

Konkret oder abstrakt?
Externe Repräsentationen bei der
Informationsentnahme und im
Modellierprozess aus Lernerperspektive

Dissertation

zur Erlangung des Grades

Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

vorgelegt dem Department Chemie der Fakultät für
Naturwissenschaften der Universität Paderborn

von Perihan Akman

aus Dannenberg (Elbe)

Paderborn, Juni 2020

1. Gutachterin: Prof. Dr. Sabine Fechner
2. Gutachter: Prof. Dr. Stefan Rumann
3. Prüfer: Dr. Sebastian Habig

Tag der Disputation: 11.08.2020

*Hiernach ist alle Erkenntnis Erkenntnis in Modellen oder durch Modelle,
und jegliche menschliche Weltbegegnung überhaupt bedarf des Mediums Modell.*

Herbert Stachowiak

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich ein herzliches Dankeschön an all die Personen richten, die mich während der Promotionszeit unterstützt und zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Besonders möchte ich Prof. Dr. Sabine Fechner für die unentwegte Unterstützung und das Vertrauen während der gesamten Promotionszeit danken. Herzlichen Dank für die kritisch-konstruktiven Diskussionen und die anregenden Hinweise, die stets zum Gelingen der Arbeit beitrugen. Nicht zuletzt möchte ich mich für die hervorragenden Arbeitsbedingungen und die optimale Arbeitsatmosphäre in ihrem Arbeitskreis bedanken.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Stefan Rumann für die Erstellung des Zweitgutachtens.

Ich danke Dr. Sebastian Habig für die Übernahme der Funktion des Drittprüfers sowie Herrn Prof. Dr. Thomas Kühne für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Herrn Prof. Dr. Michael Tiemann danke ich dafür, dass er die Datenerhebung wesentlich unterstützt hat. Ein herzliches Dankeschön richte ich an alle Schulen, Lehrer und Lehrerinnen, Schüler und Schülerinnen sowie Studenten und Studentinnen, die an meinen Studien teilgenommen haben und somit die Arbeit erst ermöglichen haben. Dr. David Woitkowski danke ich für die statistischen Diskurse sowie gemeinsamen Tagungserlebnisse.

Ich bedanke mich herzlich bei den Arbeitskolleg*innen Dr. Franziska Kehne, Stefanie Michaelis, Lisa Schmitz, Pascal Pollmeier und Dr. Thomas Witte. Herzlichen Dank für die gemeinsame Zeit in der Arbeitsgruppe und auf Tagungen, die gegenseitige und vielfältige Unterstützung, das gemeinsame Lachen und vor allem für eure Freundschaft. Insbesondere meiner großartigen Bürokollegin Lisa Schmitz gilt ein großer Dank für die gemeinsame Promotionszeit und das gemeinsame Durchleben von Höhen und Tiefen (Baltimore). Stefanie Michaelis danke ich besonders für die technische und organisatorische Hilfe sowie ihren Beistand in herausfordernden Phasen.

Danken möchte ich den studentischen Hilfskräften Jan-Felix und Annabel für ihren tatkräftigen und zuverlässigen Einsatz während der Datenerhebung. Ein herzliches Dankeschön richte ich an Hendrik Peeters für seine Unterstützung und die freundschaftliche Zusammenarbeit.

Vor allem danke ich meinen Freunden und meiner Familie. Christine, Katharina, Kira, Wiebke und Jenny danke ich für ihre aufbauenden und ermutigenden Worte. Nicht zuletzt möchte ich Sebastian Lenze für seine Hilfe danken. Ein großes Dankeschön richte ich an meine Geschwister für ihre unermüdliche Unterstützung. Mama, Papa von ganzem Herzen danke ich euch, dass ihr immer für mich da seid, mir den Rücken stärkt und mir während der gesamten Promotionszeit eure bedingungslose Unterstützung geboten habt, was wesentlich zum Abschluss der Promotion beigetragen hat.

Ganz besonders danke ich dir, Sehmus. Danke für deine aufheiternden Worte und dein geduldiges Verständnis während der Promotionszeit.

