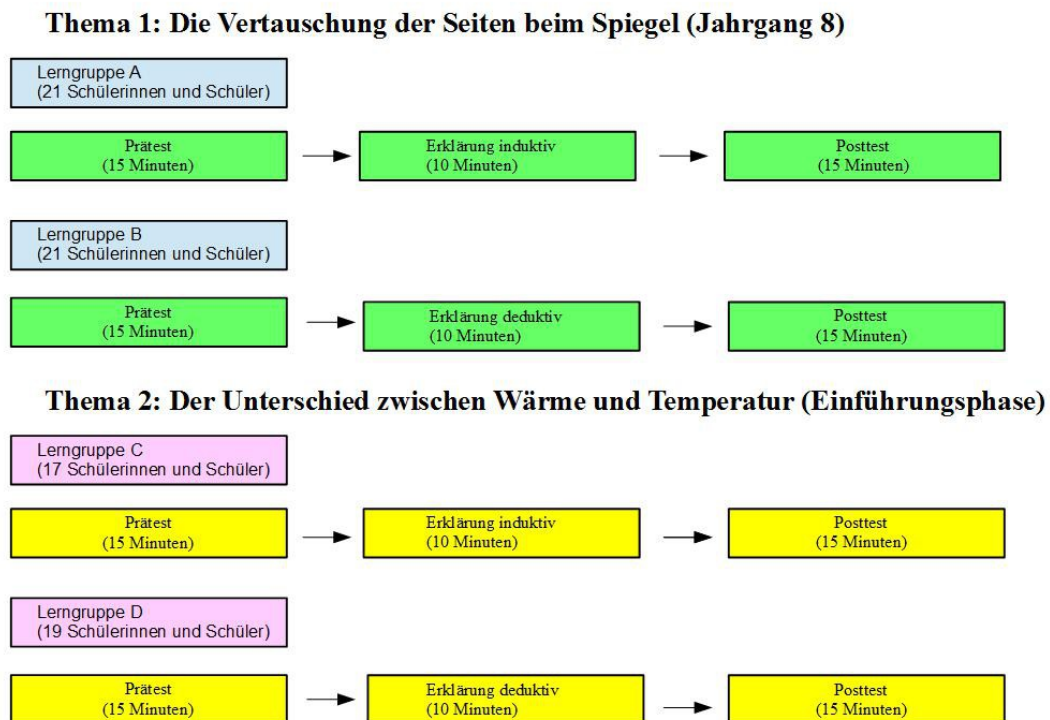


Abb. 4: Prinzipielles Vorgehen bei der empirischen Datenerhebung

In den beiden Lerngruppen des achten Jahrgangs wird den Schülerinnen und Schülern das Phänomen der Vertauschung der Seiten beim Spiegel in Form einer instruktionalen Lehrererklärung verdeutlicht. Beide Klassen bestehen jeweils aus 21 Schülerinnen und Schülern. Die Erklärung folgt dabei in einer der Klassen nach dem induktiven Vorgehen, während das identische Phänomen der parallelen Lerngruppe nach dem deduktiven Erkläransatz näher gebracht wird. Analog ist das Vorgehen in den beiden Physikkursen der Einführungsphase. Der Unterschied besteht darin, dass den Schülerinnen und Schülern hier der physikalische Unterschied zwischen Wärme und Temperatur erklärt wird. Die Kurse der Einführungsphase bestehen aus 17 bzw. 19 Schülerinnen und Schülern. Auch hier wird die Erklärung des Phänomens in einem Kurs nach dem induktiven Erklärkonzept durchgeführt, während die Durchführung der Erklärung im

Parallelkurs dem deduktiven Erkläransatz folgt. Die beiden Untersuchungen unterscheiden sich demnach im Thema der Erklärung. Beide Themen eignen sich dadurch, dass sie wenig bis gar kein Vorwissen für das Verständnis erfordern. Zudem lassen sich in der Literatur konkrete Hinweise zu Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten in diesen Bereichen finden (Wiesner et al. 2011, S. 40 ff.). Auf dieser Grundlage lässt sich das Erklärkonzept konzipieren. Ein weiterer entscheidender Punkt ist, dass beiden Themen ein allgemeines physikalisches Prinzip zugrunde liegt. Die Erklärungen sind jeweils so konzipiert, dass sie etwa zehn Minuten dauern. Vor der Durchführung der instruktionalen Erklärung wird jeweils ein 15-minütiger Prätest durchgeführt. Dieser dient dazu, ein möglicherweise unterschiedliches Vorwissen der Lerngruppen bei der Auswertung berücksichtigen zu können.

Der Prätest für die beiden Klassen des achten Jahrgangs ist identisch und besteht aus fünf Multiple-Choice-Fragen mit jeweils vier Antwortmöglichkeiten, von denen jeweils eine richtig ist. Der Prätest für die beiden Kurse der Einführungsphase ist ebenfalls identisch und besteht aus sechs Multiple-Choice-Fragen mit jeweils vier Antwortmöglichkeiten, von denen jeweils eine richtig ist. Die Fragen des Prätests beziehen sich auf die fachlichen Inhalte der Erklärungen. Im Anschluss an die Durchführung der Erklärung erfolgt ein Posttest. Die Multiple-Choice-Fragen des Posttests unterscheiden sich nicht von denen des Prätests. Im Posttest ist jedoch zusätzlich eine Freitextaufgabe integriert, in welcher die Schülerinnen und Schüler aufgefordert werden die wesentlichen Inhalte der Erklärung wiederzugeben. Um die Posttests für die Auswertung später den zugehörigen Prätests zuordnen zu können, wird von den Schülerinnen und Schülern ein Code generiert, welcher aus dem ersten Buchstaben des Vornamens der Mutter, dem ersten Buchstaben des Vornamens des Vaters, dem ersten Buchstaben der Straße, in welcher die Schülerinnen und Schüler wohnhaft sind, und der letzten Ziffer des Geburtsmonates besteht. Mit Hilfe des Prä-Posttest-Verfahrens und des Codes lässt sich später für jeden Lernenden der individuelle Zuwachs des Fachwissens durch die Lehrererklärung in Abhängigkeit vom Erkläransatz ermitteln. Das Vorwissen wird somit als Variable eliminiert.

Zusätzlich wird das Sach- und Fachinteresse der Schülerinnen und Schüler erhoben, um dies später bei der Diskussion berücksichtigen zu können. Weiterhin werden die Vornoten in den Fächern Naturwissenschaften bzw. Physik, Deutsch und Mathematik erfasst, um eine möglicherweise unterschiedliche Leistungsstärke zwischen den Lerngruppen in die Auswertung einzubeziehen.

2.3 Konzeption der Erklärungen

2.3.1 *Die Vertauschung der Seiten beim Spiegelbild*

2.3.1.1 Erklärung nach dem induktiven Erkläransatz

Zum Einstieg wird den Schülerinnen und Schülern eine Konversation zwischen zwei Kindern beim Zähneputzen präsentiert. Eines der Kinder wundert sich, warum es sich im Spiegel scheinbar mit der linken Hand die Zähne putzt, wobei es sich diese eigentlich mit der rechten Hand putzt. Das andere Kind entgegnet daraufhin, dass das Bild im Spiegel spiegelverkehrt sei und rechts und links im Spiegelbild vertauscht seien. Hiermit sollen die Schülerinnen und Schüler kognitiv aktiviert und für das Thema der Erklärung sensibilisiert werden. Die Schülerinnen und Schüler sollen zudem in ihrem Alltag abgeholt werden. Dies ist aus lernpsychologischer Sicht notwendig, damit die Physik zum aktiven Gedankengut bei den Schülerinnen und Schülern wird. Dies gelingt nur, wenn Schülerinnen und Schüler physikalische Aussagen für wahr im Sinne ihrer Alltagserfahrungen halten (Schoen 1994). Die Konversation wird den Schülerinnen und Schülern mit Hilfe einer PowerPoint-Folie präsentiert. Die verwendeten PowerPoint-Folien sind im Anhang dieser Arbeit zu finden (s. Anhang C). Bei den Schülerinnen und Schülern wird anhand dieser authentischen Situation zudem die bekannte Fehlvorstellung aktiviert, dass bei einem Spiegel rechts und links vertauscht werden (Wiesner et al. 2011, S. 40; Schoen 1994; Wiesner 1995). Anschließend soll den Schülerinnen und Schülern am Beispiel des Spiegelbildes eines Pfeils gezeigt werden, dass bei einem Spiegel nicht rechts und links vertauscht werden. Ein Pfeil, der nach rechts zeigt, zeigt auch im Spiegel nach rechts (Beobachtung 1).

Diese erste Beobachtung soll bei den Schülerinnen und Schülern einen kognitiven Konflikt hervorrufen, indem diese Beobachtung nicht mit ihrer bisher bekannten Vorstellung vereinbar ist. Es soll somit eine Vernetzung zwischen bisherigem Wissen und neuem Wissen bei den Lernenden generiert werden (Limon 2001; Dreyfus et al. 1990). Zudem soll die Frage aufgeworfen werden, was denn dann beim Spiegel vertauscht wird bzw. ob ein Spiegel überhaupt etwas vertauscht, wenn rechts und links offensichtlich nicht vertauscht werden. Dazu wird den Schülerinnen und Schülern ein Bild präsentiert, in welchem sich eindeutig erkennen lässt, dass Vorder- und Rückseite (vorne und hinten) beim Spiegel vertauscht werden (Beobachtung 2). Aufbauend auf dieser zweiten Beobachtung, wird ein Rückbezug zur Ausgangssituation beim

Zähneputzen vor dem Spiegel hergestellt. Die Frage, die sich aus den beiden Beobachtungen ergibt lautet: „Inwiefern sind diese beiden Beobachtungen mit der Ausgangssituation beim Zähneputzen vereinbar, welche diesen beiden Beobachtungen scheinbar widerspricht?“ Warum putzt sich unser Spiegelbild die Zähne mit der linken Hand, wenn wir sie doch mit der rechten Hand putzen? Die beiden Beobachtungen werden nachfolgend zu einem grundlegenden Prinzip zusammengeführt.

Soll das Geheimnis hinter dem Spiegelbild gelüftet werden, muss sich zunächst klargemacht werden, wo sich die Spiegelachse befindet. Eine Vertauschung von links und rechts entspricht dabei einer Spiegelung an der vertikalen Achse, während eine Vertauschung von oben und unten einer Spiegelung an der horizontalen Achse entspricht (Halliday und Resnick 1994, S. 1287 ff.). Beides lässt sich beim Spiegel nicht beobachten. Beim Spiegel befindet sich die Spiegelachse von oben betrachtet auf dem Spiegel (Schoen 1994). Dies entspricht einer Vertauschung von vorne und hinten oder besser gesagt einer Vertauschung von Vorder- und Rückseite (Winkelmann 2014, S. 35 f.). Der Grund, warum trotzdem die Vorstellung entsteht, dass ein Spiegel links und rechts vertauscht, findet im Kopf statt. Für das Gehirn ist die Begegnung mit dem Spiegelbild zunächst nicht von einer Begegnung mit einem anderen Menschen zu unterscheiden. Dabei ist der Mensch in der Lage, sich in fremde Perspektiven hinein zu versetzen. Das Gehirn versetzt sich automatisch in die Perspektive der zugewandten Person. Um sich in die Perspektive der anderen Person hineinzusetzen, wird sich einmal um 180° um die eigene vertikale Achse gedreht. Diese Drehung führt das Gehirn ganz automatisch aus, da es für dieses allgegenwärtig ist, dass sich der Mensch um die eigene vertikale Achse dreht. Bei dieser Drehung werden allerdings links und rechts vertauscht, sodass die Meinung entsteht, der Spiegel vertauscht links und rechts, dabei ist es eigentlich das Gehirn, das links und rechts durch diese gedankliche Drehung vertauscht (Schoen 1994).

Dies wird den Schülerinnen und Schülern anhand eines kurzen Videos verdeutlicht. Mit Hilfe des Videos soll den Schülerinnen und Schülern klargemacht werden, dass zwar eine gedankliche Drehung um 180° um die eigene vertikale Achse stattfindet, die Gegenstände, die sich in der Umgebung befinden, aber fest an ihrem Ort bleiben. Dadurch sind alle Gegenstände, die sich vorher links von befinden, nach der gedanklichen Drehung rechts und umgekehrt. Aufgrund dieser Tatsache ist neben der gedanklichen Drehung noch eine Spiegelung von rechts und links nötig, um die Situation nach der gedanklichen Drehung mit der tatsächlichen Erscheinung im Spiegel in Einklang zu bringen. Auf mathematischer Ebene wird die Spiegelung des Spiegels,

welche eine Vertauschung von Vorder- und Rückseite zur Folge hat, durch eine unterbewusste 180°-Drehung um die eigene vertikale Achse und eine Spiegelung von links und rechts ersetzt. An dieser Stelle sei angemerkt, dass zur mathematisch korrekten Beschreibung der hier geschilderten Vorgänge Kenntnisse über Matrizen und Drehmatrizen nötig sind. Hierauf wird allerdings im Sinne der didaktischen Reduktion bei der Erklärung nicht eingegangen, da es sich bei der Lerngruppe um eine Klasse aus dem achten Jahrgang handelt.

Abschließend werden die zentralen Erkenntnisse noch einmal zusammengefasst, um das Lernziel der Erklärung zu sichern und einen Konzeptwechsel bei den Lernenden zu bewirken (Duit und Treagust 2003):

- Ein Spiegel vertauscht nicht links und rechts, er vertauscht vorne und hinten.
- Die Vertauschung von links und rechts entsteht durch eine 180°-Drehung um die eigene vertikale Achse, sowie eine anschließende Spiegelung von links und rechts.
- Diese Drehung führt das Gehirn ganz automatisch aus, wenn es sich in die Perspektive einer anderen Person hinein versetzt.
- Das Gehirn vertauscht demnach rechts und links, sodass die fehlerhafte Vorstellung entsteht, der Spiegel würde rechts und links vertauschen.

2.3.1.2 Erklärung nach dem deduktiven Erkläransatz

Analog zur Erklärung nach dem induktiven Vorgehen erfolgt der Einstieg mit Hilfe der Präsentation einer Konversation zweier Kinder beim Zähneputzen. Die verwendete Situation ist identisch mit der beim induktiven Vorgehen verwendeten Situation. Das Ziel besteht auch darin, die Schülerinnen und Schüler zunächst kognitiv zu aktivieren und für das Thema der Erklärung zu sensibilisieren. Ebenso soll hiermit an die Vorerfahrungen aus der Alltagswelt der Schülerinnen und Schüler angeschlossen werden. Diesem Einstieg liegen die gleichen lernpsychologischen Überlegungen zugrunde, welche im vorherigen Abschnitt ausführlich erläutert wurden (Schoen 1994). Zusätzlich wird somit auch hier bei den Schülerinnen und Schülern die bekannte Schülervorstellung aktiviert, dass ein Spiegel links und rechts vertauscht (Wiesner et al. 2011, S. 40; Schoen 1994; Wiesner 1995). Im Anschluss an diesen Einstieg wird den Schülerinnen und Schülern das physikalische Prinzip des Spiegelbildes erklärt. Zunächst wird dabei auf die Lage der Spiegelachse beim Spiegel eingegangen. Den

Schülerinnen und Schülern wird klargemacht, dass eine Vertauschung von links und rechts einer Spiegelung an der vertikalen Achse entspricht, während eine Vertauschung von oben und unten einer Spiegelung an der horizontalen Achse entspricht (Halliday et al. 1994, S. 1287 ff.). Beides ist jedoch beim Spiegel nicht der Fall. Vielmehr befindet sich die Spiegelachse von oben betrachtet auf dem Spiegel. Dies bedeutet für die Spiegelung eine Vertauschung von vorne und hinten, oder vielmehr eine Vertauschung von Vorder- und Rückseite (Winkelmann 2014, S. 35 f.).

Bei den Schülerinnen und Schülern sorgt dies für einen kognitiven Konflikt, da diese Erkenntnis der Vorstellung der Vertauschung von links und rechts widerspricht. Zusätzlich zu diesen physikalischen Überlegungen ist es daher notwendig, zu berücksichtigen, welche Vorgänge bei der Begegnung mit dem Spiegelbild im Gehirn ablaufen, um die Beobachtung vom Einstieg verstehen zu können. Das Gehirn setzt die Begegnung mit dem Spiegelbild der Begegnung mit einer zugewandten Person gleich. Das menschliche Gehirn ist dabei in der Lage sich in die Perspektive dieser zugewandten Person hineinzusetzen. Um diese Perspektive einnehmen zu können ist eine 180°-Drehung um die eigene vertikale Achse notwendig. Diese Drehung findet ganz automatisch und unterbewusst statt, da es sich dabei für das Gehirn um eine alltägliche Situation handelt. Bei dieser gedanklichen Drehung werden allerdings links und rechts vertauscht. Dies wird den Schülerinnen und Schülern anhand eines kurzen Videos verdeutlicht. Mit Hilfe des Videos soll den Schülerinnen und Schülern klargemacht werden, dass zwar eine gedankliche Drehung um 180° stattfindet, die Gegenstände, die sich in der Umgebung befinden, aber fest an ihrem Ort bleiben. Dadurch sind alle Gegenstände, die sich vorher links befinden, nach der gedanklichen Drehung rechts und umgekehrt.

Aufgrund dieser Tatsache ist neben der gedanklichen Drehung noch eine Spiegelung von rechts und links nötig, um die Situation nach der gedanklichen Drehung mit der tatsächlichen Erscheinung im Spiegel in Einklang zu bringen. Auf mathematischer Ebene wird die Spiegelung des Spiegels, welche eine Vertauschung von Vorder- und Rückseite zur Folge hat, durch eine unterbewusste 180°-Drehung um die eigene vertikale Achse und eine Spiegelung von links und rechts ersetzt (Schoen 1994). Analog zur Erklärung des Phänomens nach dem induktiven Erkläransatz wird auf eine mathematisch exakte Beschreibung der Vorgänge anhand von Matrizen und Drehmatrizen an dieser Stelle im Sinne der didaktischen Reduktion verzichtet. Abschließend werden auch hier die zentralen Erkenntnisse noch einmal

zusammengefasst, um das Lernziel der Erklärung zu sichern und einen Konzeptwechsel bei den Lernenden zu bewirken (Duit et al. 2003):

- Ein Spiegel vertauscht nicht links und rechts, er vertauscht vorne und hinten.
- Die Vertauschung von links und rechts entsteht durch eine 180°-Drehung um die eigene vertikale Achse, sowie eine anschließende Spiegelung von links und rechts.
- Diese Drehung führt das Gehirn ganz automatisch aus, wenn es sich in die Perspektive einer anderen Person hinein versetzt.
- Das Gehirn vertauscht demnach rechts und links, sodass die fehlerhafte Vorstellung entsteht, der Spiegel würde rechts und links vertauschen.

Um die hier theoretisch dargelegten Vorgänge bei der Begegnung mit dem Spiegelbild für die Schülerinnen und Schüler anschaulicher zu gestalten, wird die beschriebene Situation an zwei Beispielen illustriert. Dazu wird zunächst das Spiegelbild eines Pfeils betrachtet, welcher nach rechts zeigt. Ein Pfeil, der im realen Bild nach rechts zeigt, zeigt auch im Spiegelbild nach rechts. Dieses Beispiel zeigt, dass ein Spiegel nicht rechts und links vertauscht und ruft somit einen kognitiven Konflikt bei den Lernenden hervor, da diese Erkenntnis ihren bisherigen Alltagserfahrungen widerspricht. Anschließend soll den Schülerinnen und Schülern anhand eines zweiten Beispiels verdeutlicht werden, dass bei einem Spiegel stattdessen vorne und hinten vertauscht werden. Dazu wird ein Bild verwendet, welches im realen Bild die Rückseite einer Gruppe von Figuren zeigt. Im Spiegelbild sieht man jedoch, dass die Figuren zum Betrachter hin ausgerichtet sind. Es zeigt demnach deutlich, dass hier offenbar Vorder- und Rückseite durch den Spiegel vertauscht werden.

Anhand dieser beiden Beispiele soll der Konzeptwechsel bei den Lernenden erleichtert werden (Duit et al. 2003). Die alternative Vorstellung, dass ein Spiegel rechts und links vertauscht, soll durch die physikalische Tatsache ersetzt werden, dass durch einen Spiegel vorne und hinten vertauscht werden.

2.3.1.3 Gegenüberstellung der Erkläransätze

Im Folgenden werden die vorhergehend skizzierten Erklärkonzepte hinsichtlich der in Kap. 1 angeführten Kriterien guter Erklärungen analysiert und gegenübergestellt. Eine

übersichtliche Darstellung, inwiefern sich Kriterien guter Erklärungen in den Erklärkonzepten wiederfinden lassen, ist in Tab. 1 dargestellt. Es lässt sich feststellen, dass die entwickelten Erklärkonzepte sich überwiegend in ihrer Struktur und der Anordnung der einzelnen Elemente unterscheiden. Bewusst liegen beiden Erklärkonzepten grundlegend identische didaktische Überlegungen zugrunde, um eine Vergleichbarkeit der Erklärkonzepte zu gewährleisten. Anhand dieser didaktischen Überlegungen und der Berücksichtigung Aspekte guter Erklärungen aus der Literatur lassen sich aus wissenschaftlicher Sicht nach beiden Konzepten Lernzuwächse bei den Lernenden durch die Erklärung erwarten. So werden in beiden Erkläransätzen die Schülerinnen und Schüler zunächst kognitiv aktiviert.

Der entscheidende Unterschied zwischen den beiden Erklärkonzepten findet sich im Anschluss daran. Beim induktiven Erkläransatz werden den Schülerinnen und Schülern hier zunächst verschiedene Beobachtungen präsentiert. Beim deduktiven Erkläransatz dagegen folgt direkt der physikalische Gegenstand der Erklärung. Gleichwohl beiden Erklärkonzepten eine klare Struktur zugrunde liegt, ist der rote Faden für die Schülerinnen und Schüler hierdurch leichter erkennbar. Das Thema der Erklärung wird ihnen gleich zu Beginn transparent gemacht. Beim induktiven Erkläransatz wird den Schülerinnen und Schülern an dieser Stelle das physikalische Prinzip, welches den Gegenstand der Erklärung darstellt, noch nicht deutlich.

Ein weiterer Punkt, an welchem sich die beiden Erkläransätze unterscheiden, betrifft die Verwendung von Beispielen und Analogien. Während das physikalische Grundprinzip der Erklärung im deduktiven Erklärkonzept im Anschluss an diese durch Beispiele verdeutlicht und veranschaulicht wird, werden die Beispiele im induktiven Erkläransatz der Erklärung vorweg genommen. Die Beispiele treten hier in Form von Beobachtungen auf, welche nachfolgend zu einem physikalischen Grundprinzip zusammengeführt werden, ehe dieses Prinzip erklärt wird.

Tab. 1: Tabellarische Übersicht der Erklärkonzepte zum Spiegel hinsichtlich der Berücksichtigung Elemente guter Erklärungen

Merkmal	Induktiver Erkläransatz	Deduktiver Erkläransatz
Kognitive Aktivierung	Alltagssituation „Zähne putzen vor dem Spiegel“	Alltagssituation „Zähne putzen vor dem Spiegel“
Klare Struktur / Transparenz (roter Faden)	Verschiedene, einzelne Beobachtungen werden zu einem Grundprinzip zusammengeführt.	Direkt nach dem Einstieg wird den Schülerinnen und Schülern der Gegenstand der Erklärung deutlich gemacht.
Berücksichtigung des Vorwissens	Bezug zu Alltagserfahrungen und Schülervorstellungen	Bezug zu Alltagserfahrungen und Schülervorstellungen
Logischer Bezug zwischen Beobachtung und Phänomen	Wiederholte Rückbezüge zur Einstiegssituation	Wiederholte Rückbezüge zur Einstiegssituation
Verwendung von Beispielen und Analogien	Beispiele, in Form von Beobachtungen	Das erklärte Phänomen wird im Anschluss durch Beispiele veranschaulicht
Anpassung der Sprachebene	Umschreibung von Fachbegriffen	Umschreibung von Fachbegriffen
Anpassung des Mathematisierungsgrades	Rein qualitative Betrachtung des Phänomens	Rein qualitative Betrachtung des Phänomens
Verwendung vielfältiger Darstellungsformen	Verwendung von Videos, Grafiken, Abbildungen und PowerPoint-Folien	Verwendung von Videos, Grafiken, Abbildungen und PowerPoint-Folien
Betonung und Sicherung zentraler Aspekte	Sicherung der zentralen Aspekte am Ende der Erklärung in Form einer Zusammenfassung	Sicherung der zentralen Aspekte am Ende der Erklärung in Form einer Zusammenfassung

2.3.2 *Der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur*

2.3.2.1 Erklärung nach dem induktiven Erkläransatz

Zum Einstieg wird den Schülerinnen und Schülern die Konversation zwischen einer Frau und einem Mann präsentiert, die sich im Sommer am Strand befinden. Einer der beiden hat eine kalte Cola neben sich stehen. Die Frau weist den Mann darauf hin, dass man die Cola besser schnell austrinken solle, da sie sonst schnell warm werde bei dem Wetter. Der Mann entgegnet darauf, dass es ja nur knapp über 20°C seien, was nicht übermäßig warm wäre. Dieser Einstieg dient der kognitiven Aktivierung der Lernenden, da dies eine für sie aus dem Alltag bekannte Situation darstellt. Die Schülerinnen und Schüler sollen somit für das Thema der Erklärung sensibilisiert und in ihrem Alltag abgeholt werden (Schoen 1994).