<u>1</u>	<u>EINLEITUNG</u>	<u>1</u>
<u>2</u>	<u>REPRÄSENTATIONEN IM NATURWISSENSCHAFTLICHEN UNTERRICHT</u>	<u>4</u>
2.1	MODELLE: DEFINITION UND KATEGORISIERUNG	5
2.1.1	Modelle aus wissenschaftstheoretischer Perspektive: Allgemeine Modelltheorie	7
2.1.2	Mentale Modelle	8
2.1.3	Modelle aus epistemologischer Perspektive: Modellsein nach Mahr	11
2.1.4	Der Modellbegriff in der Naturwissenschaftsdidaktik	12
2.1.5	Kategorisierung von Modellen	15
2.2	REPRÄSENTATIONEN: DEFINITION	16
2.3	ZUSAMMENHANG ZWISCHEN REPRÄSENTATIONEN UND MODELLEN	17
2.4	KATEGORISIERUNG MULTIPLER EXTERNER REPRÄSENTATIONEN	20
2.4.1	Repräsentationen entlang des Chemischen Triplets nach Johnstone	21
2.4.2	Modi externer Repräsentationen	26
2.4.3	DeFT: Allgemeine Funktionen von multiplen externen Repräsentationen	28
2.4.4	Konkrete und abstrakte Repräsentationen	31
<u>3</u>	<u>REPRÄSENTATIONEN BEIM MODELLIEREN</u>	<u>36</u>
3.1	REPRÄSENTATIONEN IM MODELLIERPROZESS	36
3.2	FUNKTIONEN VON MULTIPLEN EXTERNEN REPRÄSENTATIONEN BEIM ERKLÄREN	40
3.3	MODELLE IM ERKENNTNISPROZESS	44
3.4	KOMPETENZEN UND KOMPETENZMODELLIERUNG	50
3.5	MODELLIERUNGSKOMPETENZ IM ZUSAMMENHANG MIT DER KOMPETENZMODELLIERUNG	52
3.6	REPRÄSENTATIONSKOMPETENZ	56
<u>4</u>	<u>KONKLUSION UND FORSCHUNGSDESIDERAT</u>	<u>63</u>
<u>5</u>	<u>FORSCHUNGSZIELE UND FORSCHUNGSFRAGEN</u>	<u>67</u>
<u>6</u>	<u>EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG ZUR INFORMATIONSENTNAHME UND LERNERORIENTIERTEN MERKMALSVALIDIERUNG</u>	<u>70</u>
6.1	STUDIENDESIGN	70
6.2	KONSTRUKTION DER INSTRUMENTE	71
6.2.1	Fachwissenstest	73
6.2.2	Repräsentationstest	75
6.2.3	Semantisches Differential	85
6.3	STICHPROBENBESCHREIBUNG	90

6.4	PROBABILISTISCHE TESTTHEORIE	92
6.4.1	Rasch-Modell	93
6.4.2	Kennwerte der Modellpassung	95
6.4.3	Testgütekriterien	97
6.4.4	Mehrdimensionales Raschmodell	98
6.5	ERGEBNISSE	100
6.5.1	Vorgehen bei der Datenaufbereitung und Datenanalyse	100
6.5.2	Güte der Testinstrumente	101
6.5.3	Überprüfung der Dimensionen	111
6.5.4	Fachwissenstest	113
6.5.5	Repräsentationstest: Informationsentnahme aus externen Repräsentationen	115
6.5.6	Lernerorientierte Merkmalsvalidierung	120
6.6	ZUSAMMENFASSENDE DISKUSSION	126
7	<u>EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG ZU DER NUTZUNG VON EXTERNEN REPRÄSENTATIONSFORMEN IM MODELLIERPROZESS</u>	<u>132</u>
7.1	UNTERSUCHUNGSDESIGN	133
7.2	METHODISCHE VORGEHENSWEISE	136
7.3	STICHPROBENBESCHREIBUNG	139
7.4	LERNUMGEBUNG	140
7.4.1	Digitalisierung der Lernumgebung	141
7.4.2	Videos zu den Phänomenen	144
7.4.3	Initiierung des Modellierprozesses – Erklärungsphase	148
7.4.4	Pilotierung der Lernumgebung	151
7.5	INSTRUMENTE	153
7.5.1	Kontrollvariablen	155
7.5.2	Abhängige Variablen	158
7.5.3	Analyse der Prozessdaten in Bezug auf die Funktionen der externen Repräsentationen im Modellierprozess	163
7.5.4	Prozessbegleitende Variable: Kognitive Belastung	169
7.6	ERGEBNISSE	171
7.6.1	Vorgehen bei der Datenanalyse	171
7.6.2	Kontrollvariablen in Bezug auf die gewählten Phänomene	172
7.6.3	Unabhängige Variable: Auswahl der externen Repräsentation	173
7.6.4	Kontrollvariablen	176
7.6.5	Abhängige Variablen	178
7.6.6	Analyse der Prozessdaten	184
7.6.7	Prozessbegleitende Variable: Kognitive Belastung	188
7.6.8	Bezüge zwischen den Variablen	191
7.7	ZUSAMMENFASSENDE DISKUSSION	195
8	<u>ZUSAMMENFÜHRUNG DER ERGEBNISSE UND FAZIT</u>	<u>201</u>

<u>9</u>	<u>IMPLIKATIONEN</u>	<u>207</u>
9.1	IMPLIKATIONEN FÜR DIE FORSCHUNG	207
9.2	IMPLIKATIONEN FÜR DIE SCHULPRAXIS	209
<u>10</u>	<u>VERZEICHNISSE</u>	<u>212</u>
10.1	LITERATURVERZEICHNIS	212
10.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	227
10.3	TABELLENVERZEICHNIS	229
10.4	FORMELVERZEICHNIS	230
<u>11</u>	<u>ANHANG</u>	<u>231</u>

1 Einleitung

In den naturwissenschaftlichen Fächern ist das Denken in Modellen und deren Nutzung mithilfe von externen Repräsentationen charakteristisch. Dem Modellierprozess kommt neben dem Experimentieren als Methode der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung die Rolle als erkenntnistheoretisches Werkzeug zu. Modelle stellen durch ihre Beziehung zu naturwissenschaftlichen Theorien eine Brücke zwischen der Erkenntnis und der wahrnehmbaren Phänomene dar und sind somit unerlässlich für den naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn (Gilbert, 2004). Im Zusammenhang mit dem Modellierprozess werden Modelle als Repräsentationen *von einem Referenzbereich* und *für einen Zweck* beschrieben (Giere, 2010; Gouvea & Passmore, 2017). Modelle können durch Repräsentationen externalisiert werden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit stehen externe Repräsentationen im Mittelpunkt, die diesen Modellbezug aufweisen.

Modelle erfahren als erkenntnistheoretische Werkzeuge des Problemlösens im Rahmen der naturwissenschaftlichen Grundbildung besondere Relevanz. Demnach umfasse eine naturwissenschaftliche Grundbildung als übergeordnetes Bildungsziel neben dem Verständnis für grundlegende Fachinhalte gleichermaßen die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen (Henze, Driel & Verloop, 2007). Der Modellierprozess bietet im naturwissenschaftlichen Unterricht die Grundlage für Schüler*innen, ihre bereits vorhandenen Erkenntnisse über naturwissenschaftliche Phänomene und Konzepte in der Auseinandersetzung mit beobachteten naturwissenschaftlichen Phänomenen weiterzuentwickeln oder neue Erkenntnisse zu konstruieren (Justi & Gilbert, 2002). Für den Modellierprozess stellen das Wissen über und die Fähigkeiten im Umgang mit Repräsentationen grundlegende Voraussetzungen dar. Insbesondere in den naturwissenschaftlichen Fächern stehen für den Modellierprozess mehrere verschiedene externe Repräsentationsformen (multiple externe Repräsentationen) für den gleichen Referenzbereich zur Verfügung.

Aus der Forschungsliteratur geht hervor, dass Lernende Schwierigkeiten bezüglich der für den Modellierprozess benötigten Repräsentationen zeigen (Harrison & Treagust, 2000; Knuuttila, 2011). Insbesondere das Herstellen der Beziehung zwischen einer Repräsentation und der durch die Repräsentation vermittelten Inhalte stellt eine große Herausforderung dar (Kozma & Russell, 1997). Zudem zeigen Lernende Defizite in Bezug auf das zugrundeliegende Modellverständnis von Repräsentationen (Gouvea & Passmore, 2017; Nicolaou & Constantinou, 2014; Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010). Diese Schwierigkeiten der Lernenden spiegeln sich in dem Problem wider, naturwissenschaftliche Erkenntnisse auf der Grundlage von Repräsentationen in Modellierprozessen zu erlangen.

Zunehmend etablieren sich Ansätze zur Kategorisierung von multiplen externen Repräsentationen sowohl aus naturwissenschaftsdidaktischer als auch lehr-lerntheoretischer Perspektive. Diese haben u. a. das Ziel den Einfluss der verschiedenen Repräsentationen auf den Lernprozess zu erfassen. Aus der naturwissenschaftsdidaktischen Perspektive lassen sich Differenzierungsansätze identifizieren, die u. a. auf das traditionelle chemische Dreieck nach Johnstone (1993) sowie die fünf Modi der externen Repräsentationen nach Boulter und Buckley (2000) zurückzuführen sind. Die angeführten Ansätze umfassen eine Differenzierung anhand der durch Sinnesorgane zugänglichen Eigenschaften oder der den Repräsentationen zugrundeliegenden Zeichensysteme. Es wird außerdem vorgeschlagen, eine Differenzierung von multiplen externen Repräsentationen anhand eines Kontinuums von konkret zu abstrakt vorzunehmen, die mit theoretischen Annahmen über den unterstützenden Einfluss auf die mentale Modellbildung verbunden sind. Diese Kategorisierungsansätze bergen allerdings die Schwierigkeit, multiple externe Repräsentationsformen anhand ihrer Eigenschaften eindeutig zuzuordnen. Hierfür können lehr- lerntheoretische Ansätze herangezogen werden. So vertritt Schnotz (2002) eine Differenzierung in konkrete und abstrakte Repräsentationen, indem er den Zusammenhang mit kognitiven Verarbeitungsprozessen sowie die Beziehung zum Referenzbereich berücksichtigt.

Aus empirischen Studien gehen jedoch inkonsistente Ergebnisse in Bezug auf den Einfluss von konkreten und abstrakten Repräsentationen auf den Wissenszuwachs hervor, die in einer andauernden Debatte über die Vorteile einer der Kategorien mündet (Jaakkola & Veermans, 2015). Ainsworth (2008a) regt in diesem Zusammenhang an, dass die starke Fokussierung auf die theoretischen Annahmen und Kategorisierungen eine Vernachlässigung der Lernerperspektive zur Folge habe. Folglich ist eine evidenzbasierte Validierung der theoretischen Annahmen über konkrete und abstrakte Repräsentationen unter besonderer Berücksichtigung der Lernerperspektive bislang kaum Gegenstand der Forschung.