Im Anschluss an diesen Einstieg wird den Schülerinnen und Schülern mit Hilfe eines einfachen Experiments deutlich gemacht, was sich tatsächlich verändert, wenn wir im Alltag davon sprechen, dass die Cola warm wird. Dazu wird mit einem Thermometer die Temperatur einer Cola gemessen, welche über Nacht in einem Kühlschrank gelagert wurde. Es lässt sich feststellen, dass sich eine Temperatur von ca. 13°C messen lässt. Die Umgebungstemperatur bei der Durchführung des Versuchs beträgt etwa 22°C. Die Cola wird im Raum stehen gelassen und die Temperatur nach einer Weile (in diesem Experiment nach ungefähr zweieinhalb Stunden) erneut gemessen. Es lässt sich bei der Cola eine Temperatur von ca. 20°C messen. Da sich dieses Experiment über einen langen Zeitraum streckt, wird das Experiment im Vorfeld durchgeführt und den Schülerinnen und Schülern in Form einer Bilderstrecke präsentiert.

Bringt man dieses Experiment mit der Situation vom Einstieg in Verbindung, lässt sich feststellen, dass wir zwar im Alltag davon sprechen, dass die Cola warm wird, die Größe, die sich tatsächlich verändert, jedoch die Temperatur ist (Beobachtung 1). Diese Verdeutlichung mit Hilfe des Experiments soll bei den Schülerinnen und Schülern die Frage aufkommen lassen, ob Wärme und Temperatur also gleichbedeutende Begriffe darstellen. Dies entspricht einer klassischen Schülervorstellung, die durch dieses Vorgehen aktiviert werden soll (Wiesner et al. 2011, S. 45; Duit 2007, 2010). Um zu erreichen, dass die Lernenden diese Vorstellung ablegen und ein Konzeptwechsel stattfindet, werden die Schülerinnen und Schüler nachfolgend, im Sinne der Konfrontationsstrategie zum Erreichen eines Konzeptwechsels, direkt mit einer Beobachtung konfrontiert, welche ihrer bisherigen Vorstellung widerspricht (Wiesner et

al. 2011, S. 49 ff.; Duit et al. 2003). Dazu werden zwei Bechergläser mit Wasser gefüllt. Im ersten Becherglas befindet sich ein halber Liter Wasser, während sich im zweiten ein Liter Wasser befindet. Die Temperatur des Wassers in den Bechergläsern wird jeweils gemessen. Diese beträgt ca. 25°C. Das Wasser aus den Bechergläsern wird in zwei Wasserkochern parallel zum Sieden gebracht. Es lässt sich feststellen, dass zum Erhitzen von einem Liter Wasser ziemlich exakt doppelt so viel Zeit benötigt wird, verglichen mit einem halben Liter Wasser. Da das Wasser in beiden Wasserkochern zum Sieden gebracht wird, haben jedoch beide die ungefähr gleiche Temperatur von ca. 100°C (Beobachtung 2). Das Experiment wird ebenfalls im Vorfeld der Erklärung durchgeführt und den Lernenden in Form eines Zeitraffer-Videos präsentiert. Durch dieses Experiment wird den Schülerinnen und Schülern deutlich gemacht, dass Wärme und Temperatur nicht gleichbedeutend sein können, da bei einem Liter ungefähr doppelt so viel Energie in Form von Wärme in das System gegeben werden muss, um die gleiche Wassertemperatur zu erhalten. Dies führt somit zu einem kognitiven Konflikt bei den Lernenden, da dies ihren Alltagserfahrungen widerspricht (Dreyfus et al. 1990). Die beiden Beobachtungen aus den Experimenten werden nachfolgend zu einem allgemeinen physikalischen Prinzip zusammengeführt, welches den physikalischen Unterschied zwischen Wärme und Temperatur beschreibt. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass im Zusammenhang mit Wärme und Temperatur auch die innere Energie in die Betrachtung miteinzubeziehen ist, um die thermodynamischen Prozesse physikalisch korrekt und vollständig darzulegen. Die Rolle der inneren Energie in diesem Kontext füllt jedoch eine eigenständige Erklärung, sodass sich im Rahmen dieser Studie auf die Begriffe Wärme und Temperatur beschränkt wird.

Im Alltag wird unter Wärme der obere Teil der Temperaturskala verstanden. Physikalisch beschreibt Wärme jedoch eine Energie, die zwischen einem kalten und einem warmen Gegenstand ausgetauscht wird (Polifke und Kopitz 2009, S. 27). Dies ist der Grund dafür, dass Temperatur und Wärme im Alltag oft gleichgesetzt werden. Physikalisch betrachtet, beschreibt Temperatur den Zustand eines Gegenstandes oder eines Körpers (Lindner et al. 1991, S. 208). Im Alltag ist die Temperatur dagegen ein Maß, um Aussagen darüber treffen zu können, wie warm oder wie kalt ein Gegenstand ist. Der zentrale, physikalische Unterschied zwischen Wärme und Temperatur besteht also darin, dass Wärme beschreibt, wie viel Energie beim Abkühlen oder Erwärmen zwischen zwei Körpern ausgetauscht wird, während die Temperatur den Zustand eines Körpers beschreibt. Trotz dieser unterschiedlichen physikalischen Bedeutungen gibt es auch einen physikalischen Zusammenhang zwischen Wärme und Temperatur. Der

Energieaustausch zwischen zwei Körpern, in Form von Wärme, kann nur bei einer vorhandenen Temperaturdifferenz zwischen beiden Körpern erfolgen. In diesem Fall wird Wärme vom Körper höherer Temperatur auf den Körper niedrigerer Temperatur übertragen. Das Vorhandensein einer Temperaturdifferenz ist somit eine Voraussetzung für das Auftreten von Wärme.

Aus physikalischer Sicht widersprechen sich die beiden Beobachtungen aus den Experimenten daher nicht. Beiden liegt vielmehr das identische physikalische Grundprinzip zugrunde. Der scheinbare Widerspruch liegt am Verständnis von Wärme und Temperatur, das aus dem Alltag mitgebracht wird. Bezogen auf die Situation vom Einstieg meint Wärme im Alltag den Zustand eines Körpers, es wird gesagt die Cola sei warm. Hier liegt das eigentliche Problem, welches zu der fehlerhaften Annahme führt, Temperatur und Wärme seien im Prinzip ein und dasselbe.

Abschließend werden die zentralen Erkenntnisse zusammengefasst, um das Lernziel der Erklärung zu sichern und einen Konzeptwechsel bei den Lernenden zu bewirken (Duit et al. 2003):

- Im Alltag werden Temperatur und Wärme von uns oft zusammenhängend verwendet.
 - Wir sagen etwas ist warm, wenn es eine „hohe“ Temperatur hat.
- Temperatur beschreibt den Zustand eines Körpers.
- Wärme oder besser Wärmeenergie beschreibt dagegen den Austausch von Energie zwischen zwei Körpern.
- Die Bedingung dafür, dass Wärmeenergie zwischen zwei Körpern übertragen werden kann ist, dass zwischen den beiden Körpern eine Temperaturdifferenz besteht.

2.3.2.2 Erklärung nach dem deduktiven Erkläransatz

Zum Einstieg wird den Schülerinnen und Schülern auch hier die Konversation zwischen einer Frau und einem Mann präsentiert, die sich im Sommer am Strand befinden. Einer der beiden hat eine kalte Cola neben sich stehen. Die Frau weist den Mann darauf hin, dass man die Cola besser schnell austrinken solle, da sie sonst schnell warm werde bei dem Wetter. Der Mann entgegnet darauf, dass es ja nur knapp über 20°C seien, was ja nun auch nicht übermäßig warm wäre. Dieser Einstieg dient der kognitiven Aktivierung der Lernenden, da dies eine für sie aus dem Alltag bekannte Situation darstellt. Die

Schülerinnen und Schüler sollen somit für das Thema der Erklärung sensibilisiert und in ihrem Alltag abgeholt werden (Schoen 1994). Weiterhin dient der Einstieg dazu, bei den Schülerinnen und Schülern die klassische Schülervorstellung zu aktivieren, dass es sich bei Wärme und Temperatur prinzipiell um gleichbedeutende Begriffe handelt (Wiesner et al. 2011, S. 45; Duit 2007, 2010).

Im Anschluss an diesen Einstieg wird den Schülerinnen und Schülern die Problematik des Wärmebegriffs näher gebracht, welche in dieser Situation deutlich wird. Der Wärmebegriff hat eine gewisse Doppeldeutigkeit. Im Alltag ist mit Wärme in der Regel der obere Teil der Temperaturskala gemeint. Physikalisch beschreibt Wärme jedoch eine Energie, die zwischen einem kalten und einem warmen Gegenstand ausgetauscht wird (Polifke et al. 2009, S. 27). Dies ist der Grund dafür, dass wir Temperatur und Wärme im Alltag oft synonym verwenden, wie in der Szene vom Einstieg deutlich wird. Zwischen den Begriffen Wärme und Temperatur gibt es allerdings einen grundlegenden physikalischen Unterschied, auf welchen im Folgenden detailliert eingegangen wird. Physikalisch betrachtet beschreibt Temperatur den Zustand eines Gegenstandes oder eines Körpers (Lindner et al. 1991, S. 208). Im Alltag ist die Temperatur dagegen ein Maß, um Aussagen darüber treffen zu können, wie warm oder wie kalt ein Gegenstand ist. Der zentrale, physikalische Unterschied zwischen Wärme und Temperatur besteht also darin, dass Wärme beschreibt, wie viel Energie beim Abkühlen oder Erwärmen zwischen zwei Körpern ausgetauscht wird, während die Temperatur den Zustand eines Körpers beschreibt.

Trotz dieser unterschiedlichen physikalischen Bedeutungen gibt es auch einen physikalischen Zusammenhang zwischen Wärme und Temperatur. Der Energieaustausch zwischen zwei Körpern, in Form von Wärme, kann nur bei einer vorhandenen Temperaturdifferenz zwischen beiden Körpern erfolgen. In diesem Fall wird Wärme vom Körper höherer Temperatur auf den Körper niedrigerer Temperatur übertragen. Das Vorhandensein einer Temperaturdifferenz ist somit eine Voraussetzung für das Auftreten von Wärme. Die zentralen Elemente der Erklärung werden an dieser Stelle noch einmal zusammengefasst, um das Lernziel der Erklärung zu sichern und einen Konzeptwechsel bei den Lernenden zu bewirken (Duit et al. 2003):

- Im Alltag werden Temperatur und Wärme von uns oft zusammenhängend verwendet.
→ Wir sagen etwas ist warm, wenn es eine „hohe“ Temperatur hat.
- Temperatur beschreibt den Zustand eines Körpers.

- Wärme oder besser Wärmeenergie beschreibt dagegen den Austausch von Energie zwischen zwei Körpern.
- Die Bedingung dafür, dass Wärmeenergie zwischen zwei Körpern übertragen werden kann ist, dass zwischen den beiden Körpern eine Temperaturdifferenz besteht.

Dieser hier dargelegte wesentliche physikalische Unterschied zwischen Wärme und Temperatur wird den Schülerinnen anhand zweier Beispiele veranschaulicht. Dazu wird ein Rückbezug zur Ausgangssituation hergestellt. In dem Dialog geht es darum, dass die Cola warm wird. In einem ersten Experiment wird den Schülerinnen und Schülern zunächst verdeutlicht, dass es eigentlich die Temperatur ist, die sich verändert, wenn im Alltag davon gesprochen wird, dass etwas warm wird. Dazu wird mit einem Thermometer die Temperatur einer Cola gemessen, welche über Nacht in einem Kühlschrank gelagert wurde. Es lässt sich feststellen, dass sich eine Temperatur von ca. 13°C messen lässt. Die Umgebungstemperatur bei der Durchführung des Versuchs beträgt etwa 22°C. Die Cola wird im Raum stehen gelassen und die Temperatur nach einer Weile (in diesem Experiment nach ungefähr zweieinhalb Stunden) erneut gemessen. Es lässt sich bei der Cola eine Temperatur von ca. 20°C registrieren. Es ist also die Temperatur, die sich ändert, wenn wir davon sprechen, dass die Cola warm wird. Mit Hilfe des Experimentes werden die Alltagserfahrungen der Lernenden noch einmal aufgegriffen und demonstriert noch einmal das synonyme Verwenden der Begriffe Wärme und Temperatur in der Alltagswelt der Schülerinnen und Schüler. Da sich dieses Experiment über einen langen Zeitraum streckt, wird das Experiment im Vorfeld durchgeführt und den Schülerinnen und Schülern in Form einer Bilderstrecke präsentiert.

Um zu erreichen, dass die Lernenden ihre bisherige Vorstellung ablegen und ein Konzeptwechsel stattfindet, werden die Schülerinnen und Schüler nachfolgend, im Sinne der Konfrontationsstrategie zum Erreichen eines Konzeptwechsels, mit einem Beispiel konfrontiert, welches ihrer bisherigen Vorstellung widerspricht (Wiesner et al. 2011, S. 49 ff.; Duit et al. 2003). Dazu werden zwei Bechergläser mit Wasser gefüllt. Im ersten Becherglas befindet sich ein halber Liter Wasser, während sich im zweiten ein Liter Wasser befindet. Die Temperatur des Wassers in den Bechergläsern wird jeweils gemessen. Diese beträgt ca. 25°C. Das Wasser aus den Bechergläsern wird in zwei Wasserkochern parallel zum Sieden gebracht. Es lässt sich feststellen, dass zum Erhitzen von einem Liter Wasser ziemlich exakt doppelt so viel Zeit benötigt wird, verglichen mit einem halben Liter Wasser. Da das Wasser in beiden Wasserkochern zum

Sieden gebracht wird, haben jedoch beide die ungefähr gleiche Temperatur von ca. 100°C. Das Experiment wird ebenfalls im Vorfeld der Erklärung durchgeführt und den Lernenden in Form eines Zeitraffer-Videos präsentiert. Das Experiment verdeutlicht anschaulich, dass Wärme und Temperatur nicht gleichbedeutend sein können, da bei einem Liter ungefähr doppelt so viel Energie in Form von Wärme in das System gegeben werden muss, um die gleiche Wassertemperatur zu erhalten. Dies führt somit zu einem kognitiven Konflikt bei den Lernenden, da dies ihren Alltagserfahrungen widerspricht (Dreyfus et al. 1990). Aus physikalischer Sicht verdeutlicht dieses Experiment jedoch, dass die Begriffe Wärme und Temperatur nicht synonym verwendet werden können und stützt somit das hier beschriebene physikalische Grundprinzip.

2.3.2.3 Gegenüberstellung der Erkläransätze

Analog zum Spiegel werden die konzipierten Erklärungen hinsichtlich ihrer Einhaltung Kriterien guter Erklärungen in Tab. 2 gegenübergestellt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit zwischen den beiden unterschiedlichen Themengebieten liegen den beiden Konzepten vergleichbare didaktische Überlegungen zugrunde. Somit unterscheiden sich auch hier die beiden Erkläransätze maßgeblich in der Struktur, insbesondere im Bereich der Transparenz für die Schülerinnen und Schüler. Weiterhin unterscheidet auch hier auch die Verwendung von Beispielen die beiden Erkläransätze voneinander.

Tab. 2: Tabellarische Übersicht der Erklärkonzepte zum Unterschied zwischen Wärme und Temperatur hinsichtlich der Berücksichtigung Elemente guter Erklärungen

Merkmal	Induktiver Erkläransatz	Deduktiver Erkläransatz
Kognitive Aktivierung	Alltagssituation „Cola wird warm“	Alltagssituation „Cola wird warm“
Klare Struktur / Transparenz (roter Faden)	Verschiedene, einzelne Beobachtungen werden zu einem Grundprinzip zusammengeführt.	Direkt nach dem Einstieg wird den Schülerinnen und Schülern der Gegenstand der Erklärung deutlich gemacht.
Berücksichtigung des Vorwissens	Bezug zu Alltagserfahrungen und Schülervorstellungen	Bezug zu Alltagserfahrungen und Schülervorstellungen

Logischer Bezug zwischen Beobachtung und Phänomen	Wiederholte Rückbezüge zur Einstiegssituation	Wiederholte Rückbezüge zur Einstiegssituation
Anpassung der Sprachebene	Umschreibung von Fachbegriffen, Verzicht auf Begriff der inneren Energie	Umschreibung von Fachbegriffen, Verzicht auf Begriff der inneren Energie
Anpassung des Mathematisierungsgrades	Rein qualitative Betrachtung des Phänomens	Rein qualitative Betrachtung des Phänomens
Verwendung vielfältiger Darstellungformen	Verwendung von Experimenten, Videos, Grafiken, Abbildungen und PowerPoint-Folien	Verwendung von Experimenten, Videos, Grafiken, Abbildungen und PowerPoint-Folien
Betonung und Sicherung zentraler Aspekte	Sicherung der zentralen Aspekte am Ende der Erklärung in Form einer Zusammenfassung	Sicherung der zentralen Aspekte am Ende der Erklärung in Form einer Zusammenfassung

2.4 Konzeption des Erhebungsinstrumentes

Die Datenerhebung erfolgt in Form einer schriftlichen Befragung mit Hilfe eines Fragebogens. Der Fragebogen besteht sowohl aus geschlossen als auch aus Fragen mit offenem Antwortformat. Dadurch wird eine abwechslungsreiche Gestaltung des Fragebogens erzielt (Bortz und Döring 2002, S. 253 ff.). Zudem lassen sich so verschiedene Kompetenzen der Probanden testen. Der Fragebogen enthält 5 bzw. 6 geschlossene Items und eine Aufgabe mit offenem Antwortformat. Während die Aufgabe mit offenem Antwortformat so konzipiert ist, dass sie die reine Reproduktion der Inhalte der Erklärung verlangt, müssen die Probanden bei der Beantwortung der Fragen mit gebundener Beantwortung ihr Wissen anwenden. Für die Frage mit offenem Antwortformat wird zur Auswertung ein Kodierleitfaden erstellt. Da es sich bei den fachlichen Inhalten der Erklärung um einen konkreten Sachverhalt handelt, eignet sich eine Formulierung der Items in Frageform (Bortz et al. 2002, S. 253 ff.).

Die Items sind zudem so formuliert, dass die Antworten für die Probanden eindeutig zu interpretieren sind. Bei dem hier eingesetzten Fragebogen ergibt sich weiterhin zwangsläufig eine gewisse Blockbildung inhaltlich identischer Items (Bortz et al. 2002, S. 253 ff.), da sich der Fragebogen auf einen sehr kleinen Bereich eines physikalischen Sachverhaltes bezieht. Da die Reproduktion von Inhalten für die Probanden eine geringere kognitive Anforderung darstellt als die Anwendung des Wissens, ist der Fragebogen so aufgebaut, dass sich die Frage mit offenem Antwortformat am Ende des Fragebogens befindet. Dem liegt die Überlegung zugrunde, dass der letzte Teil eines Fragebogens möglichst einfach zu halten ist (Bortz et al. 2002, S. 253 ff.). Für die Auswertung des Fragebogens sind zudem die Generierung eines Codes durch jeden Probanden sowie Angaben über das Sach- und Fachinteresse der Probanden nötig.

Weiterhin werden die Vornoten in den Fächern Deutsch, Mathematik und Physik bzw. Naturwissenschaften erhoben. Diese Angaben sind, wie für schriftliche Befragungen üblich, am Anfang des Fragebogens anzugeben (Bortz et al. 2002, S. 253 ff.). Die Angabe des Sach- und Fachinteresses erfolgt dabei in Form einer Likert-Skala von 1 („interessiert mich überhaupt nicht“) bis 5 („interessiert mich persönlich sehr“). Aufgrund der Tatsache, dass sich bei diesem Fragebogen um die Erhebung quantitativer Daten handelt, spielen die Gütekriterien quantitativer Forschung eine zentrale Rolle im Zusammenhang mit der Durchführung und Auswertung dieses Fragebogens. Daher wird auf diese nachfolgend konkret eingegangen.

2.4.1 Reliabilität

Im Zusammenhang mit der Reliabilität wird die Zuverlässigkeit oder die Genauigkeit, mit der ein Test ein bestimmtes Merkmal erfasst, verstanden (Bühner 2011, S. 58 ff.). Die innere Konsistenz des Tests nimmt dabei mit zunehmender Anzahl an Testitems zu (Bühner 2011, S. 58 ff.). Daher wird der Kodierleitfaden der Frage mit offenem Antwortformat so konzipiert, dass jeder zu nennende Aspekt ein einzelnes Item bei der Auswertung darstellt. Hierdurch wird zum einen die Anzahl der Items, welche in die Reliabilitätsanalyse mit eingehen, erhöht, zum anderen lassen sich somit auch differenzierte Aussagen bezüglich der einzelnen inhaltlichen Elemente der Erklärung treffen.

2.4.2 Validität

Unter der Validität eines Tests wird die Frage verstanden, ob ein Test misst, was er zu messen beansprucht (Bühner 2011, S. 58 ff.). Obwohl sich verschiedene Arten der Validität unterscheiden lassen, ist der Inhalt das entscheidende Kriterium bei der Beantwortung der Frage nach der Validität eines Tests (Murphy und Davidshofer 2001, S. 153 ff.). Die Inhaltsvalidität eines Tests lässt sich dabei nicht empirisch überprüfen (Bühner 2011, S. 58 ff.). Daher wird im Folgenden konkret auf den Inhalt der Fragen eingegangen, welche die verwendeten Fragebögen beinhalten.

2.4.2.1 Die Vertauschung der Seiten beim Spiegel

Der Fragebogen zum Spiegel besteht aus fünf Items mit gebundener Beantwortung und einer Aufgabe mit offenem Antwortformat. Diese ist jedoch nur im Posttest enthalten. Das erste Item bezieht sich inhaltlich konkret auf die Frage, welche Seiten durch einen Spiegel vertauscht werden. Dies stellt den zentralen Gegenstand der Erklärung dar und die richtige Antwort, dass ein Spiegel vorne und hinten vertauscht, wird in der Erklärung anhand eines Beispiels verdeutlicht und in Form eines roten Kastens festgehalten. Das zweite Item des Fragebogens behandelt thematisch die Frage nach der Lage der Symmetrieachse beim Spiegel. Diese befindet sich von oben betrachtet auf dem Spiegel. Dies wird in der Erklärung im Anschluss an die Einstiegssituation thematisiert und in Form einer Abbildung verdeutlicht.

Das dritte Item betrifft die gedankliche Drehung, welche bei einer Konfrontation mit dem Spiegelbild vollzogen wird. Hier ist von den Probanden zu nennen, dass die Spiegelung einer gedanklichen 180°-Drehung entspricht. In der Erklärung wird hierauf explizit unter Verwendung einer entsprechenden Grafik eingegangen und am Ende im Zuge der Zusammenfassung und Sicherung noch einmal wiederholt. Beim vierten Item ist die Situation zu nennen, mit welcher das Gehirn die Begegnung mit dem Spiegelbild gleichsetzt. Hier ist von den Probanden zu nennen, dass die Begegnung mit unserem Spiegelbild der Begegnung mit einer zugewandten Person entspricht. Dies wird in der Erklärung im Zusammenhang mit der gedanklichen Drehung, welche in unserem Kopf bei der Spiegelung abläuft, deutlich. Zudem wird dieser Aspekt ebenfalls am Ende in der Zusammenfassung noch einmal aufgegriffen.

In den gleichen Kontext ist das fünfte Item des Fragebogens einzuordnen, welches sich auf die Perspektive bezieht, welche im Kopf bei der Begegnung mit dem Spiegelbild

eingenommen wird. Die Tatsache, dass die Perspektive einer zugewandten Person eingenommen wird, wird bei der Erklärung des Zustandekommens der Schülervorstellung, dass ein Spiegel rechts und links vertauscht, aufgegriffen. Bei der Aufgabe mit offenem Antwortformat sollen die Probanden die Vorgänge, die bei der Begegnung mit dem Spiegelbild im Kopf ablaufen, zusammenfassen und die Seiten nennen, die durch einen Spiegel tatsächlich vertauscht werden. Inhaltlich sind im Groben die identischen Punkte zu nennen, welche die vorhergehend beschriebenen Items mit gebundener Beantwortung thematisieren. Konkret beinhaltet der Kodierleitfaden für diese Aufgabe folgende inhaltliche Punkte:

- Das Gehirn ist in der Lage sich in fremde Perspektiven hineinzusetzen.
- Das Gehirn versetzt sich in die Lage einer zugewandten Person.
- Um diese Perspektive einzunehmen, findet eine gedankliche 180°-Drehung um die eigene vertikale Achse statt.
- Der Spiegel vertauscht Vorder- und Rückseite (vorne und hinten).

2.4.2.2 Der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur

Der Fragebogen zum Unterschied zwischen Wärme und Temperatur besteht aus sechs Items mit gebundener Beantwortung und einer Aufgabe mit offenem Antwortformat. Diese ist jedoch nur im Posttest enthalten. Das erste Item bezieht sich thematisch auf den Zusammenhang zwischen Wärme und Temperatur. Hier ist von den Probanden zu nennen, dass die Übertragung von Wärme für eine Temperaturänderung sorgt. Dies wird in der Erklärung im Kontext der Einstiegssituation veranschaulicht und in Form eines roten Kastens verdeutlicht. Das zweite Item fragt nach einer physikalisch korrekten Aussage zum Temperaturbegriff. Hier ist zu nennen, dass es sich bei der Temperatur um eine Zustandsgröße handelt. Dies wird in der Erklärung konkret im Zusammenhang mit dem physikalischen Verständnis des Temperaturbegriffs genannt und in Bezug zur Alltagsverständnis des Temperaturbegriffs gesetzt. Zudem wird dieser Aspekt in der Zusammenfassung am Ende der Erklärung noch einmal aufgegriffen.

Das dritte Item behandelt die Situation des Abkühlens heißer Eier in kaltem Wasser, welche die physikalische Situation des Übertragens von Wärme beschreibt. Hier wird Wärme von den Eiern an das Wasser übertragen. Das physikalische Verständnis des Wärmebegriffs ist zentraler Bestandteil der Erklärung und wird in der Erklärung in Form einer Grafik veranschaulicht. Zudem wird dieser Aspekt in der abschließenden

Zusammenfassung noch einmal deutlich gemacht. Das vierte Item stellt vier Aussagen zu Wärme und Temperatur aus dem Alltag vor. Als physikalisch korrekte Aussage ist hier auszuwählen, dass eine Cola eine Temperatur von 13°C besitzt. Diese Frage steht im Zusammenhang mit der Tatsache, dass Temperatur im physikalischen Verständnis den Zustand eines Körpers beschreibt. Dies wird in der Erklärung im Rahmen der Darlegung der physikalischen Definition von Temperatur behandelt und anhand eines Bildes verdeutlicht. Die fünfte Frage steht analog zur dritten Frage im Zeichen der physikalischen Bedeutung von Wärme. Hier ist von den Probanden die Antwort zu geben, dass Wärme aus physikalischer Sicht die Übertragung von Energie meint. Dies wird an verschiedenen Stellen der Erklärung deutlich gemacht und in der Zusammenfassung letztlich noch einmal festgehalten. Das sechste Item behandelt die Beobachtung, die sich machen lässt, wenn unterschiedliche Mengen Wasser mit einem Wasserkocher zum Sieden erhitzt werden. Es lässt sich feststellen, dass die doppelte Menge Wasser ungefähr doppelt so lange mit dem Wasserkocher erhitzt werden muss. Dies wird in der Erklärung anhand eines Experiments deutlich gemacht und den Probanden in Form eines Videos präsentiert.

Bei der Frage mit offenem Antwortformat sollen die Probanden den physikalischen Unterschied zwischen Wärme und Temperatur zusammenfassen. Zusätzlich soll darauf eingegangen werden, wie beide Begriffe dennoch miteinander zusammenhängen. Inhaltlich sind im Groben die identischen Punkte zu nennen, welche die vorhergehend beschriebenen Fragen mit gebundener Beantwortung thematisieren. Konkret beinhaltet der Kodierleitfaden für diese Aufgabe folgende inhaltliche Punkte:

- Temperatur beschreibt den Zustand eines Körpers.
- Wärme ist „etwas“, das zwischen zwei Körpern ausgetauscht wird.
- Unter Wärme versteht man die Übertragung von Energie.
- Das Vorhandensein einer Temperaturdifferenz zwischen den beiden Körpern ist eine Bedingung dafür, dass Wärmeenergie zwischen den beiden Körpern übertragen werden kann.

2.4.3 Objektivität

Die Objektivität beschreibt die Standardisierung unter welcher die Durchführung, Auswertung und Interpretation eines Tests stattfinden sollte (Bühner 2011, S. 58 ff.). Um eine Objektivität bei der Durchführung des Tests zu gewährleisten, erhalten die

Probanden eine exakte Instruktion bezüglich der Durchführung des Tests. Weiterhin wird darauf geachtet, dass alle Probanden gleich viel Zeit zur Verfügung haben. Da sich die Probanden während der Durchführung alle im gleichen Raum befinden, sind auch die räumlichen und äußerlichen Bedingungen für alle Probanden identisch. Eine besondere Bedeutung im Rahmen dieser Untersuchung kommt der Auswertungsobjektivität zu, da in den Fragebögen je eine Aufgabe mit offenem Antwortformat vorzufinden ist. Generell sind Aufgaben mit offenem Antwortformat weniger objektiv als Fragen mit gebundene Beantwortung (Bortz et al. 2002, S. 253 ff.). Hier ist genau festzulegen, was unter der korrekten Beantwortung der Frage zu verstehen ist (Bühner 2011, S. 58 ff.). Aus diesem Grund wird für die Aufgabe mit offenem Antwortformat ein Kodierleitfaden erstellt, welcher die Auswertungsobjektivität gewährleisten soll. Zusätzlich werden die Aufgaben mit offenem Antwortformat von einer weiteren Person gegenkodiert.

2.5 Methoden der Datenauswertung

Zur Datenanalyse werden die Programme IGOR Pro und PSPP verwendet. Zur quantitativen Datenauswertung werden ausschließlich Daten herangezogen, die sich eindeutig den Prä- und Posttests zuordnen lassen. Dies ermöglicht ein individueller Code, welcher von jedem der Lernenden angegeben wird. Die Rohdaten der Fragebögen werden zunächst in PSPP importiert. Dabei wird für jeden Probanden eine Zeile erstellt. Innerhalb dieser Zeile wird für jedes Item des Fragebogens eine Variable definiert. Für die Fragen mit offenem Antwortformat wird hierfür ein Codierleitfaden erstellt (s. Anhang), sodass die Auswertung dieser Frage sich in vier Items gliedert. Richtig beantwortete Items werden mit „1“ kodiert, fehlerhaft beantwortete Items dagegen mit „0“. Bei den Items mit gebundener Beantwortung ist stets genau eine der Antwortoptionen richtig. Nicht eindeutige sowie fehlende Antworten werden mit „99“ kodiert. Da die Aufgabe mit offenem Antwortformat nur im Posttest auftaucht, womit dieser aus neun bzw. zehn Items besteht, während der Prätest nur aus vier bzw. fünf Items besteht, erfolgt die Untersuchung des Lerneffekts durch die Durchführung der Erklärung zwischen Prä- und Posttest prozentual anhand der richtig beantworteten Items. Um Aussagen über mögliche Unterschiede bezüglich der Leistungsstärke der verschiedenen Lerngruppen treffen zu können, werden zudem die Vornoten in den Fächern Deutsch, Mathematik und Naturwissenschaften bzw. Physik erhoben und ebenfalls in Form einer definierten Variable in PSPP importiert.

Zur Auswertung der Likert-Skalen, welche zur Erhebung des Sach- und Fachinteresses der Schülerinnen dienen, werden diese in Zahlen umkodiert. Dabei bedeutet eine 5 „interessiert mich persönlich sehr“ und eine 1 „interessiert mich überhaupt nicht“. Anhand dieser Kodierung werden die Likert-Skalen zum Fach- bzw. Sachinteresse ebenfalls in PSPP importiert. Unter Anwendung dieser Codierung lassen sich mit PSPP Mittelwert und Standardabweichung bzw. Standardfehler berechnen, was die Grundlage zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse liefert.

Zur Überprüfung der Reliabilität der Items wird Cronbach's Alpha mit PSPP berechnet. Der Alpha-Koeffizient kann dabei Werte zwischen 0 und 1 annehmen (Bühl 2008, S. 499 ff.), wobei ab einem Alpha-Wert $\geq 0,6$ von einer Reliabilität ausgegangen werden kann (Tachtsoglou und König 2017, S. 192 ff.). Ist dies der Fall, lassen sich die Items zu Faktoren zusammenfassen.

Die Normalverteilung der Items bzw. der Faktoren wird unter Anwendung des Kolmogorov-Smirnov-Tests überprüft. Das Signifikanzniveau muss dabei $\geq 0,05$ sein, um von einer Normalverteilung ausgehen zu können (Bortz et al. 2002, S. 643). Liegt eine Normalverteilung der Items bzw. Faktoren vor, wird der T-Test zum Vergleich der Mittelwerte der Faktoren herangezogen. Für den Vergleich der Mittelwerte von Prä- und Posttest innerhalb einer Lerngruppe wird der T-Test für gepaarte Stichproben verwendet. Für die Untersuchung des Lernzuwachses in Abhängigkeit vom Erkläransatz wird der T-Test für unabhängige Stichproben gewählt. Gleiches gilt für die Analyse eines möglichen Unterschiedes in Abhängigkeit vom gewähltem Thema. Kann aufgrund des Ergebnisses des Kolmogorov-Smirnov-Tests nicht von einer Normalverteilung ausgegangen werden, wird der Mann-Whitney-U-Test zur Untersuchung der Signifikanz verwendet. Für die Interpretation der Signifikanz bei den T- bzw. U-Tests werden die Signifikanzniveaus nach Neyman & Pearson (1933) genutzt (s. Tab. 3).

Tab. 3: Überblick über die Grenzwerte der Signifikanzniveaus (Neyman und Pearson 1933)

Signifikanzniveau	
$p \leq 0,05$	signifikant
$p \leq 0,01$	hoch signifikant
$p \leq 0,001$	höchst signifikant

Lässt sich anhand dieser Grenzwerte ein signifikanter Unterschied zwischen zwei Faktoren bzw. Items feststellen, wird für fachdidaktisch besonders bedeutsame Zusammenhänge zusätzlich zum Signifikanzniveau die Effektstärke d nach Pearson

berechnet. Die Berechnung der Effektstärke erfolgt anhand folgender Formel (Bühner und Ziegler 2017, S. 173 ff.):

$$d = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma_{\text{ges}}}$$

Dabei stehen μ_1 und μ_2 für die Mittelwerte der beiden Stichproben. σ_{ges} beschreibt die Standardabweichung in der Gesamtstichprobe und lässt sich aus den mittleren Varianzen über $\sigma_{\text{ges}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$ abschätzen. Die Effektstärke lässt sich anschließend anhand der Skala von Cohen (1992) beurteilen (s. Tab. 4).

Tab. 4: Überblick über die Grenzwerte der Effektstärke (Cohen 1992)

Effektstärke d	
$d \geq 0,2$	kleiner Effekt
$d \geq 0,5$	mittlerer Effekt
$d \geq 0,8$	starker Effekt

Die Effektstärke kann bei signifikanten Unterschieden als ein Maß für die Sicherheit des Unterschiedes betrachtet werden (Bühner et al. 2017, S. 173 ff.).

Zur Illustration der Ergebnisse dieser Studie werden Säulendiagramme verwendet, welche mit dem Datenauswertungsprogramm IGOR Pro erstellt werden.

3 Darstellung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der empirischen Studie dargelegt. Die Grundlage zur Ermittlung der Ergebnisse bilden die in Kap. 2.5 (S. 39 ff.) näher erläuterten Methoden der Datenanalyse. Die mit PSPP berechneten statistischen Werte sind im Anhang dieser Arbeit tabellarisch zusammengestellt (s. Anhang D).

Zunächst werden dazu die vier Lerngruppen, in welchen diese Studie durchgeführt wurde, hinsichtlich ihrer Leistungsstärke und ihres Fach- bzw. Sachinteresses analysiert. Anhand dieser Erkenntnisse lassen sich später Aussagen über die Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus den Untersuchungen treffen, da jede der insgesamt vier Durchführungen in einer anderen Lerngruppe stattfindet. Anschließend sollen jeweils die Ergebnisse der Prä- und Posttests bezüglich des Fachwissens innerhalb einer Lerngruppe für jede der vier Erhebungen untersucht werden, um Erkenntnisse darüber zu gewinnen, ob die Durchführung der Erklärungen grundsätzlich dazu führt, dass sich ein Lerneffekt bei den Schülerinnen und Schülern feststellen lässt. Darauf aufbauend wird für jede Lerngruppe die Differenz zwischen Prä- und Posttest gebildet, um ein Maß für den tatsächlichen Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler zu erhalten. Dieser Lernzuwachs wird für beide Themen, jeweils zwischen einer Durchführung nach dem induktiven Erkläransatz und einer Durchführung nach dem deduktiven Erkläransatz, verglichen. Hieraus lassen sich Erkenntnisse über die Abhängigkeit des Lernzuwachses vom gewählten Erkläransatz ableiten, was die zentrale Fragestellung dieser Masterarbeit darstellt.

3.1 Analyse der Lerngruppen

3.1.1 *Die Vertauschung der Seiten beim Spiegel*

Zunächst wird untersucht, ob sich die beiden Lerngruppen A und B, in welchem die Durchführung der Erklärung zum Spiegel durchgeführt wurde (s. Abb. 4), hinsichtlich Leistungsstärke und Sach- bzw. Fachinteresse unterscheiden. Die Reliabilitätsanalyse bezüglich der Vornoten mit dem Statistikprogramm PSPP ergibt für Cronbach's Alpha einen Wert von 0,72 im Fall der induktiven Durchführung. Hierbei wurden alle drei Vornoten (Mathematik, Deutsch und Naturwissenschaften) in die Reliabilitätsanalyse einbezogen. Für den Fall der deduktiven Durchführung ergibt sich nach analogem

Vorgehen ein Wert für Cronbach's Alpha von 0,82. Damit kann die Erhebung der Vornoten in beiden Fällen als reliabel angenommen werden, was ein Zusammenfassen der Items zum Faktor Leistungsstärke erlaubt. Zunächst sollen die Lerngruppen A und B hinsichtlich eines signifikanten Unterschiedes bezüglich der Leistungsstärke hin untersucht werden (s. Abb. 5). Die Durchführung eines Kolmogorov-Smirnov-Tests ergibt, dass die Verteilung der Vornoten als normalverteilt angenommen werden kann.

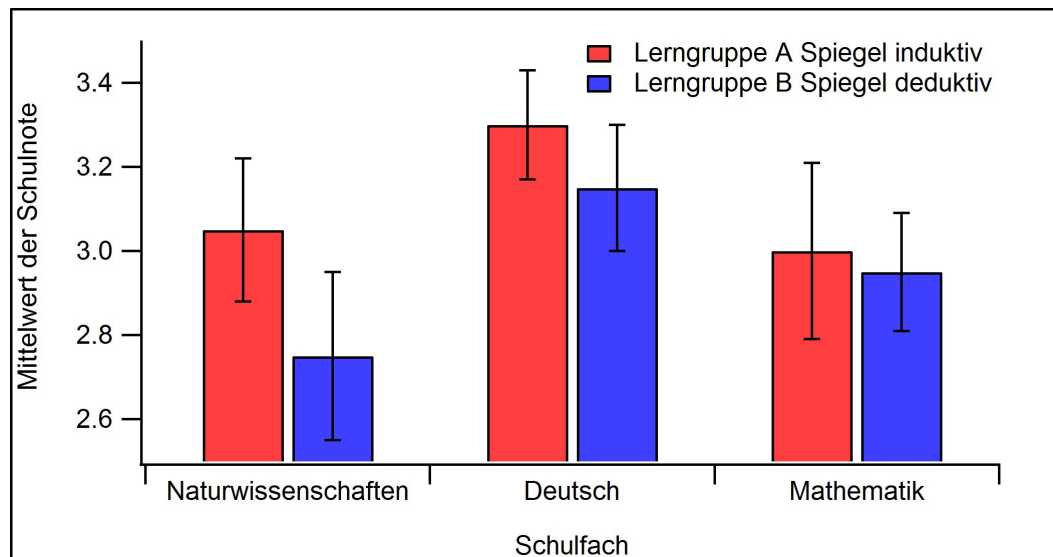


Abb. 5: Graphische Darstellung der letzten Schulnoten in den Fächern Naturwissenschaften, Deutsch und Mathematik separiert nach den Lerngruppen A und B in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.

Dargestellt sind die Mittelwerte der letzten Noten in den Fächern Naturwissenschaften, Deutsch und Mathematik für die beiden Lerngruppen, welchen das Phänomen der Vertauschung der Seiten beim Spiegel erklärt wurde. Lerngruppe A ($n = 20$) wurde das Prinzip nach dem induktiven Erkläransatz näher gebracht, während in Lerngruppe B ($n = 20$) der deduktive Erkläransatz verwendet wurde. Die Mittelwerte der letzten Note der Lerngruppe A sind in rot dargestellt und die Mittelwerte der Lerngruppe B in blau. Zudem sind die Standardfehler der jeweiligen Mittelwerte angegeben. Die Daten wurden in Form einer Schulnote auf der gängigen Skala von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend) angegeben.

Die Durchführung eines T-Tests zeigt, dass bei keiner der Noten signifikante Unterschiede zwischen den Lerngruppen A und B bestehen, weshalb von homogenen Lerngruppen ausgegangen werden kann.

Weiterhin soll analysiert werden, inwiefern sich die Lerngruppen A und B möglicherweise bezüglich Sach- und Fachinteresse unterscheiden (s. Abb. 6). Eine Untersuchung der Reliabilität zwischen den Items Sachinteresse und Fachinteresse ergibt für Lerngruppe A für Cronbach's Alpha einen Wert von 0,87. Für Lerngruppe B ergibt sich nach analoger Berechnung ein Cronbach's Alpha von 0,91. Für beide Lerngruppen kann die Messung von Sach- und Fachinteresse daher als reliabel angenommen werden, was eine Zusammenführung zum Faktor Sach- und Fachinteresse erlaubt.

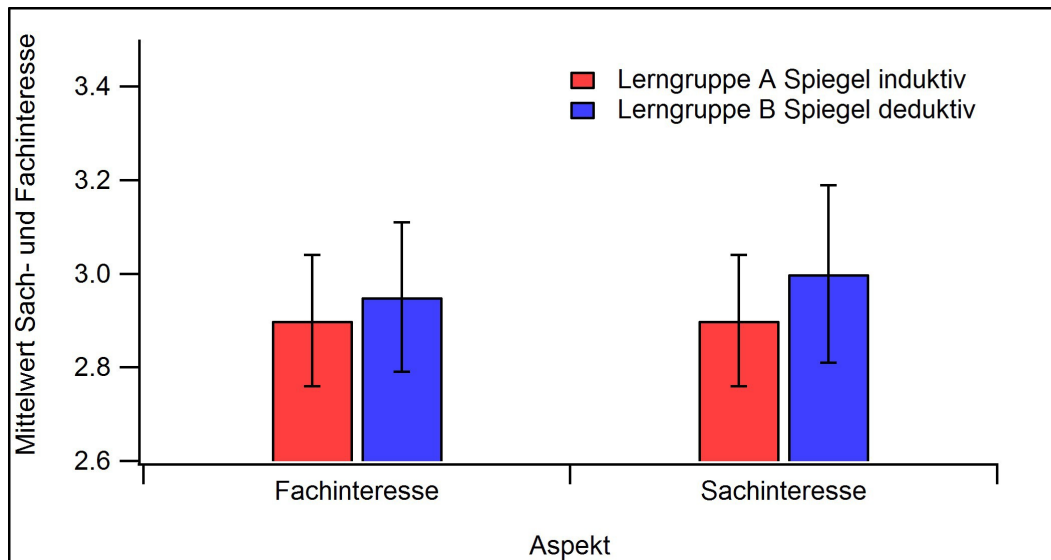


Abb. 6: Graphische Darstellung der Mittelwerte von Sach- und Fachinteresse in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.

Dargestellt sind die Mittelwerte bezüglich Sach- und Fachinteresse für die beiden Lerngruppen, welchen das Phänomen der Vertauschung der Seiten beim Spiegel erklärt wurde. Lerngruppe A ($n = 20$) wurde das Prinzip nach dem induktiven Erkläransatz näher gebracht, während in Lerngruppe B ($n = 20$) der deduktive Erkläransatz verwendet wurde. Die Mittelwerte der Lerngruppe A sind in rot dargestellt und die Mittelwerte der Lerngruppe B in blau. Zudem sind die Standardfehler der jeweiligen Mittelwerte angegeben. Die Daten wurden in Form einer Likert-Skala von 1 bis 5 erhoben, wobei 1 = „interessiert mich überhaupt nicht“ und 5 = „interessiert mich persönlich sehr“ entspricht.

Die Durchführung eines Kolmogorov-Smirnov-Tests ergibt, dass weder die Verteilung des Sachinteresses, noch die Verteilung des Fachinteresses als normalverteilt angenommen werden kann. Entsprechend wird eine Untersuchung auf einen signifikanten Unterschied im Sach- bzw. Fachinteresse zwischen den beiden Lerngruppen mit Hilfe des U-Tests durchgeführt. Die Durchführung des U-Tests zeigt, dass weder im Sach- noch im Fachinteresse signifikante Unterschiede zwischen den Lerngruppen A und B bestehen.

3.1.2 Der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur

Analog zu den Untersuchungen in Kap. 3.1.1 werden die Lerngruppen C und D, welchen der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur erklärt wurde, hinsichtlich Unterschieden in Leistungsstärke und Sach- bzw. Fachinteresse untersucht. Da es sich bei den Lerngruppen C und D um Physikkurse aus der Einführungsphase der gymnasialen Oberstufe handelt, wurden die Vornoten in Form von Notenpunkten angegeben. Die Reliabilitätsanalyse bezüglich der Vornoten mit dem Statistikprogramm PSPP ergibt für Cronbach's Alpha einen Wert von 0,89 im Fall der deduktiven Durchführung. Hierbei wurden alle drei Vornoten (Mathematik, Deutsch und Physik) in die Reliabilitätsanalyse einbezogen. Für den Fall der induktiven Durchführung ergibt sich nach analogem Vorgehen ein Wert für Cronbach's Alpha von 0,76. Damit kann die Erhebung der Vornoten in beiden Fällen als reliabel angenommen werden, was ein Zusammenfassen der Items zum Faktor Leistungsstärke erlaubt. Zunächst sollen die Lerngruppen C und D hinsichtlich eines signifikanten Unterschiedes bezüglich der Leistungsstärke untersucht werden (s. Abb. 7).

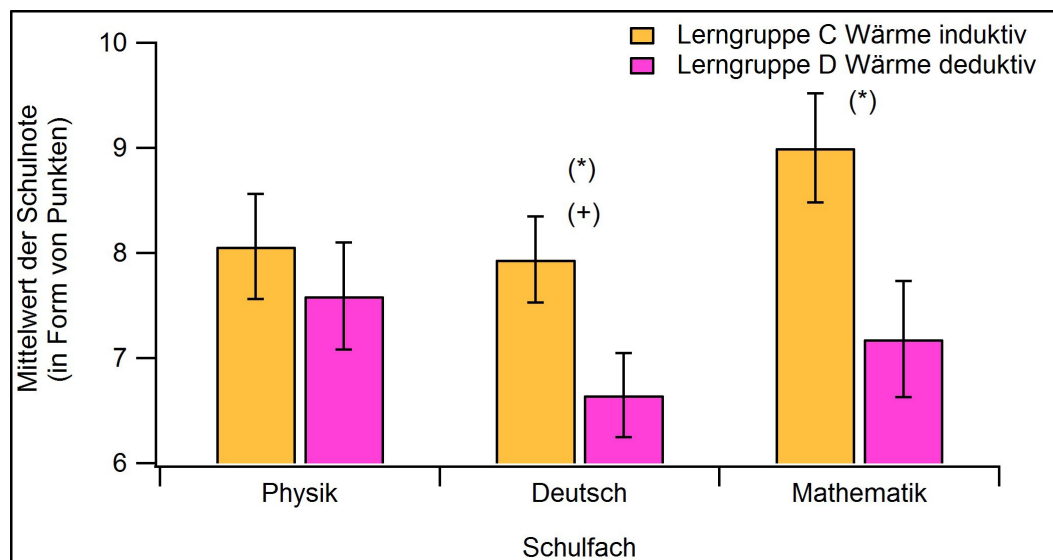


Abb. 7: Graphische Darstellung der letzten Schulnoten (in Form von Notenpunkten) in Physik, Deutsch und Mathematik separiert nach den Lerngruppen C und D in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.

Dargestellt sind die Mittelwerte der letzten Noten (in Form von Notenpunkten) in den Fächern Physik, Deutsch und Mathematik für die beiden Lerngruppen, welchen der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur erklärt wurde. Lerngruppe C ($n = 17$) wurde das Prinzip nach dem induktiven Erkläransatz näher gebracht, während in Lerngruppe D ($n = 17$) der deduktive Erkläransatz verwendet wurde. Die Mittelwerte der Lerngruppe C sind in orange dargestellt und die Mittelwerte der Lerngruppe D in pink. Zudem sind die Standardfehler der jeweiligen Mittelwerte angegeben. Die Daten wurden in Form von Punkten auf der Skala von 15 (sehr gut) bis 0 (ungenügend) angegeben. Weiterhin wird die Signifikanz des Unterschiedes zwischen den Mittelwerten nach Neyman und Pearson (1933) bezüglich der Lerngruppen C und D ($p \leq 0,05$ = signifikant (*), $p \leq 0,01$ = hoch signifikant (**), $p \leq 0,001$ = höchst signifikant (***)) sowie die Effektstärke nach Cohen (1992) ($d \geq 0,2$ = kleiner Effekt (+), $d \geq 0,5$ = mittlerer Effekt (++), $d \geq 0,8$ = starker Effekt (+++)) angegeben.