Von den bisherigen Ergebnissen ausgehend, legt die vorliegende Arbeit den Schwerpunkt auf die Analyse des Einflusses von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen im Modellierprozess im Fach Chemie. Hierbei wird die Lernerperspektive im Rahmen der Beurteilung der externen Repräsentationsformen berücksichtigt. Zur Erfassung der benötigten Daten werden zwei aufeinander aufbauende Studien durchgeführt. In der ersten Studie wird in einer quantitativen Untersuchung die Informationsentnahme aus konkreten und abstrakten externen Repräsentationen im Inhaltsbereich der Säuren und Basen analysiert und zusätzlich die aus der Theorie abgeleiteten Merkmale von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen anhand der Beurteilung der Lernenden validiert. Ziel der Studie ist es, die Fähigkeit der Informationsentnahme aus

konkreten und abstrakten externen Repräsentationen zu erheben. Zusätzlich soll die Beurteilung der Lernenden in Bezug auf die theoretischen Annahmen über die Schwierigkeit der Informationsentnahme aus konkreten und abstrakten externen Repräsentationen sowie die Ähnlichkeitsbeziehung zum Referenzbereich erfasst und miteinander in Beziehung gesetzt werden.

In der zweiten Studie wird anhand eines quasi-experimentellen Designs der Einfluss der von den Lernenden gewählten Repräsentationsform auf deren Nutzung als Modell beim Erklären eines chemischen Phänomens analysiert. Die Analyse der Nutzung der Repräsentationsform als Modell beim Erklären erfolgt auf der Grundlage von Prozessdaten (Screencast-Videos), die zwischen zwei Testzeitpunkten (Prä-, Post-Testplan) erhoben werden. Die Analyse der Daten soll Hinweise auf die Qualität des Nutzungsverhaltens von externen Repräsentationsformen im Modellierprozess beim Erklären eines chemischen Phänomens liefern und die Beziehung zwischen dem Nutzungsverhalten und der gewählten externen Repräsentationsform aufklären.

2 Repräsentationen im naturwissenschaftlichen Unterricht

Der naturwissenschaftliche Unterricht erfuhr nicht zuletzt durch die Ergebnisse internationaler Vergleichsstudien bspw. PISA und naturwissenschaftsdidaktischer Forschung in den letzten Jahrzehnten einen Umbruch (Schiepe-Tiska et al., 2016). Neben der traditionellen Ausrichtung des Fachunterrichts mit dem Fokus auf die Vermittlung von Fachinhalten gewann die Förderung der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen im naturwissenschaftlichen Unterricht zunehmend Relevanz. Die Reformbemühungen im Bildungssystem brachten eine Orientierung an Standards sowie einer naturwissenschaftlichen Grundbildung *scientific literacy* mit sich, welche die Vermittlung von naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen der Vermittlung von Fachinhalten gleichstellt (Gräber & Nentwig, 2002). In Bezug auf die naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen werden neben Experimenten Modelle als etablierte erkenntnistheoretische Methode in den Naturwissenschaften explizit angeführt und folglich nicht mehr nur als fachinhaltliche Notwendigkeit angesehen (Gieryn, 2004; Gilbert & Boulter, 2000; Knuuttila, 2011).

Über die Bedeutsamkeit von Modellen für das Lernen in den naturwissenschaftlichen Fächern herrscht ein allgemeiner Konsens (Gieryn, 1990; Gilbert & Boulter, 2000; Knuuttila, 2011; Luisi & Thomas, 1990). „Hiernach ist alle Erkenntnis *Erkenntnis in Modellen* oder *durch Modelle*, und jegliche menschliche Weltbegegnung überhaupt bedarf des Mediums Modell“ (Stachowiak, 1973, S. 56). Modelle werden als erkenntnistheoretische Werkzeuge, als Repräsentation *von* einem Referenzobjekt und zeitgleich als Repräsentation *für* einen Zweck genutzt, um Wissen und Erkenntnisse über das Referenzobjekt zu erlangen. Der Prozess, in dem Lernende in der Auseinandersetzung mit Phänomenen für einen erkenntnistheoretischen Zweck Modelle konstruieren, weiterentwickeln oder nutzen, wird als Modellierprozess beschrieben. Modellieren als Prozess im Unterricht lässt sich in allen Phasen der Erkenntnisgewinnung wiederfinden. So finden sie bspw. Anwendung beim Generieren von Fragen und Hypothesen und dem Deuten von Beobachtungen. In diesem Zusammenhang rücken Modelle zunehmend als Brücke zwischen den wahrgenommenen Phänomenen und der Theorie in den Fokus (Gilbert, 2004).