Es zeigt sich, dass die Lerngruppen C und D sich nach Neyman und Pearson (1933) signifikant hinsichtlich der Mathematik- ($p = 0,019$) und Deutschnote unterscheiden ($p = 0,027$). Die Untersuchung der Effektstärke zeigt jedoch, dass ausschließlich bei der Deutschnote ein kleiner Effekt vorliegt ($d = 0,298$). Bei der Mathematiknote lässt sich nach Cohen (1992) kein Effekt feststellen ($d = 0,032$). Bezüglich der Physiknote lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Lerngruppen C und D feststellen.

Weiterhin soll analysiert werden, inwiefern sich die Lerngruppen C und D möglicherweise bezüglich Sach- und Fachinteresse unterscheiden (s. Abb. 8). Eine Untersuchung der Reliabilität zwischen den Items Sachinteresse und Fachinteresse ergibt für Lerngruppe C für Cronbach's Alpha einen Wert von 0,76. Für Lerngruppe D ergibt sich nach analoger Berechnung ein Cronbach's Alpha von 0,84. Für beide Lerngruppen kann die Messung von Sach- und Fachinteresse daher als reliabel angenommen werden, was eine Zusammenführung zum Faktor Sach- und Fachinteresse erlaubt.

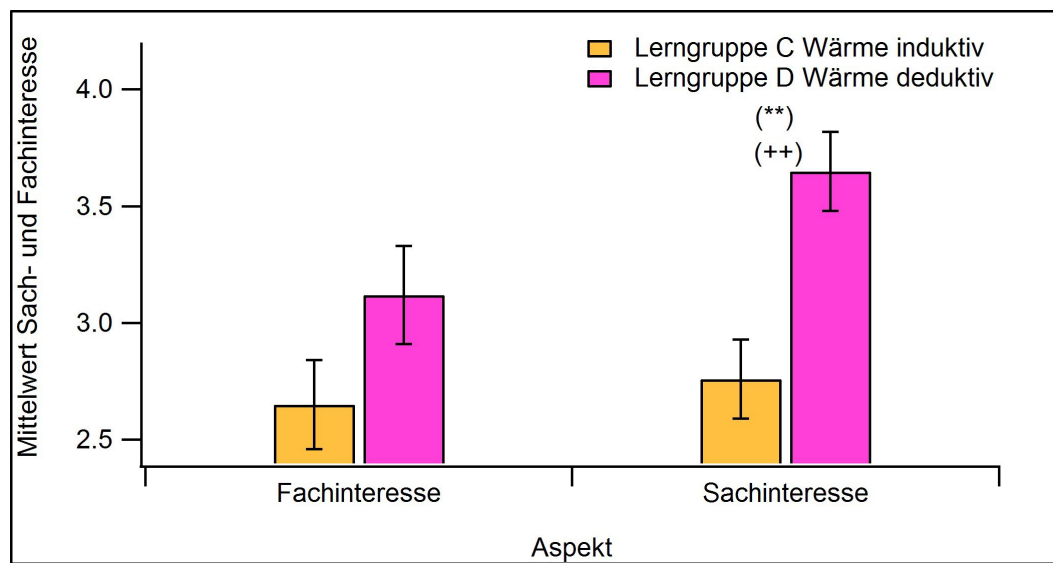


Abb. 8: Graphische Darstellung der Mittelwerte von Sach- und Fachinteresse separiert nach den Lerngruppen C und D in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.

Dargestellt sind die Mittelwerte bezüglich Sach- und Fachinteresse für die beiden Lerngruppen, welchen der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur erklärt wurde. Lerngruppe C ($n = 17$) wurde das Prinzip nach dem induktiven Erkläransatz näher gebracht, während in Lerngruppe D ($n = 17$) der deduktive Erkläransatz verwendet wurde. Die Mittelwerte der Lerngruppe C sind in orange dargestellt und die Mittelwerte der Lerngruppe D in pink. Zudem sind die Standardfehler der jeweiligen Mittelwerte angegeben. Die Daten wurden in Form einer Likert-Skala von 1 bis 5 erhoben, wobei 1 = „interessiert mich überhaupt nicht“ und 5 = „interessiert mich persönlich sehr“ entspricht. Weiterhin wird die Signifikanz des Unterschiedes zwischen den Mittelwerten nach Neyman und Pearson (1933) bezüglich der Lerngruppen C und D ($p \leq 0,05$ = signifikant (*), $p \leq 0,01$ = hoch signifikant (**), $p \leq 0,001$ = höchst signifikant (***)) sowie die Effektstärke nach Cohen (1992) ($d \geq 0,2$ = kleiner Effekt (+), $d \geq 0,5$ = mittlerer Effekt (++), $d \geq 0,8$ = starker Effekt (+++)) angegeben.

Die Durchführung eines Kolmogorov-Smirnov-Tests ergibt, dass weder die Verteilung des Sachinteresses, noch die Verteilung des Fachinteresses als normalverteilt

angenommen werden kann. Entsprechend wird eine Untersuchung auf einen signifikanten Unterschied im Sach- bzw. Fachinteresse zwischen den beiden Lerngruppen mit Hilfe des U-Tests durchgeführt.

Die Durchführung des U-Tests deckt einen hoch signifikanten Unterschied zwischen den Lerngruppen C und D bezüglich des Sachinteresses auf ($p = 0,002$). Eine anschließende Untersuchung der Effektstärke ergibt, dass ein mittlerer Effekt ($d = 0,565$) bezüglich des Unterschiedes im Sachinteresse zwischen den Lerngruppen C und D vorliegt. Im Bereich des Fachinteresses lassen sich dagegen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Lerngruppen feststellen.

3.2 Vergleich der Ergebnisse von Prä- und Posttest

3.2.1 Die Vertauschung der Seiten beim Spiegel

Im Folgenden soll untersucht werden, ob sich die Ergebnisse des Prä- und Posttests in den Lerngruppen A und B unterscheiden (s. Abb. 9). Eine Reliabilitätsanalyse ergibt für Lerngruppe A für den Prätest einen Alpha-Koeffizient 0,73. Hierbei wurden alle fünf Items des Prätests in die Analyse der Reliabilität einbezogen. Für den Posttest in Lerngruppe A ergibt die Reliabilitätsanalyse ein Cronbach's Alpha 0,58. Der Wert für den Posttest liegt damit unter der rechnerischen Grenze, um von einer Reliabilität sprechen zu können. Es lässt sich jedoch feststellen, dass fachdidaktische Leistungstests aufgrund des hohen inhaltlichen Anspruchs oft Schwierigkeiten haben, einen hinreichend hohen Wert für Cronbach's Alpha zu erreichen (Schecker 2014). Dieser hohe Anspruch des Tests an die Probanden wird beim Posttest zudem dadurch erhöht, dass er sowohl aus Items mit gebundener Beantwortung, als auch aus Items mit offenem Antwortformat besteht. Der Prätest dagegen besteht ausschließlich aus Items mit gebundener Beantwortung. Zusätzlich lässt sich das nicht hinreichend große Cronbach's Alpha durch die vergleichsweise geringe Anzahl an Items des Fragebogens im Rahmen dieser Masterarbeit begründen. Dabei wäre es aufgrund der beschriebenen Aspekte fragwürdig Abstriche bei der inhaltlichen Ausrichtung zugunsten höherer Alpha-Koeffizienten zu machen (Schecker 2014). Da der Wert mit 0,58 weiterhin nur knapp unter dem Grenzwert von 0,6 liegt wird sowohl der Prätest als auch der Posttest in Lerngruppe A als reliabel angenommen. Dies erlaubt in beiden Fällen eine Zusammenfassung der Items zum Faktor Gesamtpunktzahl. Beim Posttest gehen dabei alle neun verwendeten Items in die Berechnung der Gesamtpunktzahl ein.

Für Lerngruppe B ergibt die Reliabilitätsanalyse für den Prätest ein Cronbach's Alpha von 0,4. Dabei wurden alle fünf Items des Prätests in die Analyse der Reliabilität einbezogen. Durch einen Ausschluss von Item 3 lässt sich ein Cronbach's Alpha von 0,5 erzielen, sodass Item 3 nicht in die Berechnung der Gesamtpunktzahl des Prätests für Lerngruppe B einfließt. Aus inhaltlicher Sicht lässt sich dies rechtfertigen, da Item 3 nicht den zentral zu untersuchenden inhaltlichen Aspekt der Erklärung umfasst. Für den Posttest ergibt sich für Lerngruppe B ein Cronbach's Alpha von 0,5. Hier wurden alle neun Items des Posttests in die Reliabilitätsanalyse integriert, da ein Ausschluss von Item 3 hier keine Auswirkungen auf Cronbach's Alpha hat. Aufgrund analoger Überlegungen, wie vorhergehend für Lerngruppe A beschrieben, werden trotz des vergleichsweise geringen Alpha-Koeffizienten die Items jeweils für Prä- und Posttest zu einer Gesamtpunktzahl zusammengefasst (Schecker 2014).

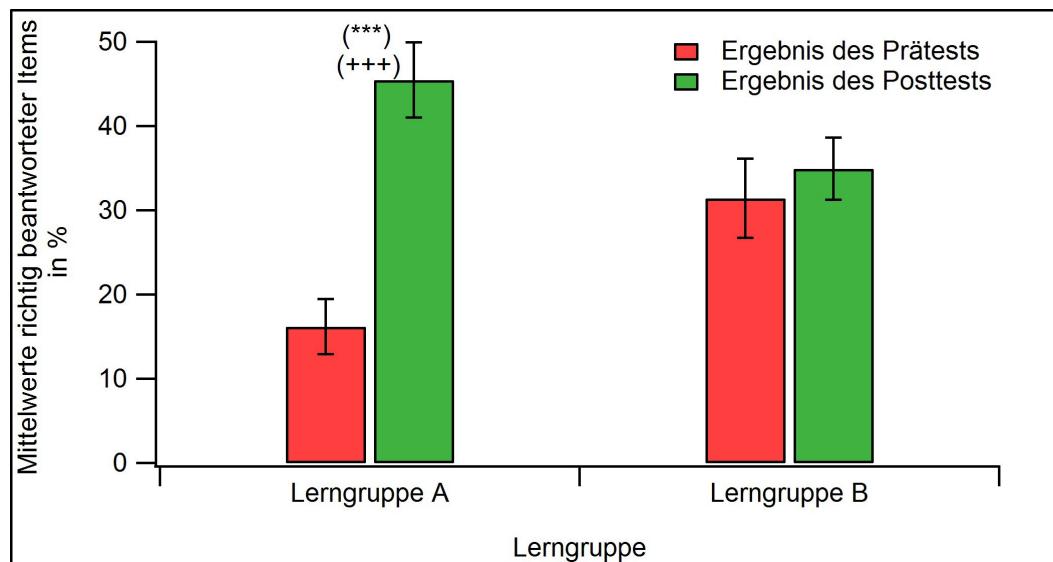


Abb. 9: Graphische Darstellung der Mittelwerte richtig beantworteter Items von Prä- und Posttest separiert nach den Lerngruppen A und B in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.

Dargestellt sind die Mittelwerte richtig beantworteter Items in Prä- und Posttest für die beiden Lerngruppen, welchen das Phänomen der Vertauschung der Seiten beim Spiegel erklärt wurde. Lerngruppe A ($n = 21$) wurde das Prinzip nach dem induktiven Erkläransatz näher gebracht, während in Lerngruppe B ($n = 21$) der deduktive Erkläransatz verwendet wurde. Die Mittelwerte des Prätests sind in rot dargestellt und die Mittelwerte des Posttests in grün. Zudem sind die Standardfehler der jeweiligen Mittelwerte angegeben. Die Daten werden zur besseren Vergleichbarkeit von Prä- und Posttest in % angegeben. Weiterhin wird die Signifikanz des Unterschiedes zwischen den Mittelwerten nach Neyman und Pearson (1933) bezüglich Prä- und Posttest ($p \leq 0,05$ = signifikant (*), $p \leq 0,01$ = hoch signifikant (**), $p \leq 0,001$ = höchst signifikant (***)) sowie die Effektstärke nach Cohen (1992) ($d \geq 0,2$ = kleiner Effekt (+), $d \geq 0,5$ = mittlerer Effekt (++), $d \geq 0,8$ = starker Effekt (+++)) angegeben.

Die Untersuchung der Verteilung der Gesamtpunktzahl mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test ergibt, dass Verteilung der Gesamtpunktzahl sowohl für den Prä- als auch den Posttest für beide Lerngruppen als normalverteilt angenommen werden kann. Entsprechend lässt sich hier zum Vergleich der Mittelwerte der T-Test anwenden. Da dabei jeweils die Ergebnisse von Prä- und Posttest innerhalb einer Lerngruppe

miteinander verglichen werden sollen, ist ein T-Test für gepaarte Stichproben anzuwenden. Die Ergebnisse des T-Tests zeigen, dass bei Lerngruppe A ein höchst signifikanter Unterschied ($p = 0,00$) in der Anzahl richtig beantworteter Items zwischen Prä- und Posttest besteht. Eine anschließende Untersuchung der Effektstärke lässt zudem einen starken Effekt ($d = 0,856$) erkennen. Bei Lerngruppe B lässt sich dagegen kein signifikanter Unterschied in der Anzahl richtig beantworteter Items zwischen Prä- und Posttest registrieren.

3.2.2 Der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur

Analog zum Vorgehen in Kap. 3.2.1 wird zunächst eine Reliabilitätsanalyse des Testinstrumentes durchgeführt. Eine Reliabilitätsanalyse ergibt für Lerngruppe C für den Prätest einen Alpha-Koeffizient 0,5. Hierbei wurden alle sechs Items des Prätests in die Analyse der Reliabilität einbezogen. Für den Posttest in Lerngruppe C ergibt die Reliabilitätsanalyse unter Berücksichtigung aller zehn Items ein Cronbach's Alpha von 0,71. Entsprechend der Darlegungen in Kap. 3.2.1 lässt sich trotz des nicht hinreichend großen Cronbach's Alpha beim Prätest rechtfertigen sowohl die Items des Prätests als auch die Items des Posttests als reliabel anzunehmen und zu einer Gesamtpunktzahl zusammenzufassen.

Für Lerngruppe D ergibt die Reliabilitätsanalyse für den Prätest ein Cronbach's Alpha von 0,4. Dabei wurden alle sechs Items des Prätests in die Analyse der Reliabilität einbezogen. Durch einen Ausschluss von Item 6 lässt sich ein Cronbach's Alpha von 0,48 erzielen, sodass Item 6 nicht in die Berechnung der Gesamtpunktzahl des Prätests für Lerngruppe D einfließt. Aus inhaltlicher Sicht lässt sich dies rechtfertigen, da Item 6 nicht den zentral zu untersuchenden inhaltlichen Aspekt der Erklärung umfasst. Für den Posttest ergibt sich für Lerngruppe D ein Cronbach's Alpha von 0,55. Hier wurden alle zehn Items des Posttests in die Reliabilitätsanalyse integriert, da ein Ausschluss von Item 6 nur sehr geringe Auswirkungen auf Cronbach's Alpha hat (Cronbach's Alpha 0,56). Entsprechend lassen sich anhand der Begründungen in Kap. 3.2.1 alle zehn Items des Posttests zu einer Gesamtpunktzahl zusammenfassen.

Nachfolgend soll auf dieser Grundlage festgestellt werden, ob sich die Anzahl richtig beantworteter Items zwischen Prä- und Posttest in den Lerngruppen C und D signifikant unterscheidet (s. Abb. 10). Da der Posttest aus zehn Items, der Prätest jedoch lediglich aus sechs Items, besteht erfolgt der Vergleich anhand der prozentual richtig beantworteten Items. Die Durchführung eines Kolmogorov-Smirnov-Tests lässt für

Lerngruppe D die Annahme über eine Normalverteilung der Ergebnisse bei Prä- und Posttest zu. Eine analoge Durchführung des Kolmogorov-Smirnov-Tests zeigt, dass die Ergebnisse von Prä- und Posttest in Lerngruppe C ebenfalls als normalverteilt angenommen werden können. Der Vergleich der Mittelwerte erfolgt daher mit dem T-Test für gepaarte Stichproben.

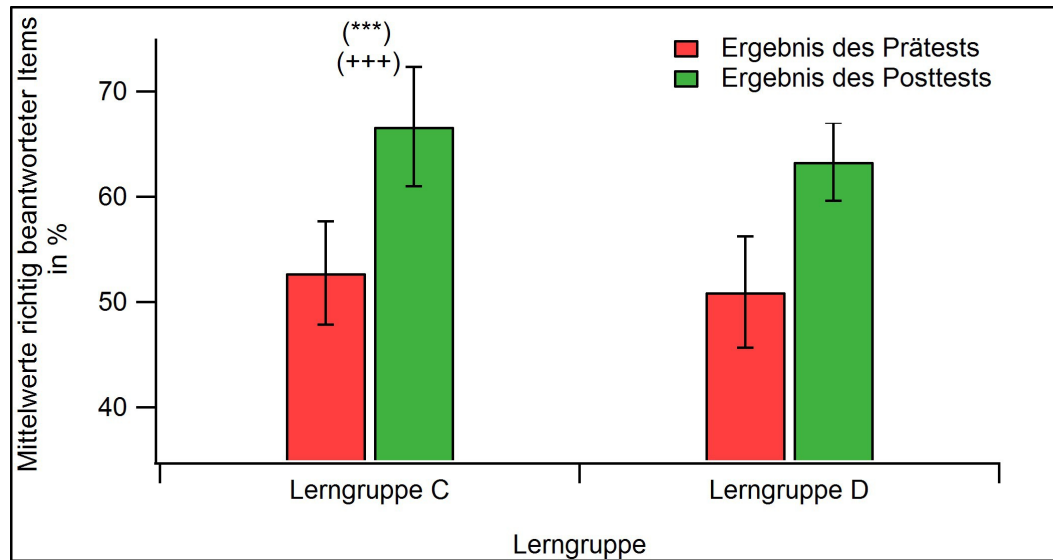


Abb. 10: Graphische Darstellung der Mittelwerte richtig beantworteter Items von Prä- und Posttest separiert nach den Lerngruppen C und D in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.

Dargestellt sind die Mittelwerte richtig beantworteter Items in Prä- und Posttest für die beiden Lerngruppen, welchen das Phänomen der Vertauschung der Seiten beim Spiegel erklärt wurde. Lerngruppe A ($n = 21$) wurde das Prinzip nach dem induktiven Erkläransatz näher gebracht, während in Lerngruppe B ($n = 21$) der deduktive Erkläransatz verwendet wurde. Die Mittelwerte des Prätests sind in rot dargestellt und die Mittelwerte des Posttests in grün. Zudem sind die Standardfehler der jeweiligen Mittelwerte angegeben. Die Daten werden zur besseren Vergleichbarkeit von Prä- und Posttest in % angegeben.

Die Ergebnisse des T-Tests und Abb. 10 zeigen, dass sich weder für Lerngruppe C noch für Lerngruppe D signifikante Unterschiede zwischen Prä- und Posttest feststellen lassen.

3.2.3 Differenzierte Analyse der Fragen mit gebundener Beantwortung

Die Tatsache, dass sich aufgrund der Ergebnisse des T-Tests registrieren lässt, dass nur in einer der vier Lerngruppen (Lerngruppe A) ein signifikanter Unterschied zwischen der Anzahl richtig beantworteter Items zwischen Prä- und Posttest zu beobachten ist, macht eine differenziertere Betrachtung erforderlich. Aus diesem Grund werden im Folgenden die Items aus der Aufgabe mit offenem Antwortformat nicht in die Zusammenfassung der Gesamtpunktzahl des Posttests einbezogen. Somit bestehen für alle Lerngruppen Prä- und Posttest aus der identischen Anzahl an Items, wobei es sich bei allen Items um Fragen mit gebundener Beantwortung handelt. Erneut soll der

Unterschied richtiger beantworteter Items zwischen Prä- und Posttest für die verschiedenen Lerngruppen untersucht werden, diesmal nur unter Berücksichtigung der Fragen mit gebundener Beantwortung aus dem Fragebogen (s. Abb. 11). Eine Reliabilitätsanalyse ergibt, dass sich die Reliabilität durch den Ausschluss der Fragen mit offenem Antwortformat nicht entscheidend ändert. Weiterhin ergibt eine Analyse mittels Kolmogorov-Smirnov-Test, dass auch ohne Berücksichtigung der Fragen mit offenem Antwortformat Normalverteilungen angenommen werden können. Eine erneute Analyse der Mittelwerte mit dem T-Test für gepaarte Stichproben ergibt, dass bei den Lerngruppen A ($p = 0,00$), C ($p = 0,001$) und D ($p = 0,00$) höchst signifikante Unterschiede bezüglich der prozentual richtig beantworteten Items zwischen Prä- und Posttest vorliegen. Zudem lässt sich für die Lerngruppen A ($d = 1,656$), C ($d = 0,871$) und D ($d = 1,149$) in diesem Zusammenhang ein starker Effekt feststellen. Bei Lerngruppe B liegt ein signifikanter Unterschied zwischen den prozentual richtig beantworteten Items zwischen Prä- und Posttest vor ($p = 0,005$). Die Berechnung der Effektstärke ergibt für Lerngruppe B einen mittleren Effekt ($d = 0,612$).

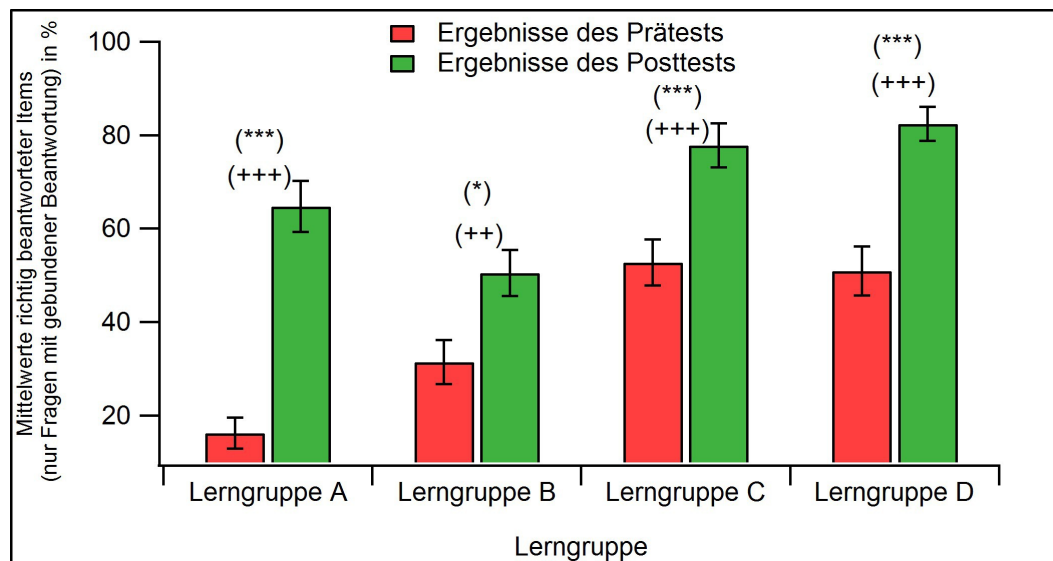


Abb. 11: Graphische Darstellung der Mittelwerte richtig beantworteter Items (unter Ausschluss der Items mit offenem Antwortformat) von Prä- und Posttest separiert nach den Lerngruppen A, B, C und D in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.

Dargestellt sind die Mittelwerte richtig beantworteter Items (unter Ausschluss der Items mit offenem Antwortformat) in Prä- und Posttest für die Lerngruppen A, B, C und D. Die Mittelwerte des Prätests sind in rot dargestellt und die Mittelwerte des Posttests in grün. Zudem sind die Standardfehler der jeweiligen Mittelwerte angegeben. Die Daten werden zur besseren Vergleichbarkeit der Lerngruppen in % angegeben. Weiterhin wird die Signifikanz des Unterschiedes zwischen den Mittelwerten nach Neyman und Pearson (1933) bezüglich Prä- und Posttest ($p \leq 0,05$ = signifikant (*), $p \leq 0,01$ = hoch signifikant (**), $p \leq 0,001$ = höchst signifikant (***)) sowie die Effektstärke nach Cohen (1992) ($d \geq 0,2$ = kleiner Effekt (+), $d \geq 0,5$ = mittlerer Effekt (++), $d \geq 0,8$ = starker Effekt (+++)) angegeben.

3.3 Vergleich des Lernzuwachses in Abhängigkeit vom Erkläransatz

In diesem Abschnitt wird der tatsächliche Lernzuwachs der Lernenden durch die jeweilige Erklärung ermittelt und in Abhängigkeit vom gewählten Erkläransatz untersucht. Dazu wird die Differenz richtig beantworteter Items aus Prä- und Posttest für jede Lerngruppe gebildet, um ein Maß für den Lernzuwachs zu erhalten. Aufgrund der Ergebnisse aus Kap. 3.2.2 und 3.2.3 werden dabei nur die Items mit gebundener Beantwortung berücksichtigt, da sich hierbei bereits zeigte, dass die Durchführung der Lehrererklärung einen positiven Einfluss auf den Wissenserwerb bei den Schülerinnen und Schülern hat. Dieser Effekt lässt sich bei Einbeziehung der Items mit offenem Antwortformat jedoch nicht feststellen.

3.3.1 Die Vertauschung der Seiten beim Spiegel

Die Durchführung eines Kolmogorov-Smirnov-Tests für den Lernzuwachs für die Lerngruppen A und B, welchen das Phänomen der Vertauschung der Seiten beim Spiegel jeweils einmal nach dem induktiven Erkläransatz und einmal nach dem deduktiven Erkläransatz näher gebracht wurde, ergibt, dass für beide Lerngruppen der Lernzuwachs als normalverteilte Größe angenommen werden kann. Die Vergleich der Mittelwerte erfolgt daher unter Anwendung des T-Tests für unabhängige Stichproben. Die Ergebnisse des T-Tests sind in Abb. 12 dargestellt.

Für Lerngruppe A ($n = 21$) beträgt der mittlere Lernzuwachs unter Einbeziehung aller Items mit gebundener Beantwortung 48,57 %. Der mittlere Lernzuwachs in Lerngruppe B ($n = 21$) fällt mit 19,05 % deutlich geringer aus. Die Analyse mittels T-Test ergibt, dass zwischen dem mittleren prozentualen Lernzuwachs in Lerngruppe A und dem mittleren prozentualen Lernzuwachs in Lerngruppe B ein höchst signifikanter Unterschied besteht ($p = 0,001$). Die Effektstärke beträgt $d = 0,747$ und entspricht damit einem mittleren Effekt.

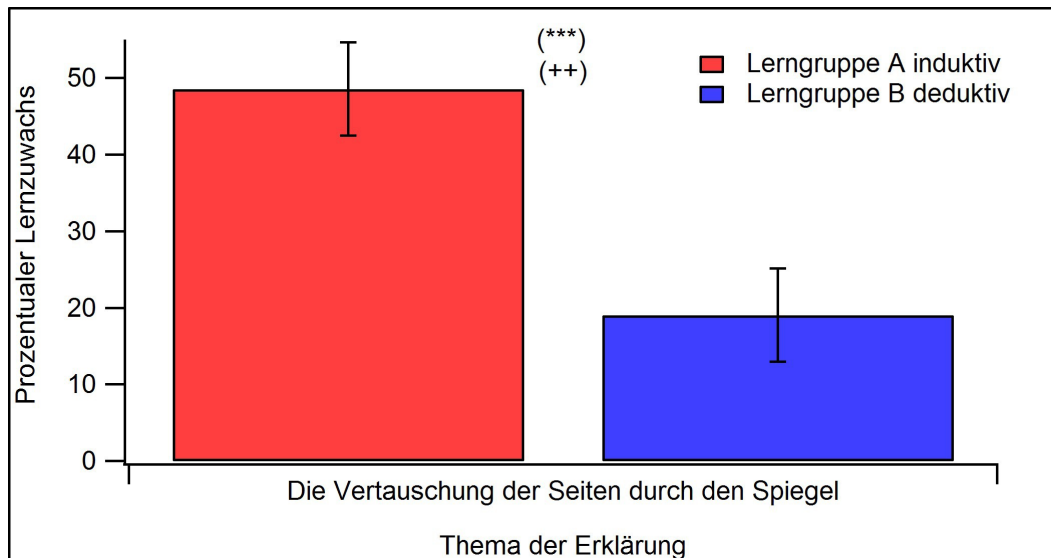


Abb. 12: Graphische Darstellung der Mittelwerte des prozentualen Lernzuwachses in Abhängigkeit vom Erkläransatz in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.

Dargestellt sind die Mittelwerte des prozentualen Lernzuwachses (unter Ausschluss der Items mit offenem Antwortformat) für die Lerngruppen A und B. Der prozentuale Lernzuwachs in Lerngruppe A ist in rot dargestellt und der prozentuale Lernzuwachs in Lerngruppe B in blau. In Lerngruppe A wurde der induktive Erkläransatz verwendet, während in Lerngruppe B der deduktive Erkläransatz Anwendung fand. Zudem sind die Standardfehler der jeweiligen Mittelwerte angegeben. Weiterhin wird die Signifikanz des Unterschiedes zwischen den Mittelwerten nach Neyman und Pearson (1933) bezüglich der Lerngruppen A und B ($p \leq 0,05$ = signifikant (*), $p \leq 0,01$ = hoch signifikant (**), $p \leq 0,001$ = höchst signifikant (***)) sowie die Effektstärke nach Cohen (1992) ($d \geq 0,2$ = kleiner Effekt (+), $d \geq 0,5$ = mittlerer Effekt (++), $d \geq 0,8$ = starker Effekt (+++)) angegeben.

3.3.2 Der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur

Für die Lerngruppen C und D, welchen der Unterschied zwischen Wärme und Temperatur jeweils einmal nach dem induktiven und dem deduktiven Erkläransatz verdeutlicht wurde, zeigt der Kolmogorov-Smirnov-Test, dass auch hier der Lernzuwachs für beide Lerngruppen als normalverteilt angenommen werden kann. Entsprechend erfolgt die Analyse der Mittelwerte auch hier mit Hilfe des T-Tests (s. Abb. 13).

Für Lerngruppe C ($n = 18$) beträgt der mittlere Lernzuwachs unter Einbeziehung aller Items mit gebundener Beantwortung 25 %. Der mittlere Lernzuwachs in Lerngruppe D ($n = 19$) fällt mit 30,7 % etwas höher aus. Die Analyse mittels T-Test ergibt jedoch, dass zwischen dem mittleren prozentualen Lernzuwachs in Lerngruppe C und dem mittleren prozentualen Lernzuwachs in Lerngruppe D kein signifikanter Unterschied besteht ($p = 0,528$).

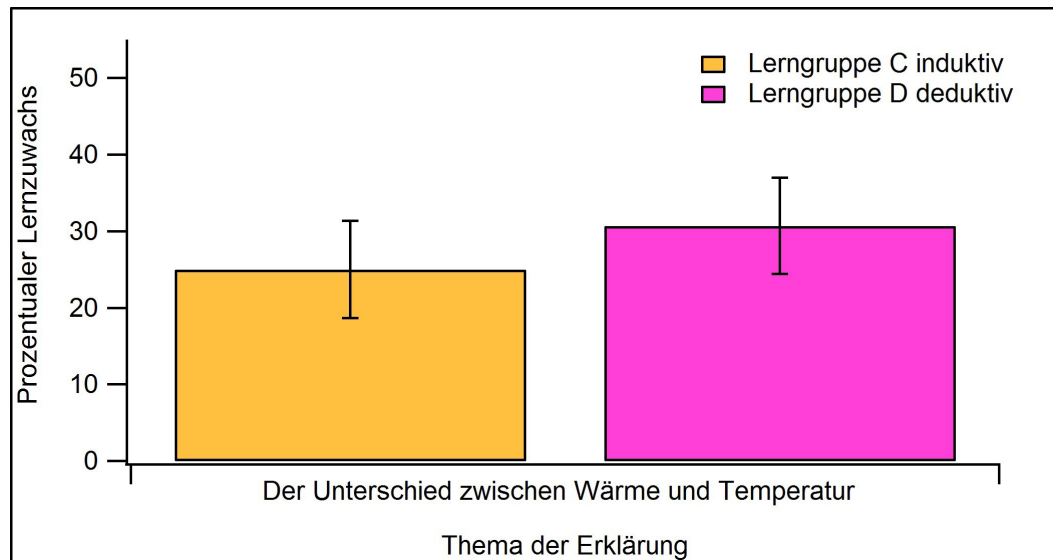


Abb. 13: Graphische Darstellung der Mittelwerte des prozentualen Lernzuwachses in Abhängigkeit vom Erkläransatz in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.

Dargestellt sind die Mittelwerte des prozentualen Lernzuwachses (unter Ausschluss der Items mit offenem Antwortformat) für die Lerngruppen C und D. Der prozentuale Lernzuwachs in Lerngruppe C ist in orange dargestellt und der prozentuale Lernzuwachs in Lerngruppe D in pink. In Lerngruppe C wurde der induktive Erkläransatz verwendet, während in Lerngruppe D der deduktive Erkläransatz Anwendung fand. Zudem sind die Standardfehler der jeweiligen Mittelwerte angegeben.

4 Diskussion der Ergebnisse

Nachdem in Kap. 3 die Ergebnisse der im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführten Studie dargestellt wurden, sollen diese nun diskutiert und bezüglich des bisherigen Forschungsstandes analysiert werden. Abschließend wird die Studie hinsichtlich ihrer Durchführung reflektiert.

4.1 Vergleichbarkeit der Lerngruppen

Zunächst wird in Kap. 3 untersucht, inwiefern die jeweiligen Lerngruppen (A und B sowie C und D) bezüglich Leistungsstärke und Sach- und Fachinteresse miteinander vergleichbar sind. Für die Lerngruppen A und B zeigt sich, dass sich diese bezüglich der Vornoten in keinem der drei Fächer (Naturwissenschaften, Mathematik und Deutsch) signifikant voneinander unterscheiden. Da sich zeigen lässt, dass sich aus Schulnoten Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit eines Menschen ziehen lassen (Preckel und Baudson 2013, S. 41 f.), kann aus diesen Ergebnissen geschlossen werden, dass sich die Lerngruppen A und B nicht signifikant in ihrer Leistungsstärke unterscheiden und daher in diesem Punkt als vergleichbare Probandengruppen angesehen werden können. Die Aussagekraft des Durchschnitts der Schulnoten ist dabei umso höher je mehr Fächer betrachtet werden (Preckel et al. 2013, S. 41 f.). Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieser Studie nicht ausschließlich die Physik- bzw. NaWi-Note erhoben, sondern es wurden zusätzlich auch die durchschnittliche Mathematiknote und die durchschnittliche Deutschnote der beiden Lerngruppen miteinander verglichen. Da sich die Lerngruppen A und B weiterhin nicht signifikant bezüglich Sach- und Fachinteresse unterscheiden, unterstreicht dieser Aspekt das Vorhandensein homogener Probandengruppen.

Für den Fall der Lerngruppen C und D kann registriert werden, dass sich diese sowohl in der Deutsch- als auch in der Mathematiknote signifikant voneinander unterscheiden (s. Abb. 7). Hinsichtlich der letzten Physiknote unterscheiden sich beide Lerngruppen jedoch nicht signifikant voneinander. Die Unterschiede in der Mathematik- bzw. Deutschnote lassen sich darauf zurückführen, dass es sich bei beiden Lerngruppen um Kurse aus der Einführungsphase der gymnasialen Oberstufe handelt. Die Kurse setzen sich dabei aus Lernenden verschiedener Profile zusammen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Lerngruppe C zu einem großen Anteil aus Schülerinnen und Schülern besteht, welche das Mathematikprofil belegen. In Lerngruppe D belegt

dagegen die Mehrheit der Schülerinnen und Schüler das Pädagogikprofil. Um genauere Aussagen zur Leistungsstärke der Lerngruppen und deren Vergleichbarkeit treffen zu können hätten daher hier auch die Vornoten in den anderen Fächern erhoben werden können.

Um den Effekt dieses signifikanten Unterschiedes in der Deutsch- und Mathematiknote für die Studie zu untersuchen, wird die Durchschnittsnote aus allen drei Fächern als Gesamtmaß für die Leistungsstärke betrachtet. Für Lerngruppe C ergibt sich eine durchschnittliche Note von 8,33 Notenpunkten bei einem Standardfehler von 0,4. Analog ergibt sich für Lerngruppe D eine mittlere Note von 7,14 Notenpunkten unter Berücksichtigung eines Standardfehlers von 0,44. Die Durchführung eines Kolmogorov-Smirnov-Tests ergibt eine Signifikanzniveau von 0,371, sodass die Durchschnittsnote als normalverteilt angenommen werden kann. Eine Untersuchung der Mittelwerte mit dem T-Test für unabhängige Stichproben ergibt, dass sich auch die Durchschnittsnoten aus den drei Fächern der Lerngruppen C und D signifikant voneinander unterscheiden ($p = 0,048$). Eine Berechnung der Effektstärke zeigt jedoch, dass dieser Unterschied einem kleinen Effekt entspricht ($d = 0,344$). Zusätzlich lässt sich das Auftreten eines signifikanten Unterschiedes hinsichtlich der Leistungsfähigkeit zwischen den Lerngruppen C und D möglicherweise darauf zurückführen, dass die Vornoten hier in Form von Notenpunkten erhoben wurden. Somit liegt eine differenziertere Skala vor (0 – 15 Punkte) als bei den Lerngruppen A und B (Noten 1 – 6). Aufgrund dieser Tatsache und dem gezeigten kleinen Effekt kann im Rahmen dieser Studie trotzdem von vergleichbaren Probandengruppen ausgegangen werden. Weiterhin lässt sich bezüglich der Lerngruppen C und D ein hoch signifikanter Unterschied im Sachinteresse feststellen (s. Abb. 8). Da der Unterschied einem starken Effekt entspricht, ist dies bei der Analyse der Ergebnisse des Fragebogens zu berücksichtigen, da vorherige Studien belegen, dass zwischen Interesse und Wissenserwerb ein Zusammenhang besteht (Götz et al. 2009; Krapp 2007).

4.2 Analyse des Wissenserwerbs zwischen Prä- und Posttest

In Kap. 3.2 wurden für jede der Lerngruppen A, B, C und D die Ergebnisse des Prätests mit den Ergebnissen des Posttests verglichen. Die Analyse der Mittelwerte der Anzahl richtig beantworteter Items ergab, dass sich nur in Lerngruppe A ein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen von Prä- und Posttest beobachten lässt. Berücksichtigt man jedoch nur die Items mit gebundener Beantwortung und bezieht die

Items mit offenem Antwortformat aus dem Posttest nicht in die Auswertung mit ein, stellt man fest, dass sich für jede der Lerngruppen ein signifikanter Unterschied der Ergebnisse zwischen Prä- und Posttest feststellen lässt (s. Abb. 11). In drei der vier Lerngruppen (A, C und D) liegt sogar ein höchst signifikanter Unterschied vor, wobei dies zusätzlich in allen drei Fällen einem starken Effekt entspricht. Einzig in Lerngruppe B lässt sich ein mittlerer Effekt registrieren. Dies bestätigt die Ergebnisse vorheriger Studien, die zeigen, dass eine Lehrererklärung durchaus einen positiven Lerneffekt bei den Lernenden bewirken kann (Geelan 2012), auch wenn der Selbsterklärung eines Phänomens durch Schülerinnen und Schüler in der Literatur ein größerer Effekt zugeschrieben wird (Renkl et al. 2006; Webb 1992).

Zudem unterstreichen die Ergebnisse dieser Studie damit die hohe Bedeutung, die Lehrerklärungen für Schülerinnen und Schüler darstellen (Wilson et al. 2011a; Leisen 2007). Die Tatsache, dass sich dieser Effekt nur erkennen lässt, wenn Items in Form von gebundener Beantwortung eingesetzt werden, kann im Zusammenhang damit stehen, dass die Probanden bei Fragen mit offenem Antwortformat oft aus Angst vor Rechtschreibfehlern oder aufgrund stilistischer Mängel oft nur kurze und unvollständige Antworten geben (Bortz et al. 2002, S. 255). Diesen Fakt in Zusammenhang mit dem Wissenserwerb durch die Erklärung zu stellen scheint in sofern widersprüchlich, als dass die Items der Fragen mit offenem Antwortformat so konzipiert sind, dass sie eine reine Reproduktion des erklärten physikalischen Sachverhalts erfordern. Die Fragen mit gebundener Beantwortung erfordern hingegen die Anwendung des dargestellten Phänomens. Die kognitiven Anforderungen an die Lernenden sind somit bei den Fragen mit gebundener Beantwortung ungleich höher.

Die Ergebnisse dieser Studie unterstützen daher die These, dass bei schriftlichen Erhebungen Items mit gebundener Beantwortung gegenüber Fragen mit offenem Antwortformat vorzuziehen sind (Bortz et al. 2002, S. 253 ff.).

4.3 Wissenserwerb in Abhängigkeit vom Erkläransatz

Den zentralen Gegenstand dieser Masterarbeit stellt die Abhängigkeit des Wissenserwerbs vom gewählten Erkläransatz dar (s. Kap. 3.3). Bei der hier durchgeführten Beobachtung ließ sich beobachten, dass sich beim physikalischen Phänomen der Vertauschung der Seiten beim Spiegel ein höchst signifikanter Unterschied im Wissenserwerb zwischen dem induktiven und dem deduktiven Erkläransatz herauskristallisiert hat. Die Lerngruppe, welcher das Phänomen nach dem

induktiven Erkläransatz näher gebracht wurde, erzielte einen höchst signifikant höheren Lernzuwachs als die Lerngruppe, der das Phänomen nach dem deduktiven Erkläransatz verdeutlicht wurde. Eine Betrachtung der Effektstärke ergab dabei einen mittleren Effekt. Dieses Ergebnis steht zu gewissen Teilen nicht im Einklang mit dem bisherigen Forschungsstand, in welchem mehrheitlich der deduktive Erkläransatz vorzufinden ist (Bartelborth 2007, S. 23 ff.; Kulgemeyer 2016).

Im Fall der Erklärung des Unterschiedes zwischen Wärme und Temperatur kann kein signifikanter Unterschied im Wissenserwerb zwischen den beiden Lerngruppen beobachtet werden. Dies stützt bisherige Erkenntnisse, dass das Thema einer Erklärung einen entscheidenden Faktor bei der Wahl des Erkläransatzes darstellt (Kulgemeyer 2016). Hier können allerdings auch andere Aspekte diesem Ergebnis zugrunde liegen. Zum einen handelt es sich beim Unterschied zwischen Wärme und Temperatur um zwei Oberstufenkurse, während die Erklärung der Vertauschung der Seiten durch den Spiegel mit Lernenden der Sekundarstufe I durchgeführt wurde. Es besteht somit die Möglichkeit, dass auch das unterschiedliche Alter der Probanden eine Rolle bei der Wahl des Erkläransatzes spielt.

Ein weiterer Punkt betrifft das signifikant höhere Sachinteresse der Lerngruppe, in welcher der deduktive Erkläransatz angewendet wurde, gegenüber der Lerngruppe, in welcher der induktive Erkläransatz Anwendung fand. Da das Interesse einen relevanten Faktor im Zusammenhang mit dem Wissenserwerb repräsentiert (Götz et al. 2009), kann es sein, dass diese Tatsache der beim Spiegel festgestellten Erkenntnis im Wege steht. Das höhere Sachinteresse der Lerngruppe D neutralisiert möglicherweise den höheren Effekt auf den Wissenserwerb des induktiven Erkläransatzes verglichen mit dem deduktiven Erkläransatz. Hierzu ist zukünftige Forschung erforderlich, die den Einfluss des Interesses der Lerngruppe auf den zu wählenden Erkläransatz genauer untersucht. Generell lässt sich jedoch anhand der hier erzielten Ergebnisse nicht zeigen, dass der deduktive Erkläransatz einen größeren Effekt auf den Wissenserwerb hat, als der induktive Erkläransatz. An dieser Stelle ist allerdings darauf hinzuweisen, dass im Zuge dieser Studie ausschließlich der Kompetenzbereich Fachwissen erhoben wurde. Weitergehende Aussagen über einen Kompetenzzuwachs der Lernenden in den Kompetenzbereichen Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung lassen sich daher anhand der Ergebnisse dieser Studie nicht treffen. In diesem Zusammenhang ist auch eine differenzierte Betrachtung der Ergebnisse nach den Anforderungsbereichen Reproduktion, Anwendung und Transfer im Rahmen dieser Masterarbeit nicht erfolgt. Da Renkl et al. (2013) feststellten, dass Unterschiede im Wissenserwerb bezüglich der

Anforderungsbereiche in Abhängigkeit vom Erkläransatz zu beobachten sind, wäre eine Untersuchung dieses Zusammenhangs auch für die hier durchgeführte Studie interessant. Dies spricht dafür, dass die Untersuchung der Struktur und Anordnung einer Lehrererklärung auch in Zukunft ein breites Gebiet in der fachdidaktischen Forschung darstellt.

4.4 Kritische Reflexion der Studie

Bezüglich der Konzeption und Durchführung dieser Studie muss zunächst festgehalten werden, dass die Stichproben im Rahmen dieser Masterarbeit vergleichsweise klein waren, sodass repräsentative Aussagen auf Grundlage der hier gewonnenen Daten schwierig sind. Gleichwohl die Reliabilität der eingesetzten Fragebögen gegeben war, hätte die Verwendung einer größeren Zahl von Items differenziertere Aussagen ermöglicht. So hätte beispielsweise genauer untersucht werden können, welche konkreten Inhalte der Erklärung den Lernenden im Gedächtnis geblieben sind. Eine Pilotierung des Fragebogens hätte zudem den Ausschluss bestimmter Items bei der Auswertung verhindern können, da sich der Fragebogen anhand der Ergebnisse einer ständigen Reliabilitätsanalyse optimieren lässt.

Bei genauerer Betrachtung des Fragebogens fällt zudem auf, dass die Fragebögen von Spiegel und Wärme hinsichtlich des Schwierigkeitsgrades der Items nicht konsistent sind. Die Items im Fragebogen für den Unterschied zwischen Wärme und Temperatur erfordern in größerem Maße das Übertragen des Wissens auf andere Situationen, während die Items des Fragebogens zum Spiegel fast ausschließlich reproduktiven Charakter aufweisen. Hier hätte eine sorgfältigere und damit eine besser vergleichbare Auswahl der Items getroffen werden können. Eine weitere Optimierung der Studie stellt die Erhebung der Motivation der Lerngruppen dar, da sich in bisherigen Forschungsergebnissen Hinweise darauf finden lassen, dass neben dem Interesse auch die Motivation entscheidend zum Wissenserwerb beiträgt (Götz et al. 2009). Dieser Aspekt konnte jedoch im Rahmen dieser Masterarbeit nicht berücksichtigt werden, sodass es möglich ist, dass auch eine unterschiedlich hohe Motivation mitentscheidenden Charakter bei den hier dargestellten Ergebnissen besitzt.

Kritisch zu hinterfragen ist auch das Vorgehen im Rahmen dieser Studie. Nach Leisen (2007) beschreibt die hier durchgeführte Studie mehr einen Lehrervortrag als eine Lehrererklärung. Bei der Erklärung handelt es sich um einen Prozess, während hier eine abgeschlossene Handlung in Form einer instruktionalen Phase zur Erhebung der Daten

herangezogen wurde. Zentrale Merkmale des Erklärprozesses, wie eine Diagnose und ständige Evaluation, wurden im Rahmen dieser Masterarbeit vernachlässigt. Auch die, für den Erfolg einer Erklärung wichtige, Übungsphase im Anschluss an die instruktionale Phase fehlt bei der hier durchgeführten Erhebung. Zudem waren die instruktionalen Phasen bei der tatsächlichen Durchführung mit jeweils knapp 15 Minuten etwas länger als nach aktuellem Forschungsstand angemessen (Kulgemeyer 2016).

Fazit und Ausblick

In diesem Kapitel soll ein zusammenfassendes Fazit bezüglich der Ergebnisse der Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführten empirischen Studie gezogen werden. Abschließend soll ein Ausblick gegeben werden, welche Fragen sich aus den Ergebnissen dieser Masterarbeit für zukünftige Forschung ergeben.

Aus den Ergebnissen der empirischen Untersuchung zur Wirkung von induktiven und deduktiven Erkläransätzen im Bezug auf den Wissenserwerb im Physikunterricht lässt sich zunächst allgemein schließen, dass sowohl induktive als auch deduktive Erkläransätze einen positiven Effekt auf den Wissenserwerb der Schülerinnen und Schüler im Bereich Fachwissen haben. Es lässt sich demnach anhand dieser Studie zeigen, dass Lehrerklärungen generell eine große Wirkung im Bereich des Wissenserwerbs bei Schülerinnen und Schüler haben, sodass sich die Ergebnisse vorheriger Untersuchungen bezüglich der Wirksamkeit von Lehrerklärungen anhand der Ergebnisse dieser Studie bestätigen lassen (Geelan 2012). Auch wenn Selbsterklärungen durch Schülerinnen und Schüler in der Literatur ein größerer Lerneffekt zugeschrieben wird (Renkl et al. 2006; Webb 1992), zeigen die Ergebnisse dieser Studie, dass auch Lehrerklärungen im Unterricht von zentraler Bedeutung sind und nicht vernachlässigt werden sollten. Dies rechtfertigt aus fachdidaktischer Sicht den recht hohen Anteil (10 – 30 %) der Unterrichtszeit, welchen Lehrerklärungen laut den Ergebnissen empirischer Studien einnehmen (Brown 2006). Insbesondere für die Erklärung komplexer Sachverhalte ist die Lehrerklärung der Selbsterklärung durch die Lernenden vorzuziehen (Kulgemeyer 2016).