Die besondere Bedeutung von Modellen ist nicht zuletzt auf die historische Entwicklung der naturwissenschaftlichen Disziplinen zurückzuführen. Seit Beginn der Naturwissenschaften gehen Fortschritte und neue Erkenntnisse mit der Entwicklung neuer Modelle und Repräsentationen einher. Anhand von Modellen werden u. a. eine Auseinandersetzung und Kommunikation über Phänomene ermöglicht, die jenseits der menschlichen Erfahrungs- und Wahrnehmungsgrenzen liegen (Knuuttila, 2011).

In der Literatur ist die Auffassung der Chemie als „visuelle Wissenschaft“ weit verbreitet (Rau, 2017; Wu & Shah, 2004). Luisi und Thomas (1990) pointieren, dass in der Chemie Denkweisen und Gedankenprozesse ohne Modelle und Modellieren unmöglich seien:

Formal pictorial representation of a substance is essentially a form of modelling, a way to represent reality in a concise way of paper, but with use, it has become more than this; it has become a way of thinking, and, in chemistry, the dominant way of thinking. (Luisi & Thomas, 1990, S. 67)

Diese besondere Stellung der Modelle und des Modellierens in der Chemie bezeichnen sie als *Pictographic Molecular Paradigm* und führen diese auf das domänenspezifische Charakteristikum der molekularen Ebene und die geschichtliche Entwicklung der Disziplin zurück (Luisi & Thomas, 1990).

Zunehmend rücken Modelle in den Fokus der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung, innerhalb derer ihnen aus wissenschafts-, erkenntnis-, und lerntheoretischer Perspektive nachgegangen wird. Das naturwissenschaftsdidaktische Interesse für die Rolle von Repräsentationen im naturwissenschaftlichen Unterricht entwickelte sich ab den 2000er Jahren mit zunehmender Digitalisierung. So finden zunehmend 3D-Animationen etc. den Weg in den naturwissenschaftlichen Unterricht (Knuuttila, 2011). Trotz des ansteigenden Forschungsinteresses an Repräsentationen im naturwissenschaftlichen Unterricht sowie die Herangehensweise aus diversen Perspektiven und naturwissenschaftlichen Fächern besteht eine große Ambiguität bezüglich der Definition und Kategorisierung von Modellen und Repräsentationen (Lin, Son & Rudd, 2016; Oh & Oh, 2011). Darüber hinaus bedarf es trotz enger Beziehung zwischen Modellen und Repräsentationen eine differenzierte Beschreibung beider Terminologien und der Beziehung zwischen ihnen (Boulter & Buckley, 2000; Knuuttila, 2011).

Infolge der Vielzahl bestehender Definitionen von Modellen und Repräsentationen werden darauffolgend die in dieser Arbeit zugrundeliegenden Definitionen von Modellen und Repräsentationen und deren Verhältnis zueinander herausgearbeitet. Des Weiteren werden Ansätze zur Kategorisierung von Repräsentationen dargestellt und diskutiert.

2.1 Modelle: Definition und Kategorisierung

Etymologisch betrachtet handelt es sich bei dem Begriff Modell um ein Lehnwort, dessen Herkunft sowohl auf das Italienische als auch das Lateinische zurückzuführen ist. Die unterschiedliche Wortherkunft des Substantives *Modell* bringt unterschiedliche Beschreibungen und Konnotationen hervor, die sich bis heute in der Semantik und dem Gebrauch des Begriffes manifestieren. Aus dem Lateinischen lässt sich die Beschreibung auf das Wort ‚modulus‘ zurückführen, das als ‚Maß‘ und ‚Verkleinerungsform‘ ins Deutsche übersetzt werden kann. Der Wortursprung des Begriffes lässt sich darüber hinaus im Italienischen verorten und führt hier auf das Wort ‚modello‘ zurück. ‚Modello‘ lässt sich ins Deutsche als ‚Muster‘ und ‚Entwurf‘ übersetzen. Etymologisch bedingt geht aus dem Begriff *Modell* eine semantische Zweiteilung hervor. Die Beschreibung des Begriffes aus dem Lateinischen impliziert die Vorstellung des skalierten Abbildes während die aus

dem Italienischen die eines Vorbildes innehat.

Exkurs zum Realitätsbegriff aus wissenschaftsphilosophischer Perspektive

Die Thematik der Modelle steht im engen Zusammenhang mit der wissenschaftsphilosophischen Frage *„Was repräsentieren Modelle?“*. Diesbezüglich geht eine Diskussion über die Realität und Modelle sowie das Verhältnis zwischen diesen hervor. Die wissenschaftstheoretische Debatte spiegelt sich in der Frage nach der Existenz von Atomen bzw. Molekülen wider (Giere, 2005). So lassen sich unter Berücksichtigung der verschiedenen wissenschaftstheoretischen Perspektiven unterschiedliche Auffassungen in Bezug auf das Verhältnis von Modellen und der Realität erkennen. Da die wissenschaftsphilosophischen Ansätze zwar relevant sind, jedoch nicht Hauptgegenstand dieser Arbeit sind, wird ein kurzer Überblick über zwei Perspektiven gegeben, die in der Literatur in Bezug auf den naturwissenschaftlichen Unterricht angeführt werden.