Auf den Vergleich des Wissenserwerbs bei induktiven und deduktiven Erkläransätzen bezogen lassen sich aus den Ergebnissen dieser Studie keine eindeutigen Ergebnisse erzielen. Zwar konnte für die Vertauschung der Seiten beim Spiegel gezeigt werden, dass im Fall der Anwendung des induktiven Erkläransatzes ein höchst signifikant größerer Wissenserwerb bei den Lernenden erzielt werden konnte, für die Erklärung des Unterschiedes zwischen Wärme und Temperatur ließ sich dieser Effekt dagegen nicht beobachten. Es lässt sich anhand der Ergebnisse der hier durchgeführten Untersuchung daher nicht einwandfrei belegen, dass die Struktur bzw. die Anordnung der einzelnen Elemente einer Lehrerklärung tatsächlich einen Einfluss auf den Wissenserwerb bei den Schülerinnen und Schülern hat. Berücksichtigt man die Ergebnisse beider Vergleichsgruppen, lässt sich dennoch zeigen, dass die bisherige zu starke

Konzentration des Aufbaus von Lehrerklärungen auf den deduktiven Erkläransatz kritisch zu hinterfragen ist. Die Ergebnisse belegen, dass auch der induktive Erkläransatz signifikante Effekte im Wissenserwerb erzielen kann und somit in zukünftigen Studien zu Unterrichtserklärungen eine stärkere Berücksichtigung erhalten sollte. Im Zusammenhang mit Forschung zur Wirksamkeit verschiedener Erkläransätze weisen die hier erzielten Erkenntnisse darauf hin, dass weiterführende Untersuchungen bezüglich des Zusammenhangs zwischen dem Thema der Erklärung und dem zu wählenden Erkläransatz notwendig sind.

Weiterhin wirft das Ergebnis dieser Studie die Frage nach einer möglichen Abhängigkeit des effektiveren Erkläransatzes vom Sachinteresse der Lerngruppe auf. Möglicherweise ist die ausbleibende Abweichung im Wissenserwerb zwischen den Erkläransätzen in der zweiten Vergleichsgruppe auf das signifikant höhere Sachinteresse einer der Lerngruppen gegenüber der anderen Lerngruppe zurückzuführen. Ein weiteres zukünftiges Forschungsfeld stellt die Untersuchung zwischen dem Erkläransatz und dem Alter der Probanden dar. Hier konnte gezeigt werden, dass bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I der induktive Erkläransatz einen signifikant größeren Effekt auf den Wissenserwerb der Lernenden hat. Bei der Durchführung der Studie mit Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe ließ sich kein signifikant unterschiedlicher Wissenserwerb zwischen beiden Erkläransätzen feststellen. Bei einer Untersuchung mit Lehramtsstudierenden stellten Renkl et al. (2006) weiterhin einen signifikant höheren Lernzuwachs im Fachwissen bei der Anwendung des deduktiven Erkläransatzes fest. Dies deutet auf einen möglichen Einfluss des Alters auf den Effekt unterschiedlicher Erkläransätze hin.

Die hier beschriebenen Erkenntnisse beschränken sich zudem auf den Bereich des Fachwissens. Zukünftige Studien könnten daher einen stärkeren Fokus auf die Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung legen, um differenzierte Aussagen bezüglich möglicher Unterschiede in den einzelnen Kompetenzbereichen durch die verschiedenen Erkläransätze treffen zu können.

Alles in allem lässt sich abschließend festhalten, dass unter Berücksichtigung der vorhergehend genannten Aspekte weiterführende Studien nötig sind, um präzisere und repräsentative Aussagen bezüglich der Abhängigkeit des Wissenserwerbs vom gewählten Erkläransatz treffen zu können.

Verzeichnisse

Literaturverzeichnis

- Bartelborth, Thomas** (2007): Erklären. Berlin/Boston: De Gruyter (Grundthemen Philosophie).
- Bortz, Jürgen; Döring, Nicola** (2002): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. 3., überarb. Aufl. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch).
- Brown, George** (2006): Explaining. In: Owen Hargie (Hg.): The handbook of communication skills. 3. ed. London: Routledge, 195–228.
- Bühl, Achim** (2008): SPSS 16. Einführung in die moderne Datenanalyse. 11., überarbeitete und erweiterte Auflage. München, Boston, San Francisco: Pearson Studium (st - Scientific tools).
- Bühner, Markus** (2011): Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion. 3., aktualisierte und erw. Aufl. München: Pearson Studium (PS Psychologie).
- Bühner, Markus; Ziegler, Matthias** (2017): Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Hallbergmoos, Germany: Pearson (PS Psychologie).
- Chi, Michelene T. H.; Bassok, Miriam; Lewis, Matthew W.; Reimann, Peter; Glaser, Robert** (1989): Self-Explanations: How Students Study and Use Examples in Learning To Solve Problems. In: *Cognitive Science* (13), 145–182.
- Chi, Michelene T. H.; Siler, Stephanie A.; Jeong, Heisawn; Yamauchi, Takashi; Hausmann, Robert G.** (2001): Learning from human tutoring. In: *Cognitive Science* (25), 471–533.
- Cohen, Jacob** (1992): A power primer. In: *Psychological Bulletin* 1 (112), 155–159.
- Die Senatorin für Bildung und Wissenschaft** (2008): Physik. Bildungsplan für die Gymnasiale Oberstufe. Bremen.
- Dreyfus, Amos; Jungwirth, Ehud; Elovitch, Ronit** (1990): Applying the "Cognitive Conflict" Strategy for Conceptual Change. Some Implications, Difficulties, and Problems. In: *Science Education* 74 (5), 555–569.

- Duit, Reinders** (2007): Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In: Ernst Kircher, Raimund Girwitz und Peter Häußler (Hg.): Physikdidaktik. Theorie und Praxis. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch), 581–606.
- Duit, Reinders** (2010): Wege in die Wärmelehre. Schülervorstellungen zu den Grundbegriffen der Wärmelehre und zu Wärmephänomenen. In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 21 (115), 4–7.
- Duit, Reinders; Treagust, David F.** (2003): Conceptual Change. A Powerful Framework for Improving Science Teaching and Learning. In: *International Journal of Science Education* 25 (6).
- Findeisen, Stefanie** (2017): Fachdidaktische Kompetenzen angehender Lehrpersonen. Eine Untersuchung zum Erklären im Rechnungswesen. 1. Auflage 2017. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (Economics Education und Human Resource Management).
- Geelan, David** (2012): Teacher Explanations. In: Barry J. Fraser, Kenneth George Tobin und Campbell J. McRobbie (Hg.): Second international handbook of science education. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer (Springer international handbooks of education, Volume 24), 987–999.
- Gilbert, John K.; Nakhleh, Mary; Reiner, Miriam** (Hg.) (2008): Visualization. Theory and Practice in Science Education. Dordrecht: Springer Science+Business Media B.V (Models and Modeling in Science Education, 3).
- Götz, Thomas; Frenzel, Anne C.; Pekrun, Reinhard** (2009): Psychologische Bildungsforschung. In: Handbuch Bildungsforschung. Wiesbaden: VS, Verl. für Sozialwiss, 71–91.
- Halliday, David; Resnick, Robert** (1994): Physik. Berlin, New York: De Gruyter.
- Harder, Paul** (2014): Werthaltungen und Ethos von Lehrern. Empirische Studie zu Annahmen über den guten Lehrer. Zugl.: Bamberg, Univ., Diss., 2014. Bamberg: Univ. of Bamberg Press (Schriften aus der Fakultät Sozial- und Wirtschaftswissenschaften der Otto-Friedrich-Universität Bamberg, 12).
- Hempel, Carl G.** (1977): Aspekte wissenschaftlicher Erklärung. Berlin West: De Gruyter ((De-Gruyter-Studienbuch).
- Hempel, Carl G.; Oppenheim, Paul** (1948): Studies in the Logic of Explanation. In: *Philosophy of Science* 15 (2), 135–175.

Krapp, Andreas (2007): An educational–psychological conceptualisation of interest. In: *International Journal for Educational and Vocational Guidance* 7 (1), 5–21.

Kulgemeyer, Christoph (2013): Gelingensbedingungen physikalischer Erklärungen. In: *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2013*.

Kulgemeyer, Christoph (2016): Lehrkräfte erklären Physik. Rolle und Wirksamkeit von Lehrererklärungen im Physikunterricht. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 27 (152), 2–9.

Kulgemeyer, Christoph; Schecker, Horst (2009a): Kommunikationskompetenz in der Physik. Zur Entwicklung eines domänenspezifischen Kommunikationsbegriffs. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 15, 131-153.

Kulgemeyer, Christoph; Schecker, Horst (2009b): Physikalische Darstellungsformen. Ein Beitrag zur Klärung von "Kommunikationskompetenz". In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 62 (6), 328–331.

Kulgemeyer, Christoph; Schecker, Horst (2013): Students Explaining Science-- Assessment of Science Communication Competence. In: *Research in Science Education* 43 (6), 2235–2256.

Kulgemeyer, Christoph; Tomczyszyn, Elisabeth (2015): Physik erklären – Messung der Erklärens-fähigkeit angehender Physiklehrkräfte in einer simulierten Unterrichtssituation. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 21 (1), 111–126.

Leisen, Josef (2007): Das Erklären im Unterricht. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 60 (8), 459–462.

Leisen, Josef (2013): Trägst du noch vor oder erklärst du schon? Der Lehrer als Erzähler oder als Erklärer. In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 24 (135/136), 26–32.

Limon, Margarita (2001): On the Cognitive Conflict as an Instructional Strategy for Conceptual Change. A Critical Appraisal. In: *Learning and Instruction* 11 (4-5), 357–380.

Lindner, Helmut; Koksche, Günther; Simon, Günter (1991): Physik für Ingenieure. Mit 72 Tabellen, 225 Beispielen und einer Farbtafel. Lizenzausg. u. 12. Aufl. Braunschweig: Vieweg (Viewegs Taschenbücher der Technik).

- Mayer, Richard E.; Jackson, Joshua** (2005): The Case for Coherence in Scientific Explanations. Quantitative Details Can Hurt Qualitative Understanding. In: *Journal of Experimental Psychology: Applied* 11 (1), 13–18.
- McCain, Kevin** (2015): Explanation and the Nature of Scientific Knowledge. In: *Science & Education* (24), 827–854.
- McNeill, Katherine L.; Krajcik, Joseph** (2008): Scientific Explanations. Characterizing and Evaluating the Effects of Teachers' Instructional Practices on Student Learning. In: *Journal of Research in Science Teaching* 45 (1), 53–78.
- Merzyn, Gottfried** (2005): Junge Lehrer im Referendariat. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 58 (1), 4–7.
- Murphy, Kevin R.; Davidshofer, Charles O.** (2001): Psychological testing. Principles and applications. 5. ed., international ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Neyman, Jerzy; Pearson, Egon Sharpe** (1933): The testing of statistical hypotheses in relation to probabilities a priori. In: *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 4 (29), 492–510.
- Ogborn, Jon** (1996): Explaining science in the classroom. Buckingham: Open University Press.
- Paas, Fred; Renkl, Alexander; Sweller, John** (2003): Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. In: *Educational Psychologist* 38 (1), 1–4.
- Polifke, Wolfgang; Kopitz, Jan** (2009): Wärmeübertragung. Grundlagen, analytische und numerische Methoden. 2., aktualisierte Aufl. München: Pearson Studium (ing - Maschinenbau).
- Preckel, Franzis; Baudson, Tanja Gabriele** (2013): Hochbegabung. Erkennen, Verstehen, Fördern. 1. Aufl. München: C.H.Beck (Beck'sche Reihe, 2786).
- Renkl, A.** (2002): Worked-Out Examples. Instructional Explanations Support Learning by Self-Explanations. In: *Learning and Instruction* 12 (5), 529–556.

Renkl, Alexander; Wittwer, Jörg; Große, Cornelia; Schworm, Silke; Hauser, Sabine; Hilbert, Tatjana; Nückles, Matthias (2006): Instruktionale Erklärungen beim Erwerb kognitiver Fertigkeiten. Sechs Thesen zu einer oft vergeblichen Bemühung. In: Ingmar Hosenfeld und Friedrich-Wilhelm Schrader (Hg.): *Schulische Leistung. Grundlagen, Bedingungen, Perspektiven*. Münster, Westfalen u.a.: Waxmann, 205–223.

Roehler, Laura R.; Duffy, Gerald G. (1986): What makes one teacher a better explainer than another. In: *Journal of Education for Teaching* 12 (3), 273–284.

Rusch, Gebhard (1999): Eine Kommunikationstheorie für kognitive Systeme. In: Gebhard Rusch, Siegfried J. Schmidt und Roland Burkart (Hg.): *Konstruktivismus in der Medien- und Kommunikationswissenschaft*. 1. Aufl., Orig.-Ausg. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft, 1340), 150–184.

Schecker, Horst (2014): Überprüfung der Konsistenz von Itemgruppen mit Cronbachs α . In: Dirk Krüger, Ilka Parchmann und Horst Schecker (Hg.): *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung (Zusatzmaterialien)*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum (Lehrbuch), o. S.

Schoen, Lutz (1994): Ein Blick in den Spiegel. Von der Wahrnehmung zur Physik. In: *Physik in der Schule* 32 (1), 2–5.

Seidel, Tina; Blomberg, Geraldine; Renkl, Alexander (2013): Instructional strategies for using video in teacher education. In: *Teaching and Teacher Education* 29 (34), 56–65.

Shulman, Lee S. (1986): Those Who Understand. Knowledge Growth in Teaching. In: *Educational Researcher* 15 (2), 4–14.

Tachtsoglou, Sarantis; König, Johannes (2017): Statistik für Erziehungswissenschaftlerinnen und Erziehungswissenschaftler. Konzepte, Beispiele und Anwendungen in SPSS und R. Wiesbaden: Springer VS (Lehrbuch).

Tomczyszyn, Elisabeth; Kulgemeyer, Christoph (2016): Wie kann man eine verständliche Lehrererklärung vorbereiten? Ein Blick auf das adressatengemäße Erklären. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 27 (152), 10–15.

Treagust, David; Harrison, Allan (1999): The Genesis of Effective Scientific Explanations for the Classroom. In: John Loughran (Hg.): *Researching teaching. Methodologies and practices for understanding pedagogy*. London: Routledge, 28–43.

- Webb, Noreen M.** (1992): Testing a Theoretical Model of Student Interaction and Learning in Small Groups. In: Rachel Hertz-Lazarowitz und Norman Miller (Hg.): Interaction in Cooperative Groups. The Theoretical Anatomy of Group Learning. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 102–116.
- Wiesner, Hartmut** (1995): Physikunterricht - an Schuelervorstellungen und Lernschwierigkeiten orientiert. In: *Unterrichtswissenschaft* 23 (2), 127–145.
- Wiesner, Hartmut; Schecker, Horst; Hopf, Martin** (Hg.) (2011): Physikdidaktik kompakt. Hallbergmoos: Aulis Verlag.
- Wilson, Helen; Mant, Jenny** (2011a): What Makes an Exemplary Teacher of Science? The Pupils' Perspective. In: *School Science Review* 93 (342), 121–125.
- Wilson, Helen; Mant, Jenny** (2011b): What Makes an Exemplary Teacher of Science? The Teachers' Perspective. In: *School Science Review* 93 (343), 115–119.
- Winkelmann, Jan** (2014): Auswirkungen auf den Fachwissenszuwachs und auf affektive Schülermerkmale durch Schüler- und Demonstrationsexperimente im Physikunterricht. Dissertation.
- Wittwer, Jörg; Renkl, Alexander** (2008): Why Instructional Explanations Often Do Not Work. A Framework for Understanding the Effectiveness of Instructional Explanations. In: *Educational Psychologist* 43 (1), 49–64.

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Tabellarische Übersicht der Erklärkonzepte zum Spiegel hinsichtlich der Berücksichtigung Elemente guter Erklärungen.....	29
Tab. 2: Tabellarische Übersicht der Erklärkonzepte zum Unterschied zwischen Wärme und Temperatur hinsichtlich der Berücksichtigung Elemente guter Erklärungen.....	35
Tab. 3: Überblick über die Grenzwerte der Signifikanzniveaus (Neyman und Pearson 1933).....	42
Tab. 4: Überblick über die Grenzwerte der Effektstärke (Cohen 1992).....	43
Tab. 5: Cronbach's Alpha getrennt nach den Lerngruppen A und B.....	LIII
Tab. 6: Cronbach's Alpha getrennt nach den Lerngruppen C und D.....	LIII
Tab. 7: Ergebnisse des Kolomogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung.....	LIV
Tab. 8: Mittelwerte und Standardabweichung bzw. Standardfehler getrennt nach den Lerngruppen A und B.....	LV
Tab. 9: Mittelwerte und Standardabweichung bzw. Standardfehler getrennt nach den Lerngruppen C und D.....	LVI
Tab. 10: Werte für das Signifikanzniveau.....	LVII
Tab. 11: Werte für die Effektstärke.....	LVIII

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Darstellung des physikspezifischen Prozesses der Unterrichtserklärung (Kulgemeyer et al. 2015, S. 116).....	6
Abb. 2: Prinzip der deduktiven Erklärung am Beispiel von leitendem Kupfer (Kulgemeyer 2016, S. 3).....	14
Abb. 3: Veranschaulichung des induktiven Erkläransatzes am Beispiel des dritten newtonschen Axioms.....	16
Abb. 4: Prinzipielles Vorgehen bei der empirischen Datenerhebung.....	21
Abb. 5: Graphische Darstellung der letzten Schulnoten in den Fächern Naturwissenschaften, Deutsch und Mathematik separiert nach den Lerngruppen A und B in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.....	45
Abb. 6: Graphische Darstellung der Mittelwerte von Sach- und Fachinteresse in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.....	46
Abb. 7: Graphische Darstellung der letzten Schulnoten (in Form von Notenpunkten) in Physik, Deutsch und Mathematik separiert nach den Lerngruppen C und D in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.....	47
Abb. 8: Graphische Darstellung der Mittelwerte von Sach- und Fachinteresse separiert nach den Lerngruppen C und D in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.....	48
Abb. 9: Graphische Darstellung der Mittelwerte richtig beantworteter Items von Prä- und Posttest separiert nach den Lerngruppen A und B in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.....	50
Abb. 10: Graphische Darstellung der Mittelwerte richtig beantworteter Items von Prä- und Posttest separiert nach den Lerngruppen C und D in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.....	52
Abb. 11: Graphische Darstellung der Mittelwerte richtig beantworteter Items (unter Ausschluss der Items mit offenem Antwortformat) von Prä- und Posttest separiert nach den Lerngruppen A, B, C und D in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.....	53
Abb. 12: Graphische Darstellung der Mittelwerte des prozentualen Lernzuwachses in Abhängigkeit vom Erkläransatz in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.....	55

Abb. 13: Graphische Darstellung der Mittelwerte des prozentualen Lernzuwachses in Abhängigkeit vom Erkläransatz in Form eines Säulendiagramms unter Angabe des Standardfehlers.....	56
---	----

Anhang

Anhang A: Fragebögen

Prä-Test zur Vertauschung der Seiten beim Spiegel

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Ich würde dich bitten diesen Fragebogen auszufüllen. Dieser Fragebogen ist anonym und es sollen keine Rückschlüsse auf einzelne Personen möglich sein. Um den Fragebogen später trotzdem auswerten zu können, trage bitte zunächst folgenden Code ein:

Erster Buchstabe des Vornamens deiner Mutter

Erster Buchstabe des Vornamens deines Vaters

Erster Buchstabe der Straße, in der du wohnst

Letzte Ziffer deines Geburtsmonats

Um den Fragebogen später auswerten zu können, beachte bitte folgende Punkte bei der Bearbeitung:

- Bei jeder Frage ist immer genau eine Antwort richtig. Mache daher bitte bei jeder Frage genau ein Kreuz bei der Antwort, welche du für richtig hältst.
- Bitte mache keine Kreuze zwischen zwei Antwortmöglichkeiten, wenn du dir nicht sicher bist. Versuche dich in solchen Fällen für eine Antwort zu entscheiden.
- Beantworte bitte möglichst alle Fragen, auch wenn du dir bei manchen Fragen nicht sicher bist.
- Falls du dich bei einer Frage vertan hast, male das entsprechende Kästchen aus und setze ein neues Kreuz in ein anderes Kästchen.

Vielen Dank für deine Teilnahme an dieser Studie!

Beantworte bitte diesen Fragebogen **vor der Durchführung**.

Teil I: Allgemeines

Letzte NaWi-Note im Zeugnis
Letzte Deutschnote im Zeugnis
Letzte Mathematiknote im Zeugnis

Kreuze bitte auf folgender Skala von 1-5 an, wie groß dein Interesse an den genannten Bereichen ist (5= interessiert mich persönlich sehr, 1= interessiert mich überhaupt nicht).

	1	2	3	4	5
Interesse am Fach Physik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Interesse an physikalischen Themen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teil II: Fachwissen

- 1 Welche Richtungen werden bei einem Spiegel vertauscht?
- a) Ein Spiegel vertauscht links und rechts.
 - b) Ein Spiegel vertauscht oben und unten.
 - c) Ein Spiegel vertauscht vorne und hinten
 - d) Wirkliches Bild und Spiegelbild sind identisch.
- 2 Wo befindet sich die Spiegelachse beim Spiegel?
- a) Ein Spiegel spiegelt das Bild an der senkrechten Achse.
 - b) Ein Spiegel spiegelt das Bild an der waagerechten Achse.
 - c) Die Spiegelachse befindet sich auf dem Spiegel.
 - d) Die Spiegelachse lässt sich nicht eindeutig festlegen.
- 3 Welche gedankliche Drehung läuft bei der Spiegelung in unserem Kopf ab?
- a) Die Spiegelung entspricht einer gedanklichen Drehung um 90° .
 - b) Die Spiegelung entspricht einer gedanklichen Drehung um 180° .
 - c) Die Spiegelung entspricht einer gedanklichen Drehung um 270° .
 - d) Die Spiegelung entspricht einer gedanklichen Drehung um 360° .
- 4 Mit welcher Situation setzt das Gehirn die Begegnung mit unserem Spiegelbild gleich?
- a) Die Begegnung mit unserem Spiegelbild entspricht der Begegnung mit einer anderen uns zugewandten Person.
 - b) Die Begegnung mit unserem Spiegelbild entspricht der Begegnung mit einer anderen uns abgewandten Person.
 - c) Die Begegnung mit unserem Spiegelbild entspricht der Begegnung mit uns selbst im Spiegel.
 - d) Bei der Begegnung mit unserem Spiegelbild stellt unser Gehirn keinerlei Verbindung zu einer anderen Situation her.

5

Welcher Vorgang läuft bei der Begegnung mit dem Spiegelbild in unserem Kopf ab?

- a) Unser Gehirn versetzt sich automatisch in die Perspektive des Spiegelbildes.
- b) Unser Gehirn nimmt bei der Begegnung mit dem Spiegelbild keinerlei Perspektive ein.
- c) Unser Gehirn versetzt sich automatisch in die Perspektive einer uns abgewandten Person.
- d) Unser Gehirn versetzt sich automatisch in die Perspektive einer uns zugewandten Person.

Post-Test zur Vertauschung der Seiten beim Spiegel

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Ich würde dich bitten diesen Fragebogen auszufüllen. Dieser Fragebogen ist anonym und es sollen keine Rückschlüsse auf einzelne Personen möglich sein. Um den Fragebogen später trotzdem auswerten zu können, trage bitte zunächst folgenden Code ein:

Erster Buchstabe des Vornamens deiner Mutter

Erster Buchstabe des Vornamens deines Vaters

Erster Buchstabe der Straße, in der du wohnst

Letzte Ziffer deines Geburtsmonats

Um den Fragebogen später auswerten zu können, beachte bitte folgende Punkte bei der Bearbeitung:

- Bei jeder Frage ist immer genau eine Antwort richtig. Mache daher bitte bei jeder Frage genau ein Kreuz bei der Antwort, welche du für richtig hältst.
- Bitte mache keine Kreuze zwischen zwei Antwortmöglichkeiten, wenn du dir nicht sicher bist. Versuche dich in solchen Fällen für eine Antwort zu entscheiden.
- Beantworte bitte möglichst alle Fragen, auch wenn du dir bei manchen Fragen nicht sicher bist.
- Falls du dich bei einer Frage vertan hast, male das entsprechende Kästchen aus und setze ein neues Kreuz in ein anderes Kästchen.

Vielen Dank für deine Teilnahme an dieser Studie!

Beantworte bitte diesen Fragebogen **nach der Durchführung.**

Teil I: Allgemeines

Letzte NaWi-Note im Zeugnis

Letzte Deutschnote im Zeugnis

Letzte Mathematiknote im Zeugnis

Kreuze bitte auf folgender Skala von 1-5 an, wie groß dein Interesse an den genannten Bereichen ist (5= interessiert mich persönlich sehr, 1= interessiert mich überhaupt nicht).

	1	2	3	4	5
Interesse am Fach Physik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Interesse an physikalischen Themen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teil II: Fachwissen

- 1 Welche Richtungen werden bei einem Spiegel vertauscht?
- a) Ein Spiegel vertauscht links und rechts.
 - b) Ein Spiegel vertauscht oben und unten.
 - c) Ein Spiegel vertauscht vorne und hinten
 - d) Wirkliches Bild und Spiegelbild sind identisch.
- 2 Wo befindet sich die Spiegelachse beim Spiegel?
- a) Ein Spiegel spiegelt das Bild an der senkrechten Achse.
 - b) Ein Spiegel spiegelt das Bild an der waagerechten Achse.
 - c) Die Spiegelachse befindet sich auf dem Spiegel.
 - d) Die Spiegelachse lässt sich nicht eindeutig festlegen.
- 3 Welche gedankliche Drehung läuft bei der Spiegelung in unserem Kopf ab?
- a) Die Spiegelung entspricht einer gedanklichen Drehung um 90° .
 - b) Die Spiegelung entspricht einer gedanklichen Drehung um 180° .
 - c) Die Spiegelung entspricht einer gedanklichen Drehung um 270° .
 - d) Die Spiegelung entspricht einer gedanklichen Drehung um 360° .
- 4 Mit welcher Situation setzt das Gehirn die Begegnung mit unserem Spiegelbild gleich?
- a) Die Begegnung mit unserem Spiegelbild entspricht der Begegnung mit einer anderen uns zugewandten Person.
 - b) Die Begegnung mit unserem Spiegelbild entspricht der Begegnung mit einer anderen uns abgewandten Person.
 - c) Die Begegnung mit unserem Spiegelbild entspricht der Begegnung mit uns selbst im Spiegel.
 - d) Bei der Begegnung mit unserem Spiegelbild stellt unser Gehirn keinerlei Verbindung zu einer anderen Situation her.

5

Welcher Vorgang läuft bei der Begegnung mit dem Spiegelbild in unserem Kopf ab?

- a) Unser Gehirn versetzt sich automatisch in die Perspektive des Spiegelbildes.
- b) Unser Gehirn nimmt bei der Begegnung mit dem Spiegelbild keinerlei Perspektive ein.
- c) Unser Gehirn versetzt sich automatisch in die Perspektive einer uns abgewandten Person.
- d) Unser Gehirn versetzt sich automatisch in die Perspektive einer uns zugewandten Person.

Fasse kurz zusammen, welche Vorgänge beim Spiegelbild in unserem Kopf ablaufen und gib an welche Seiten durch den Spiegel vertauscht werden.

Prä-Test zum Unterschied zwischen Wärme und Temperatur

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Ich würde dich bitten diesen Fragebogen auszufüllen. Dieser Fragebogen ist anonym und es sollen keine Rückschlüsse auf einzelne Personen möglich sein. Um den Fragebogen später trotzdem auswerten zu können, trage bitte zunächst folgenden Code ein:

Erster Buchstabe des Vornamens deiner Mutter

Erster Buchstabe des Vornamens deines Vaters

Erster Buchstabe der Straße, in der du wohnst

Letzte Ziffer deines Geburtsmonats

Um den Fragebogen später auswerten zu können, beachte bitte folgende Punkte bei der Bearbeitung:

- Bei jeder Frage ist immer genau eine Antwort richtig. Mache daher bitte bei jeder Frage genau ein Kreuz bei der Antwort, welche du für richtig hältst.
- Bitte mache keine Kreuze zwischen zwei Antwortmöglichkeiten, wenn du dir nicht sicher bist. Versuche dich in solchen Fällen für eine Antwort zu entscheiden.
- Beantworte bitte möglichst alle Fragen, auch wenn du dir bei manchen Fragen nicht sicher bist.
- Falls du dich bei einer Frage vertan hast, male das entsprechende Kästchen aus und setze ein neues Kreuz in ein anderes Kästchen.

Vielen Dank für deine Teilnahme an dieser Studie!

Beantworte bitte diesen Fragebogen **vor der Durchführung**.

Teil I: Allgemeines

Letzte Physiknote im Zeugnis
Letzte Deutschnote im Zeugnis
Letzte Mathematiknote im Zeugnis

Kreuze bitte auf folgender Skala von 1-5 an, wie groß dein Interesse an den genannten Bereichen ist (5= interessiert mich persönlich sehr, 1= interessiert mich überhaupt nicht).

	1	2	3	4	5
Interesse am Fach Physik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Interesse an physikalischen Themen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teil II: Fachwissen

1 Welcher physikalische Zusammenhang besteht zwischen Wärme und Temperatur?

- a) Wärme beschreibt den oberen Teil der Temperaturskala.
- b) Wärme und Temperatur meinen prinzipiell das gleiche.
- c) Die Übertragung von Wärme sorgt für eine Temperaturänderung.
- d) Physikalisch gesehen gibt es keinen Zusammenhang.

2 Welche der folgenden Aussagen ist physikalisch korrekt?

- a) Sowohl Temperatur als auch Wärme sind Zustandsgrößen.
- b) Wärme stellt eine Zustandsgröße dar.
- c) Temperatur stellt eine Zustandsgröße dar.
- d) Weder Wärme noch Temperatur sind Zustandsgrößen.

3 Nachdem Marita Eier in kochendem Wasser gekocht hat, lässt sie diese in kaltem Wasser abkühlen. Welche der folgenden Erklärungen beschreibt den Abkühlprozess am besten?

- a) Die Eier geben Temperatur an das Wasser ab.
- b) Die Kälte des Wassers zieht in die Eier.
- c) Heiße Dinge kühlen von Natur aus ab.
- d) Es fließt Wärme von den Eiern ins Wasser.

4 Welche der folgenden Aussagen aus unserem Alltag ist physikalisch korrekt?

- a) „Ist das heute eine Wärme!“
- b) „Die Cola wird warm, wenn man sie draußen stehen lässt!“
- c) „Eine kalte Cola besitzt eine Temperatur von ca. 13°C!“
- d) „Die sibirische Kälte dringt nach Deutschland ein!“

5 Welche der folgenden Aussagen beschreibt die physikalische Bedeutung von Wärme?

- a) Wärme beschreibt den oberen Teil der Temperaturskala.
- b) Wärme ist die Übertragung von Energie.
- c) Wärme beschreibt den Zustand eines Körpers.
- d) Der Begriff Wärme hat keine physikalische Bedeutung.

6 Welche Beobachtung lässt sich machen, wenn man mit einem Wasserkocher unterschiedliche Mengen an Wasser zum Sieden bringt?

- a) Der Wasserkocher benötigt immer die gleiche Zeit, um das Wasser zum Sieden zu bringen, unabhängig davon wie viel Wasser ich erhitze.
- b) Möchte ich doppelt so viel Wasser erhitzen benötigt der Wasserkocher auch ungefähr doppelt so lange, um das Wasser zum Sieden zu bringen.
- c) Je mehr Wasser ich mit dem Wasserkocher erhitze, desto schneller gelingt es das Wasser zum Sieden zu bringen.
- d) Es lassen sich keine Aussagen über den Zusammenhang zwischen der Zeit, die der Wasserkocher benötigt und der Wassermenge treffen.

Post-Test zum Unterschied zwischen Wärme und Temperatur

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Ich würde dich bitten diesen Fragebogen auszufüllen. Dieser Fragebogen ist anonym und es sollen keine Rückschlüsse auf einzelne Personen möglich sein. Um den Fragebogen später trotzdem auswerten zu können, trage bitte zunächst folgenden Code ein:

Erster Buchstabe des Vornamens deiner Mutter

Erster Buchstabe des Vornamens deines Vaters

Erster Buchstabe der Straße, in der du wohnst

Letzte Ziffer deines Geburtsmonats

Um den Fragebogen später auswerten zu können beachte bitte folgende Punkte bei der Bearbeitung:

- Bei jeder Frage ist immer genau eine Antwort richtig. Mache daher bitte bei jeder Frage genau ein Kreuz bei der Antwort, welche du für richtig hältst.
- Bitte mache keine Kreuze zwischen zwei Antwortmöglichkeiten, wenn du dir nicht sicher bist. Versuche dich in solchen Fällen für eine Antwort zu entscheiden.
- Beantworte bitte möglichst alle Fragen, auch wenn du dir bei manchen Fragen nicht sicher bist.
- Falls du dich bei einer Frage vertan hast, male das entsprechende Kästchen aus und setze ein neues Kreuz in ein anderes Kästchen.

Vielen Dank für deine Teilnahme an dieser Studie!

Beantworte bitte diesen Fragebogen **nach der Durchführung.**

Teil I: Allgemeines

Letzte Physiknote im Zeugnis
Letzte Deutschnote im Zeugnis
Letzte Mathematiknote im Zeugnis

Kreuze bitte auf folgender Skala von 1-5 an, wie groß dein Interesse an den genannten Bereichen ist (5= interessiert mich persönlich sehr, 1= interessiert mich überhaupt nicht).

	1	2	3	4	5
Interesse am Fach Physik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Interesse an physikalischen Themen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teil II: Fachwissen

- 1 Welcher physikalische Zusammenhang besteht zwischen Wärme und Temperatur?
- a) Wärme beschreibt den oberen Teil der Temperaturskala.
 - b) Wärme und Temperatur meinen prinzipiell das gleiche.
 - c) Die Übertragung von Wärme sorgt für eine Temperaturänderung.
 - d) Physikalisch gesehen gibt es keinen Zusammenhang.
- 2 Welche der folgenden Aussagen ist physikalisch korrekt?
- a) Sowohl Temperatur als auch Wärme sind Zustandsgrößen.
 - b) Wärme stellt eine Zustandsgröße dar.
 - c) Temperatur stellt eine Zustandsgröße dar.
 - d) Weder Wärme noch Temperatur sind Zustandsgrößen.
- 3 Nachdem Marita Eier in kochendem Wasser gekocht hat, lässt sie diese in kaltem Wasser abkühlen. Welche der folgenden Erklärungen beschreibt den Abkühlprozess am besten?
- a) Die Eier geben Temperatur an das Wasser ab.
 - b) Die Kälte des Wassers zieht in die Eier.
 - c) Heiße Dinge kühlen von Natur aus ab.
 - d) Es fließt Wärme von den Eiern ins Wasser.
- 4 Welche der folgenden Aussagen aus unserem Alltag ist physikalisch korrekt?
- a) „Ist das heute eine Wärme!“
 - b) „Die Cola wird warm, wenn man sie draußen stehen lässt!“
 - c) „Eine kalte Cola besitzt eine Temperatur von ca. 13°C!“
 - d) „Die sibirische Kälte dringt nach Deutschland ein!“

5 Welche der folgenden Aussagen beschreibt die physikalische Bedeutung von Wärme?

- a) Wärme beschreibt den oberen Teil der Temperaturskala.
- b) Wärme ist die Übertragung von Energie.
- c) Wärme beschreibt den Zustand eines Körpers.
- d) Der Begriff Wärme hat keine physikalische Bedeutung.

6 Welche Beobachtung lässt sich machen, wenn man mit einem Wasserkocher unterschiedliche Mengen an Wasser zum Sieden bringt?

- a) Der Wasserkocher benötigt immer die gleiche Zeit, um das Wasser zum Sieden zu bringen, unabhängig davon wie viel Wasser ich erhitze.
- b) Möchte ich doppelt so viel Wasser erhitzen benötigt der Wasserkocher auch ungefähr doppelt so lange, um das Wasser zum Sieden zu bringen.
- c) Je mehr Wasser ich mit dem Wasserkocher erhitze, desto schneller gelingt es das Wasser zum Sieden zu bringen.
- d) Es lassen sich keine Aussagen über den Zusammenhang zwischen der Zeit, die der Wasserkocher benötigt und der Wassermenge treffen.

Fasse kurz zusammen, welcher physikalische Unterschied zwischen den Begriffen Wärme und Temperatur besteht und wie die beiden Begriffe letztendlich doch miteinander zusammenhängen.

Anhang B: Codierleitfäden*Fragebogen zur Vertauschung der Seiten beim Spiegel*

- 1 Welche Richtungen werden bei einem Spiegel vertauscht?
- a) Ein Spiegel vertauscht links und rechts.
 - b) Ein Spiegel vertauscht oben und unten.
 - c) Ein Spiegel vertauscht vorne und hinten
 - d) Wirkliches Bild und Spiegelbild sind identisch.
- 2 Wo befindet sich die Spiegelachse beim Spiegel?
- a) Ein Spiegel spiegelt das Bild an der senkrechten Achse.
 - b) Ein Spiegel spiegelt das Bild an der waagerechten Achse.
 - c) Die Spiegelachse befindet sich auf dem Spiegel.
 - d) Die Spiegelachse lässt sich nicht eindeutig festlegen.
- 3 Welche gedankliche Drehung läuft bei der Spiegelung in unserem Kopf ab?
- a) Die Spiegelung entspricht einer gedanklichen Drehung um 90° .
 - b) Die Spiegelung entspricht einer gedanklichen Drehung um 180° .
 - c) Die Spiegelung entspricht einer gedanklichen Drehung um 270° .
 - d) Die Spiegelung entspricht einer gedanklichen Drehung um 360° .
- 4 Mit welcher Situation setzt das Gehirn die Begegnung mit unserem Spiegelbild gleich?
- a) Die Begegnung mit unserem Spiegelbild entspricht der Begegnung mit einer anderen uns zugewandten Person.
 - b) Die Begegnung mit unserem Spiegelbild entspricht der Begegnung mit einer anderen uns abgewandten Person.
 - c) Die Begegnung mit unserem Spiegelbild entspricht der Begegnung mit uns selbst im Spiegel.
 - d) Bei der Begegnung mit unserem Spiegelbild stellt unser Gehirn keinerlei Verbindung zu einer anderen Situation her.

- 5 Welcher Prozess läuft bei der Spiegelung in unserem Kopf ab?
- a) Unser Gehirn versetzt sich automatisch in die Perspektive des Spiegelbildes.
 - b) Unser Gehirn nimmt bei der Begegnung mit dem Spiegelbild keinerlei Perspektive ein.
 - c) Unser Gehirn versetzt sich automatisch in die Perspektive einer uns abgewandten Person.
 - d) Unser Gehirn versetzt sich automatisch in die Perspektive einer uns zugewandten Person.

Fasse kurz zusammen, welche Vorgänge beim Spiegelbild in unserem Kopf ablaufen und gib an, welche Seiten durch den Spiegel vertauscht werden.

- Das Gehirn ist in der Lage sich in fremde Perspektiven hineinzusetzen (Item 6, 1 P).

- Das Gehirn versetzt sich in die Perspektive einer uns zugewandten Person (Item 7, 1 P).

- Um diese Perspektive einzunehmen findet eine gedankliche 180° Drehung um die eigene vertikale Achse statt (Item 8, 1 P).

- Der Spiegel vertauscht Vorder- und Rückseite (vorne und hinten) (Item 9, 1P).

Fragebogen zum Unterschied zwischen Wärme und Temperatur

1 Welcher physikalische Zusammenhang besteht zwischen Wärme und Temperatur?

- a) Wärme beschreibt den oberen Teil der Temperaturskala.
- b) Wärme und Temperatur meinen prinzipiell das gleiche.
- c) Die Übertragung von Wärme sorgt für eine Temperaturänderung.
- d) Physikalisch gesehen gibt es keinen Zusammenhang.

2 Welche der folgenden Aussagen ist physikalisch korrekt?

- a) Sowohl Temperatur als auch Wärme sind Zustandsgrößen.
- b) Wärme stellt eine Zustandsgröße dar.
- c) Temperatur stellt eine Zustandsgröße dar.
- d) Weder Wärme noch Temperatur sind Zustandsgrößen.

3 Nachdem Marita Eier in kochendem Wasser gekocht hat, lässt sie diese in kaltem Wasser abkühlen. Welche der folgenden Erklärungen beschreibt den Abkühlprozess am besten?

- a) Die Eier geben Temperatur an das Wasser ab.
- b) Die Kälte des Wassers zieht in die Eier.
- c) Heiße Dinge kühlen von Natur aus ab.
- d) Es fließt Wärme von den Eiern ins Wasser.

4 Welche der folgenden Aussagen aus unserem Alltag ist physikalisch korrekt?

- a) „Ist das heute eine Wärme!“
- b) „Die Cola wird warm, wenn man sie draußen stehen lässt!“
- c) „Eine kalte Cola besitzt eine Temperatur von ca. 13°C!“
- d) „Die sibirische Kälte dringt nach Deutschland ein!“

5 Welche der folgenden Aussagen beschreibt die physikalische Bedeutung von Wärme?

- a) Wärme beschreibt den oberen Teil der Temperaturskala.
- b) Wärme ist die Übertragung von Energie.
- c) Wärme beschreibt den Zustand eines Körpers.
- d) Der Begriff Wärme hat keine physikalische Bedeutung.

6 Welche Beobachtung lässt sich machen, wenn man mit einem Wasserkocher unterschiedliche Mengen an Wasser zum Sieden bringt?

- a) Der Wasserkocher benötigt immer die gleiche Zeit, um das Wasser zum Sieden zu bringen, unabhängig davon wie viel Wasser ich erhitze.
- b) Möchte ich doppelt so viel Wasser erhitzen benötigt der Wasserkocher auch ungefähr doppelt so lange, um das Wasser zum Sieden zu bringen.
- c) Je mehr Wasser ich mit dem Wasserkocher erhitze, desto schneller gelingt es das Wasser zum Sieden zu bringen.
- d) Es lassen sich keine Aussagen über den Zusammenhang zwischen der Zeit, die der Wasserkocher benötigt und der Wassermenge treffen.

Fasse kurz zusammen, welcher physikalische Unterschied zwischen den Begriffen Wärme und Temperatur besteht und wie die beiden Begriffe letztendlich doch miteinander zusammenhängen.

- Temperatur beschreibt den Zustand eines Körpers (Item 7, 1P).

- Wärme ist etwas, das zwischen zwei Körpern ausgetauscht wird (Item 8, 1P).

- Unter Wärme versteht man die Übertragung von Energie (Item 9, 1P).

- Das Vorhandensein einer Temperaturdifferenz zwischen den beiden Körpern ist eine Bedingung dafür, dass überhaupt Wärmeenergie zwischen den beiden Körpern übertragen werden kann (Item 10, 1P).

Anhang C: PowerPoint-Folien zu den Erklärungen

Im Folgenden sind die für die Erklärungen verwendeten PowerPoint-Folien zu finden.
Die zusätzlich eingesetzten Videos befinden sich auf dem elektronischen Datenträger.

PowerPoint-Folien zum Spiegel

Das Spiegelparadoxon



Bildquelle: http://www.steyrerbrains.at/math/Spiegel/Spiegel_2.html

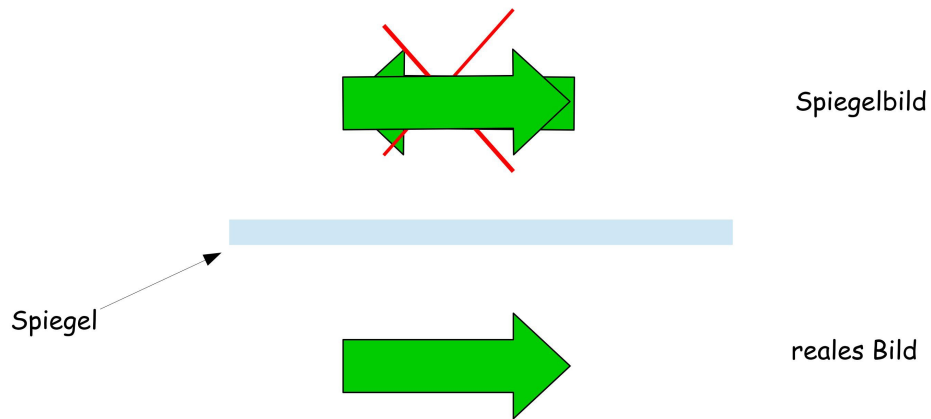
Ist dir auch aufgefallen,
dass sich unser Spiegelbild
die Zähne mit links putzt,
obwohl wir sie uns mit
rechts putzen?



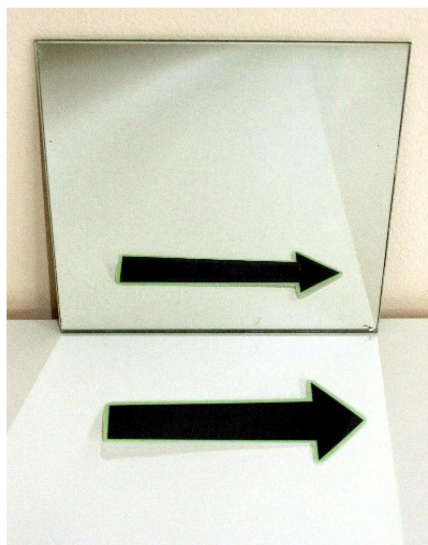
Ja, mein Papa hat mir mal
erklärt, dass das daran
liegt, dass das Bild im
Spiegel spiegelverkehrt ist,
es werden also rechts und
links vertauscht.

Bildquelle: http://www.kita-emlichheim.de/wp-content/uploads/2016/12/IMG_0914.jpg

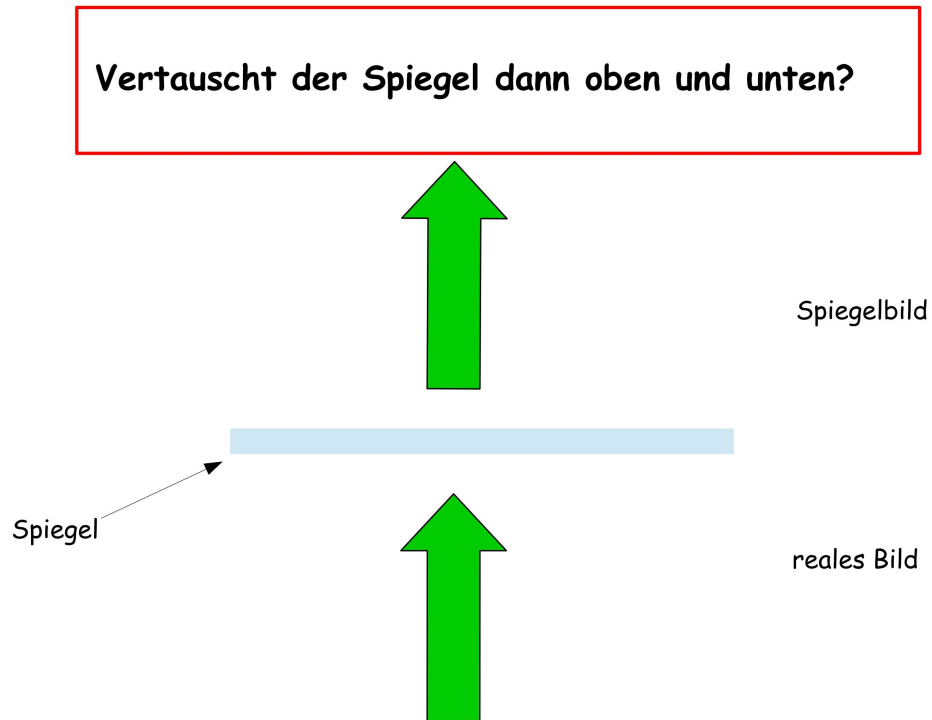
Vertauscht ein Spiegel rechts und links?



Ein Pfeil der nach rechts zeigt, zeigt auch im Spiegelbild nach rechts!



Bildquelle: <http://www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/Spiegel2.htm>



Was vertauscht ein Spiegel dann?



Bildquelle: http://www.steyrerbrains.at/math/Spiegel/Spiegel_2.html

Wir halten fest:

- Betrachten wir uns beispielsweise beim Zähneputzen im Spiegel, werden scheinbar links und rechts vertauscht.
- Ein nach rechts gerichteter Pfeil zeigt dagegen aber auch im Spiegel nach rechts.
- Im vorherigen Bild haben wir gesehen, dass offensichtlich Vorder- und Rückseite der Mainzelmännchen im Spiegel vertauscht werden.

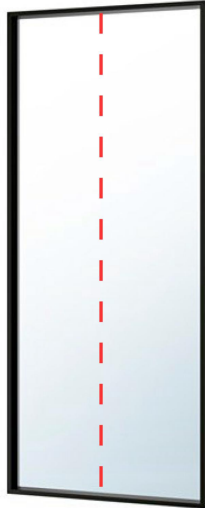
Was passiert nun also beim Spiegel?

Warum putzt sich unser Spiegelbild die Zähne mit der linken Hand, wenn wir sie uns doch mit der rechten Hand putzen?



**Wo liegt die Symmetrieachse
beim Spiegel?**

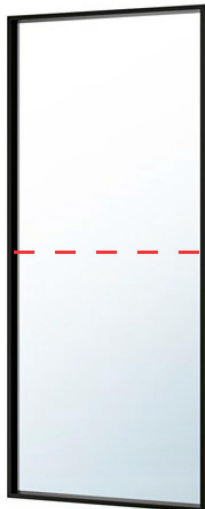
- Eine Vertauschung von links und rechts entspricht der Spiegelung an der vertikalen Achse



Bildquelle: <https://www.ikea.com/de/de/catalog/products/70320319/>

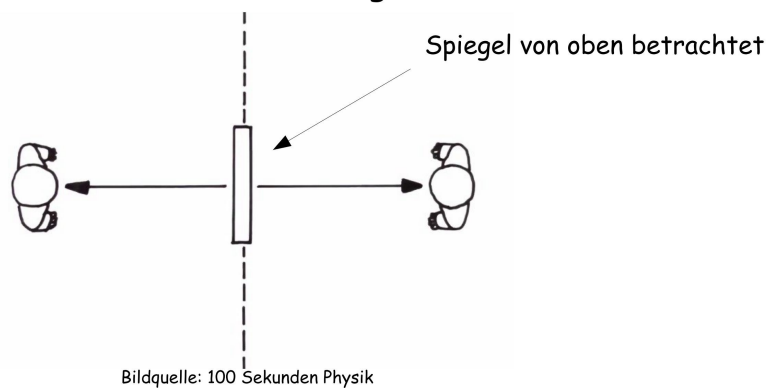
**Wo liegt die Symmetrieachse
beim Spiegel?**

- Eine Vertauschung von oben und unten entspricht der Spiegelung an der horizontalen Achse



Bildquelle: <https://www.ikea.com/de/de/catalog/products/70320319/>

- Ein Spiegel spiegelt das Bild jedoch weder an der vertikalen, noch an der horizontalen Achse.
 - Er kann demnach weder links und rechts, noch oben und unten vertauschen.
- Die Symmetrieachse befindet sich beim Spiegel von oben betrachtet auf dem Spiegel.
 - Dies entspricht einer Vertauschung von vorne und hinten.