Aus der Literatur gehen zwei dominierende wissenschaftstheoretische Ansätze hervor; realistische Ansätze wie der Realismus und nicht-realistische Ansätze wie der Konstruktivismus. Die Perspektive des Konstruktivismus impliziert die Annahme, dass naturwissenschaftliche Theorien und Tatsachen, die als objektiv angenommen werden, das Produkt sozialer und subjektiver Konstruktionen seien (Giere, 2005; Gilbert, Pietrocola, Mauricio, Zylbersztajn & Franco, 2000). Dahingegen vertritt der Realismus die Position, dass unabhängig vom menschlichen Denken und von Beobachtungen Phänomene in der Wirklichkeit real existieren „Scientific realism says that the entities, states and processes described by correct theories really do exist“ (Hacking, 1986, S. 21). Die Theorien und Modelle sind nach dem Realismus auf Konstruktionsprozesse von Menschen zurückzuführen, um sich der Realität zu nähern und sie zu verstehen, auch wenn sie sich auf nicht beobachtbaren Entitäten wie ein Atom beziehen, jedoch durch Theorien und Modelle erklärt werden (Giere, 2005; Hacking, 1986).

Entsprechend der konstruktivistischen Perspektiven wird die Existenz von Atomen negiert und Theorien sowie Modelle zu Atomen entwickelt, weil sie in unserem Interesse stehen „Anti-realism says the opposite: there are no such things as electrons. Certainly there are phenomena of electricity and of inheritance but we construct theories about tiny states, processes and entities only in order to predict and produce events that interest us“ (Hacking, 1986, S. 21).

Laut Gilbert und Pietrocola et al. (2000) setze die naturwissenschaftliche Wissensbildung im naturwissenschaftlichen Unterricht eine Orientierung an der realistischen Perspektive voraus. Eine Orientierung an der Annahme, dass keine Realität unabhängig vom menschlichen Bewusstsein existiere, erschwere den Erwerb von naturwissenschaftlichen Theorien, Konzepten und Modellen. Auch diese Arbeit orientiert sich an der realistischen Perspektive auf das Verhältnis zwischen Modellen, Theorien und Realität.

2.1.1 Modelle aus wissenschaftstheoretischer Perspektive: Allgemeine Modelltheorie

Eine der prägenden Beschreibungen von Modellen im Zusammenhang mit der Erkenntnistheorie ist auf den Philosophen Herbert Stachowiak zurückzuführen. Stachowiak (1980) führt an, dass die ontologische Perspektive auf Modelle angesichts der Entwicklungen des Wissenschaftsverständnisses durch eine Vernachlässigung des Subjektes (Modellierer*in) und zeitgleich handlungs- und entscheidungsunabhängige Modellbeschreibung überholt sei. Der ontologische Modellbegriff beruht auf einer reinen Modellbeschreibung durch die zweistellige Relation zwischen dem Original und dem Modell. Diese ontologische Modellbeschreibung wird in der neopragmatischen Erkenntnistheorie durch die Berücksichtigung des Subjekts relativiert und erweitert.

Seine als Neopragmatismus bezeichnete Erkenntnistheorie basiert auf einer epistemologischen Perspektive, innerhalb derer Modellen eine relevante Bedeutung zukommen (Stachowiak, 1973). Stachowiak wendet sich mit der neopragmatischen Erkenntnistheorie von der Auffassung ab, dass Erkenntnis und Wahrheit universell und objektiv seien. Innerhalb des pragmatischen Entschlusses nimmt er die Grundposition ein, dass der Erkenntnisprozess stets pluralistisch und geprägt durch Intentionen vollzogen wird und die wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung unabgeschlossen sei (Stachowiak, 1973, 1980). Aus der Zusammenführung des pragmatischen Entschlusses und dem Modellkonzept der Erkenntnis leitet Stachowiak das neopragmatische Erkenntnisconcept des Modellismus ab. Im Rahmen des neopragmatischen Erkenntnisconceptes paraphrasiert Stachowiak (1973, 1980) Modelle als Merkmalsträger, die sich durch die drei Merkmale Abbildungsmerkmal, Verkürzungsmerkmal (Modellkonzept der Erkenntnis) sowie dem pragmatischen Merkmal charakterisieren lassen (pragmatischer Entschluss).

Mit dem Abbildungsmerkmal beschreibt Stachowiak (1973) die Eigenschaft eines Modells, eine Repräsentation oder Abbildung eines Originals zu sein und somit für ein Referenzobjekt zu stehen. Das Original kann in diesem Zusammenhang künstlicher oder natürlicher sowie gegenständlicher oder theoretischer Natur sein.