Ein Spiegel vertauscht also vorne und Hinten.



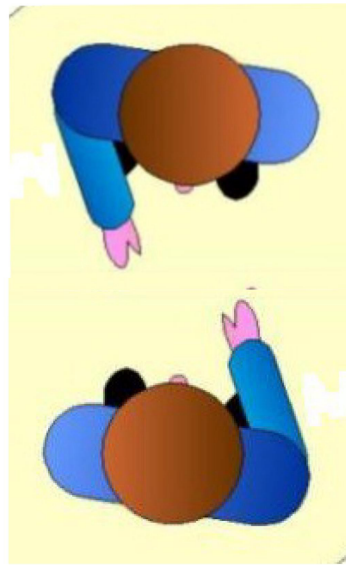
Bildquelle: http://www.steyrerbrains.at/math/Spiegel/Spiegel_2.html

Wie lässt sich dann aber diese Beobachtung erklären?



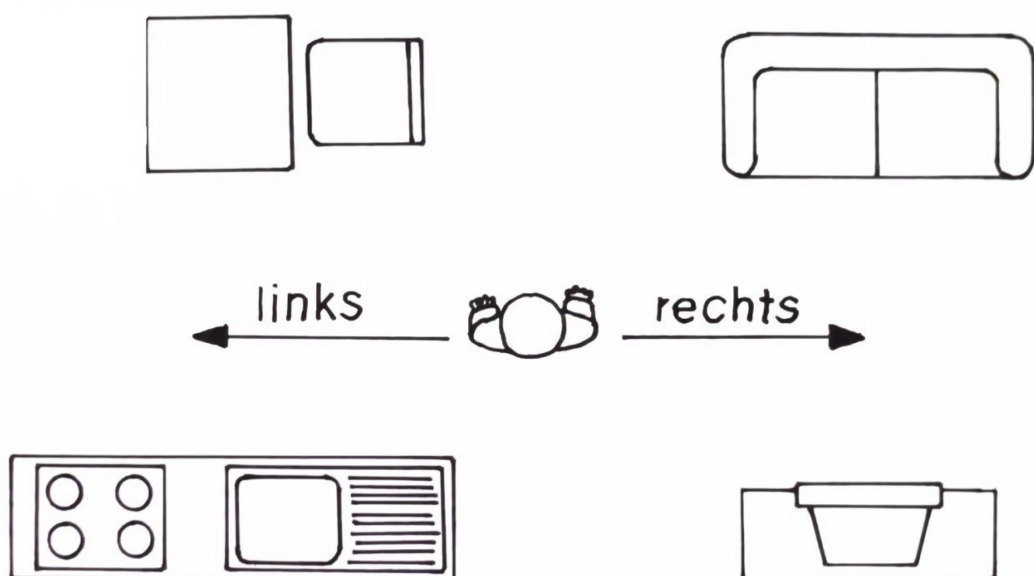
Das Spiegelbild in unserem Kopf

- Für unser Gehirn entspricht die Begegnung mit unserem Spiegelbild der Begegnung mit einer anderen uns zugewandten Person.
- Dabei versetzt sich unser Gehirn automatisch in die Perspektive dieser Person.
- Um die Perspektive dieser Person einzunehmen drehen wir uns gedanklich um 180° um die eigene vertikale Achse.

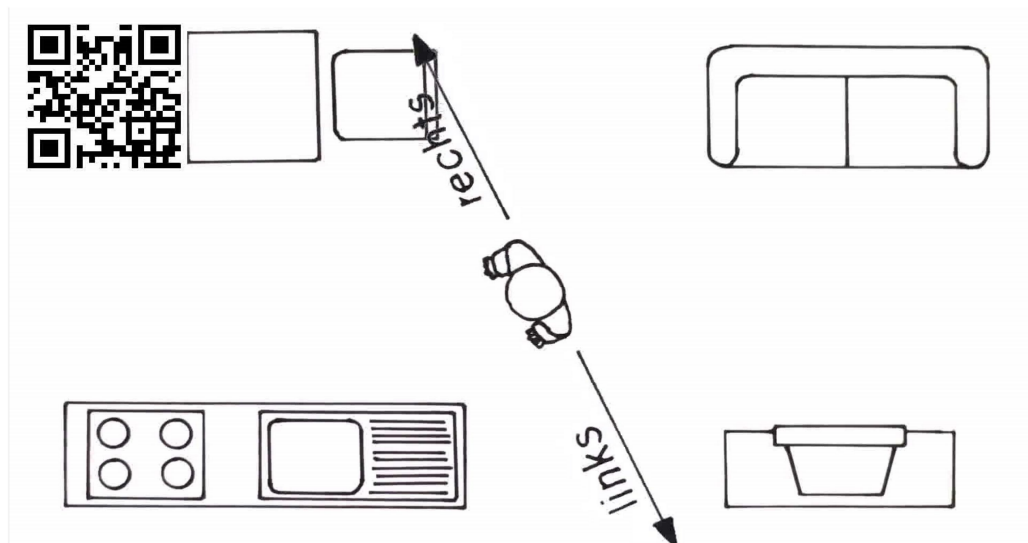


Drehung um
180° um die
eigene vertikale
Achse

Bildquelle: http://www.steyrerbrains.at/math/Spiegel/Spiegel_3.html



Quelle: 100 Sekunden Physik



Quelle: 100 Sekunden Physik

Zusammenfassung

- Bei einem Spiegel befindet sich die Symmetrieachse von oben gesehen auf dem Spiegel.
- Ein Spiegel vertauscht nicht wie oft angenommen rechts und links, sondern vorne und hinten.
- Die scheinbare Vertauschung von rechts und links erfolgt durch eine gedankliche 180° -Drehung in unserem Kopf.
 - Unser Gehirn vertauscht also rechts und links.

Das Wirrwarr um Wärme und Temperatur



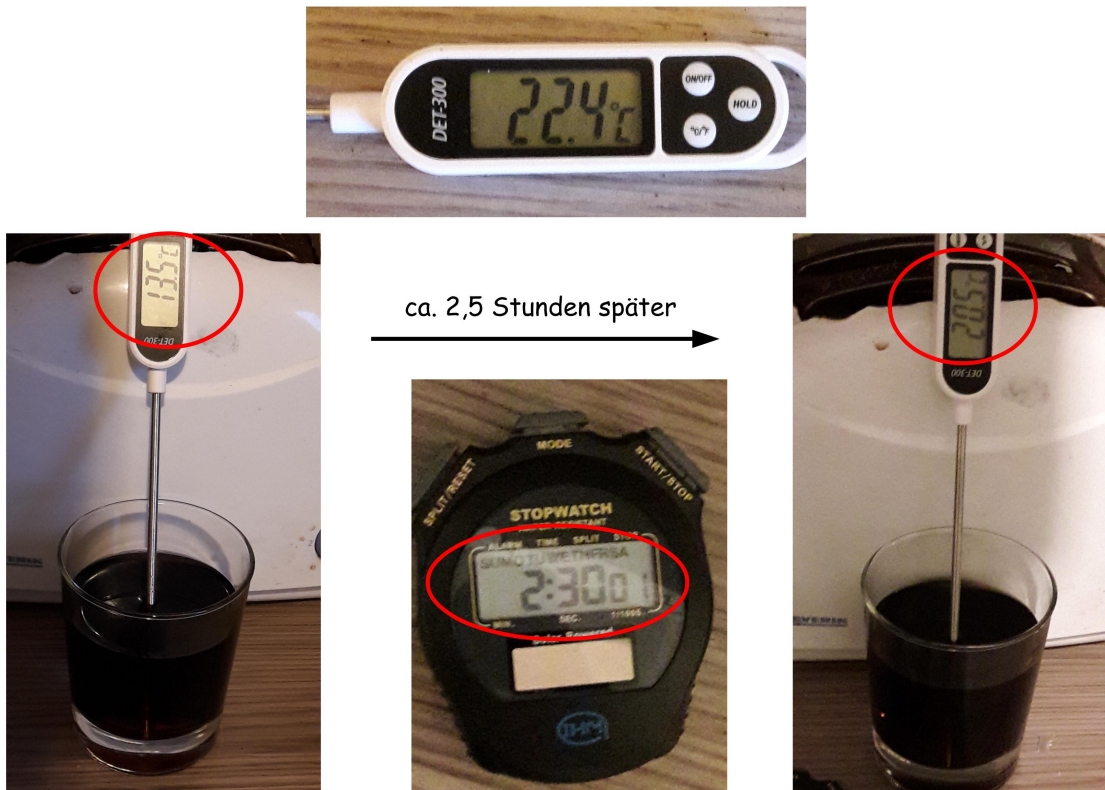
Bildquelle: <https://www.gala.de/lifestyle/galaxy/diese-frau-wird-sofort-ohnmaechtig--wenn-sie-eine-cola-trinkt-21728454.html>

Trink mal deine Cola aus,
die wird sonst noch warm
bei dem Wetter!

Naja wir haben ja nur
knapp über 20°C heute, so
warm ist das jetzt auch
nicht.



Bildquelle: <http://www.hdhintergrundbilder.com/2014/04/hd-sommer-hintergrundbilder.html>



Sind Wärme und Temperatur also
gleichbedeutend?

Ein unscheinbares Experiment



Die Beobachtung



500 ml Wasser



1000 ml Wasser

Wir halten fest:

- Eine kalte Cola nimmt mit der Zeit die Umgebungstemperatur an, wir sagen die Cola wird warm.
→ Wir sagen etwas ist warm, wenn es eine „hohe“ Temperatur hat.
- Erhitze ich verschiedene Mengen Wasser mit einem Wasserkocher auf die selbe Temperatur, brauche ich jedoch umso länger je mehr Wasser ich erhitzen will → Wärme und Temperatur können also nicht das gleiche sein.

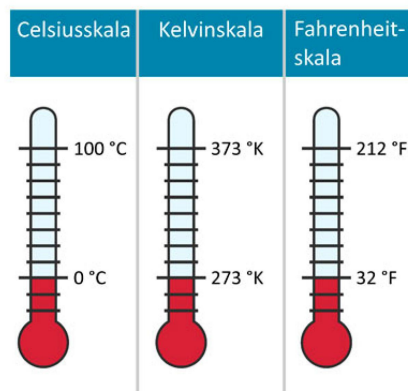
**Wie passt das mit unseren
Alltagsbeobachtungen zusammen?**

Das Problem des Wärmebegriffs

- Doppeldeutigkeit des Wärmebegriffs:
- Wärme meint sowohl den oberen Teil der Temperaturskala (Alltag), als auch „etwas“ das zwischen einem kalten und einem warmen Gegenstand ausgetauscht wird (physikalisch).
- Daher rührt die fehlerhafte Alltagsvorstellung, dass Temperatur und Wärme im Prinzip das selbe sind.
- Physikalisch muss allerdings zwischen Temperatur und Wärme unterschieden werden.

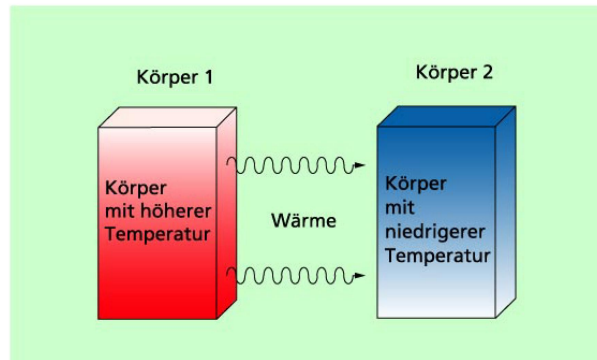
Doch was ist nun genau der Unterschied?

- Jeder Gegenstand hat eine bestimmte Temperatur



- Temperatur beschreibt einen Zustand
- Temperatur gibt an wie „stark“ etwas ist
- Im Alltag ein Maß dafür wie warm oder wie kalt etwas ist

- Wärme ist dagegen etwas, dass zwischen zwei Körpern ausgetauscht wird.
 - Gibt an wie viel Energie beim Abkühlen oder Erwärmen zwischen zwei Körpern ausgetauscht wird
 - Wärme ist die Übertragung von Energie
 - Daher sollte man besser von Wärmeenergie sprechen



Bildquelle: <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/waermequellen>

Gibt es also gar keinen physikalischen Zusammenhang zwischen den Begriffen Wärme und Temperatur?

Zusammenhang zwischen Wärme und Temperatur

- Es gibt dennoch einen physikalischen Zusammenhang zwischen Wärme und Temperatur.
- Der Energieaustausch kann nur erfolgen wenn eine Temperaturdifferenz zwischen den beiden Körpern existiert.
- In diesem Fall wird Energie vom Körper höherer Temperatur auf den Körper niedrigerer Temperatur übertragen.
- Eine vorhandene Temperaturdifferenz ist daher quasi eine Bedingung dafür, dass überhaupt Wärmeenergie übertragen werden kann.



Wärme und Temperatur im Alltag

- Wenn wir im Alltag davon sprechen, dass etwas „warm ist“ meinen wir damit eigentlich die Temperatur.
- Physikalisch ist die Aussage „Etwas wird oder ist warm“ aus dem Alltag daher falsch.
- Im Alltag verbinden wir mit Wärme nicht den Prozess eines Energieaustausches zwischen zwei Körpern, sondern den Zustand eines Körpers.

Zusammenfassung

- Im Alltag werden Temperatur und Wärme von uns oft zusammenhängend verwendet.
 - Wir sagen etwas ist warm, wenn es eine „hohe“ Temperatur hat.
- Temperatur beschreibt den Zustand **eines Körpers**.
- Wärme oder besser Wärmeenergie beschreibt dagegen den Austausch von Energie zwischen **zwei Körpern**.
- Die Bedingung dafür, dass Wärmeenergie zwischen zwei Körpern übertragen werden kann ist, dass zwischen den beiden Körpern eine Temperaturdifferenz besteht.

Anhang D: Tabellen mit den Werten der Datenanalyse aus PSPP

Tab. 5: Cronbach's Alpha getrennt nach den Lerngruppen A und B

Die Tabelle zeigt die mit PSPP berechneten Cronbach's Alpha Werte für die Faktoren sowie die Zuordnung der Items, die für die Reliabilitätsanalyse verwendet wurden, getrennt nach den Lerngruppen A und B.

Faktor	Items	Cronbach's Alpha	
		Lerngruppe A	Lerngruppe B
Leistungsstärke	NaWi-Note, Mathematiknote, Deutschnote	0,72	0,82
Sach- und Fachinteresse	Sachinteresse, Fachinteresse	0,87	0,91
Gesamtpunktzahl Prätest	1-5 aus dem Prätest	0,73	0,5 (ohne Item 3)
Gesamtpunktzahl Posttest	1-9 aus dem Posttest	0,58	0,5

Tab. 6: Cronbach's Alpha getrennt nach den Lerngruppen C und D

Die Tabelle zeigt die mit PSPP berechneten Cronbach's Alpha Werte für die Faktoren sowie die Zuordnung der Items, die für die Reliabilitätsanalyse verwendet wurden, getrennt nach den Lerngruppen C und D.

Faktor	Items	Cronbach's Alpha	
		Lerngruppe C	Lerngruppe D
Leistungsstärke	Physiknote, Mathematiknote, Deutschnote	0,76	0,89
Sach- und Fachinteresse	Sachinteresse, Fachinteresse	0,76	0,84
Gesamtpunktzahl Prätest	1-5 aus dem Prätest	0,5	0,48 (ohne Item 6)
Gesamtpunktzahl Posttest	1-9 aus dem Posttest	0,71	0,55

Tab. 7: Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung

Die Tabelle zeigt die mit PSPP berechneten Werte des Kolmogorov-Smirnov-Tests für die Faktoren bzw. die Items sowie die Interpretation, ob es sich um eine Normalverteilung handelt.

Faktor/Item	Wert	Interpretation
NaWi-Note	0,362	Normalverteilung
Deutschnote	0,06	Normalverteilung
Mathematiknote	0,275	Normalverteilung
Physiknote	0,962	Normalverteilung
Sachinteresse	0,007	keine Normalverteilung
Fachinteresse	0,002	keine Normalverteilung
Gesamtpunktzahl Spiegel Lerngruppe A Prätest	0,158	Normalverteilung
Gesamtpunktzahl Spiegel Lerngruppe A Posttest	0,369	Normalverteilung
Gesamtpunktzahl Spiegel Lerngruppe B Prätest	0,17	Normalverteilung
Gesamtpunktzahl Spiegel Lerngruppe B Posttest	0,347	Normalverteilung
Gesamtpunktzahl Wärme Lerngruppe C Prätest	0,682	Normalverteilung
Gesamtpunktzahl Wärme Lerngruppe C Posttest	0,874	Normalverteilung
Gesamtpunktzahl Wärme Lerngruppe D Prätest	0,431	Normalverteilung
Gesamtpunktzahl Wärme Lerngruppe D Posttest	0,722	Normalverteilung
Lernzuwachs Lerngruppe A	0,423	Normalverteilung
Lernzuwachs Lerngruppe B	0,216	Normalverteilung
Lernzuwachs Lerngruppe C	0,771	Normalverteilung
Lernzuwachs Lerngruppe D	0,645	Normalverteilung

Tab. 8: Mittelwerte und Standardabweichung bzw. Standardfehler getrennt nach den Lerngruppen A und B

Die Tabelle zeigt die Mittelwerte und die Standardabweichung bzw. den Standardfehler, die für die Erstellung der einzelnen Abbildungen verwendet wurden. Die Mittelwerte und Faktoren wurden mit Hilfe von IGOR Pro errechnet. Außerdem ist angegeben, wenn die Werte getrennt nach den Lerngruppen A und B berechnet wurden.

Abbildung 5				
Faktor/Item	Lerngruppe A		Lerngruppe B	
	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler
NaWi-Note	3,05	0,17	2,75	0,2
Deutschnote	3,3	0,13	3,15	0,15
Mathematiknote	3	0,21	2,95	0,14
Abbildung 6				
Faktor/Item	Lerngruppe A		Lerngruppe B	
	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler
Sachinteresse	2,9	0,14	3	0,19
Fachinteresse	2,9	0,14	2,95	0,16
Abbildung 9				
Faktor/Item	Lerngruppe A		Lerngruppe B	
	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler
Gesamtpunktzahl Prätest (in %)	16,19	3,27	31,43	4,69
Gesamtpunktzahl Posttest (in %)	45,5	4,46	34,92	3,7
Abbildung 11				
Faktor/Item	Lerngruppe A		Lerngruppe B	
	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler
Gesamtpunktzahl Prätest (in %)	16,19	3,27	31,43	4,69
Gesamtpunktzahl Posttest (Items 1-5) (in %)	64,76	5,5	50,48	4,9

Tab. 9: Mittelwerte und Standardabweichung bzw. Standardfehler getrennt nach den Lerngruppen C und D

Die Tabelle zeigt die Mittelwerte und die Standardabweichung bzw. den Standardfehler, die für die Erstellung der einzelnen Abbildungen verwendet wurden. Die Mittelwerte und Faktoren wurden mit Hilfe von IGOR Pro errechnet. Außerdem ist angegeben, wenn die Werte getrennt nach den Lerngruppen C und D berechnet wurden.

Abbildung 7				
Faktor/Item	Lerngruppe C		Lerngruppe D	
	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler
Physiknote	8,06	0,5	7,59	0,51
Deutschnote	7,94	0,41	6,65	0,4
Mathematiknote	9	0,52	7,18	0,55
Abbildung 8				
Faktor/Item	Lerngruppe C		Lerngruppe D	
	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler
Sachinteresse	2,76	0,17	3,65	0,17
Fachinteresse	2,65	0,19	3,12	0,21
Abbildung 10				
Faktor/Item	Lerngruppe C		Lerngruppe D	
	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler
Gesamtpunktzahl Prätest (in %)	52,78	4,9	50,93	5,3
Gesamtpunktzahl Posttest (in %)	66,67	5,66	63,33	3,79
Abbildung 11				
Faktor/Item	Lerngruppe C		Lerngruppe D	
	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler
Gesamtpunktzahl Prätest (in %)	52,78	4,9	50,93	5,3
Gesamtpunktzahl Posttest (Items 1-6) (in %)	77,78	4,9	82,41	3,68
Abbildung 12				
Faktor/Item	Lerngruppe A		Lerngruppe B	
	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler
Prozentualer Lernzuwachs	48,57	6,11	19,05	6,09
Abbildung 13				
Faktor/Item	Lerngruppe C		Lerngruppe D	
	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler
Prozentualer Lernzuwachs	25	6,36	30,7	6,28

Tab. 10: Werte für das Signifikanzniveau

Die Tabelle zeigt die Werte für das Signifikanzniveau der Faktoren bzw. der Items, die mit Hilfe von PSPP berechnet wurden sowie die Interpretation des Signifikanzniveaus für die einzelnen Abbildungen.

Faktor/Item	Signifikanz p	Interpretation
Abbildung 5		
NaWi-Note (Lerngruppe A und B)	0,252	kein signifikanter Unterschied
Deutschnote (Lerngruppe A und B)	0,466	kein signifikanter Unterschied
Mathematiknote (Lerngruppe A und B)	0,843	kein signifikanter Unterschied
Abbildung 6		
Sachinteresse (Lerngruppe A und B)	0,827	kein signifikanter Unterschied
Fachinteresse (Lerngruppe A und B)	0,693	kein signifikanter Unterschied
Abbildung 7		
Physiknote (Lerngruppe C und D)	0,513	kein signifikanter Unterschied
Deutschnote (Lerngruppe C und D)	0,027	signifikanter Unterschied
Mathematiknote (Lerngruppe C und D)	0,019	signifikanter Unterschied
Abbildung 8		
Sachinteresse (Lerngruppe C und D)	0,002	hoch signifikanter Unterschied
Fachinteresse (Lerngruppe C und D)	0,081	kein signifikanter Unterschied
Abbildung 9		
Ergebnis Prä- und Posttest (Lerngruppe A)	0,00	höchst signifikanter Unterschied
Ergebnis Prä- und Posttest (Lerngruppe B)	0,546	kein signifikanter Unterschied
Abbildung 10		
Ergebnis Prä- und Posttest (Lerngruppe C)	0,089	kein signifikanter Unterschied
Ergebnis Prä- und Posttest (Lerngruppe D)	0,058	kein signifikanter Unterschied
Abbildung 11		
Ergebnis Prä- und Posttest (Lerngruppe A) (Posttest Items 1-5)	0,00	höchst signifikanter Unterschied
Ergebnis Prä- und Posttest (Lerngruppe B) (Posttest Items 1-5)	0,005	signifikanter Unterschied
Ergebnis Prä- und Posttest (Lerngruppe C) (Posttest Items 1-6)	0,001	höchst signifikanter Unterschied
Ergebnis Prä- und Posttest (Lerngruppe D) (Posttest Items 1-6)	0,00	höchst signifikanter Unterschied
Abbildung 12		
Prozentualer Lernzuwachs (Lerngruppen A und B)	0,001	höchst signifikanter Unterschied
Abbildung 13		
Prozentualer Lernzuwachs (Lerngruppen C und D)	0,528	kein signifikanter Unterschied

Tab. 11: Werte für die Effektstärke

Die Tabelle zeigt die Werte für die Effektstärke der Faktoren bzw. der Items, die mit Hilfe von PSPP berechnet wurden sowie die Interpretation der Effektstärke für die einzelnen Abbildungen.

Faktor/Item	Effektstärke d	Interpretation
Abbildung 7		
Deutschnote (Lerngruppe C und D)	0,298	kleiner Effekt
Mathematiknote (Lerngruppe C und D)	0,032	kein Effekt
Abbildung 8		
Sachinteresse (Lerngruppe C und D)	0,565	starker Effekt
Abbildung 9		
Ergebnis Prä- und Posttest (Lerngruppe A)	0,856	starker Effekt
Abbildung 11		
Ergebnis Prä- und Posttest (Lerngruppe A) (Posttest Items 1-5)	1,656	starker Effekt
Ergebnis Prä- und Posttest (Lerngruppe B) (Posttest Items 1-5)	0,612	mittlerer Effekt
Ergebnis Prä- und Posttest (Lerngruppe C) (Posttest Items 1-6)	0,871	starker Effekt
Ergebnis Prä- und Posttest (Lerngruppe D) (Posttest Items 1-6)	1,149	starker Effekt

Elektronischer Datenträger