Das Verkürzungsmerkmal beschreibt die Tatsache, dass in dem Modell nicht alle Originalattribute immanent sein müssen. Die Selektion der Originalattribute, die innerhalb eines Modells aufgegriffen und durch das Modell dargestellt werden, steht in Abhängigkeit zu dem Subjekt (hier Modellierer*in) (Stachowiak, 1973). Voraussetzung für das Verkürzungsmerkmal sind Kenntnisse sowohl über das Original als auch das Modell.

Das Verkürzungsmerkmal spricht bereits die pragmatischen Merkmale an, die in Stachowiaks neopragmatischen Erkenntnisconcept des Modellismus als Erweiterung des bisherigen Modellbegriffes gelten.

Stachowiak (1973) führt an, dass die Modell-Original-Relation, die Gegenstand des Abbildungs- und Verkürzungsmerkmal ist, mit dem pragmatischen Merkmal auf dreifache Weise zu relativieren sei. Demnach erfülle ein Modell eine Ersatzfunktion „a) für bestimmte – *erkennende und/oder handelnde, modellbenutzende* – Subjekte, b) *innerhalb*

bestimmter Zeitintervalle und c) *unter Einschränkung auf* bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen“ (Stachowiak, 1973, S. 133). Die Relativierung der Modell-Original-Relation erfolgt somit durch die Kategorien Personen-/ Subjektbezug (für wen), Zweck (wozu) und Zeitintervall (wann).

Die Modellmerkmale nach Stachowiaks neopragmatischem Erkenntniskonzept des Modellismus finden nicht zuletzt durch die Betonung des Subjektes bzw. der modellierenden Person Eingang in die naturwissenschaftsdidaktische Beschreibung eines Modells (siehe Abschnitt 2.1.4). Dass Modellen in Bezug auf die Erkenntnisgewinnung eine große Bedeutung zukommt, begründet Stachowiak damit, dass Erkenntnis in Abhängigkeit zu der Entlastung der Realität sowie Übertragung analogisierender Merkmale stehe, was Modelle leisten können (Stachowiak, 1980). Eine stärkere Fokussierung und Beschreibung der kognitiven Verarbeitungsprozesse durch das Subjekt werden in den Ausführungen Stachowiaks nicht vorgenommen.

2.1.2 Mentale Modelle

Bereits Stachowiak (1973) erweiterte die Modellbeschreibung im Zusammenhang mit der Erkenntnisgewinnung durch die Berücksichtigung des Subjektes bzw. des Personenbezuges. Mit der sogenannten kognitiven Wende erfuhr die Beschreibung von Modellen durch die kognitionspsychologische Perspektive eine größere Bedeutung und eine Hinwendung zu mentalen Modellen (Nitz & Fechner, 2018). Das Richten der Aufmerksamkeit auf die mentalen Modelle ermöglichte die Betrachtung der personalen Ebene bzw. des Subjekt und der damit einhergehenden Wahrnehmung sowie kognitiven Verarbeitungsprozesse (Nitz & Fechner, 2018). Im Rahmen von Modellierprozessen werden mentale Modelle konstruiert, erweitert und revidiert, sodass sie in dessen Zusammenhang einer Beschreibung bedürfen. Gegenstand des Dissertationsprojektes sind Modellierprozesse, weshalb im folgenden Abschnitt zunächst ein zusammenfassender Überblick über die theoretischen Beschreibungen von mentalen Modellen gegeben wird. Ausgehend von den zwei Ansätzen zur Beschreibung von mentalen Modellen wird eine Zusammenfassung der Definition von mentalen Modellen gegeben, die dieser Arbeit zugrunde liegt.

Allgemein werden mentale Modelle als eine Form gedanklich analoge Repräsentationen von wahrnehmbaren Phänomenen bezeichnet, die eine hohe strukturelle Ähnlichkeit mit dem referenziellen Phänomen aufweisen (Johnson-Laird, 1980, 2010; Vosniadou, 2002). Mentale Modelle unterscheiden sich insofern von wissenschaftlichen Modellen, als dass sie subjektive interne Konstrukte sind, die ausgehend von der Erfahrungswelt mental von dem Subjekt konstruiert werden (Gilbert, Boulter & Rutherford, 1998; Greca & Moreira, 2000; Rumelhart & Norman, 1981).

Durch die Verfügbarkeit des Phänomens als mentales Modell, das zusätzlich die Dyna-

mik und Strukturen des Phänomens aus der Erfahrungswelt beinhaltet, können Denkooperationen an dem mental repräsentierten Phänomen durchgeführt und auf das Phänomen der Erfahrungswelt übertragen werden (Coll & Treagust, 2001; Greca & Moreira, 2000). Mentale Modelle stellen somit nicht nur eine Form der Wissensrepräsentation dar, sondern ermöglichen zusätzlich das Erschließen und Organisieren von Wissen ohne die Notwendigkeit das mentale Modell zu externalisieren (Rumelhart & Norman, 1981). Unterschiedliche Herangehensweise an die Konzeptualisierung und theoretische Rahmung lassen sich wie bereits bei der Modellbeschreibung ebenfalls bezüglich der mentalen Modelle erkennen. Mit der kognitiven Wende, die sich in der Thematik Modelle durch mentale Modelle niederschlägt, etablierten sich die zwei Theorieansätze *theoretical approach* und *instructional approach* zu mentalen Modellen (Greca & Moreira, 2000; Nitz & Fechner, 2018). Diese zwei Konzeptualisierungen von mentalen Modellen weisen bedeutsame Unterschiede bezüglich ihrer Grundannahmen z. B. der Funktion von mentalen Modellen und ihrer kognitiven Verarbeitung auf.

Der Ansatz *theoretical approach* ist auf Johnson-Laird (1983) zurückzuführen, der die Auffassung vertritt, dass mentale Modelle insbesondere beim Problemlösen in spezifischen Situationen im Arbeitsgedächtnis in Form integrierter Repräsentationen konstruiert werden. Die mentalen Repräsentationen (auch interne Repräsentationen genannt) können nach dem *theoretical approach* in den drei Formen mentale Bilder, Propositionen und Modellen vorliegen (Johnson-Laird, 1983, S. 146–166). Mentale Bilder seien

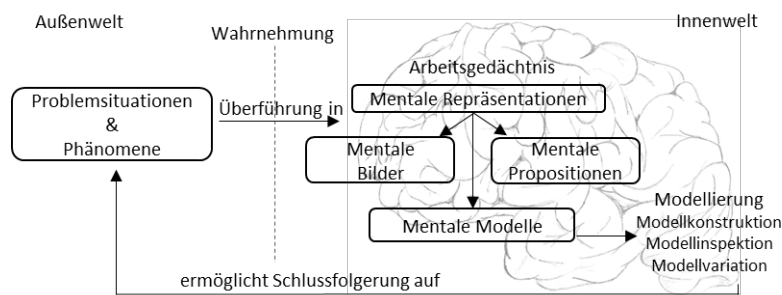


Abbildung 1. Zusammenfassende Darstellung der Annahmen des theoretical approach

nach diesen theoretischen Annahmen bildliche Repräsentationen, die viele strukturelle und formale Gemeinsamkeiten mit dem repräsentierten Phänomen und eine zweidimensionale Beschaffenheit aufweisen.

Mentale Propositionen werden dahingegen als kleinste Einheiten, die auf einem verbalsprachlichen Zeichensystem basieren, verstanden und auf die Inferenzregeln angewendet werden müssen, um an ihnen übergeordnete Denkooperationen z. B. Schlussfolgerungen vollziehen zu können. Mentale Modelle werden hier spezifischer als analoge Repräsentationen beschrieben, die über die hohe Ähnlichkeit mit dem repräsentierten Phänomen hinaus räumliche Ähnlichkeit, zeitliche, kausale und logische Relationen beinhalten (im Unterschied zu mentalen Bildern) (Johnson-Laird, 1983, 2010). Sie werden als überwiegend ikonisch mit abstrakten Elementen charakterisiert. Nach der Auffassung *theoretical approach* lassen sich somit folgende Charakteristika mentaler

Modelle annehmen: situativ (Problemlösen in Situationen), temporär (Gedächtnisinstanz: Arbeitsgedächtnis) und dynamisch (Gedächtnisinstanz und Formen mentaler Repräsentationen).

Die Auffassung des *instructional approach* ist auf Gentner und Stevens (1982) zurückzuführen, die in mentalen Modellen individuelle Funktionsmodelle sehen, die das Entwickeln von konzeptuellem Verständnis für komplexe Domänen (z. B. Naturwissenschaften) ermöglichen. Gentner und Stevens (1982) verorten mentale Modelle im Gegensatz zu Johnson-Laird (1980) im Langzeitgedächtnis, in dem sie in Form von propositionalen Netzwerken vorliegen. Die Anwendung der mentalen Modelle bezieht sich nicht wie nach der Auffassung *theoretical approach* auf übergeordnete Denkopoperationen (Schlussfolgern), sondern auf das durch mentale Manipulation mögliche Erklären (naturwissenschaftlicher) Phänomene, die eine hohe Komplexität aufweisen (Greca & Moreira, 2000). Nach der *theoretical approach* Theorie lassen sich mentale Modelle insbesondere durch langfristige Wissensstrukturen charakterisieren, die eine erschwerte Veränderbarkeit aufweisen und instabil sowie unvollständig sind (Nitz & Fechner, 2018). Die von Gentner und Stevens (1982) formulierten Annahmen zu mentalen Modellen stoßen insbesondere in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung zu Schülervorstellungen auf große Resonanz.

Obwohl in beiden Ansätzen postuliert wird, dass kognitive Prozesse wie das Simulieren und Manipulieren an mentalen Modellen vorgenommen werden kann, sind auch diesbezüglich abweichende Auffassungen erkennbar.

Gemäß des *instructional approach* Ansatzes ist die Analogiebildung bedeutsam, um die kognitiven Prozesse im Zusammenhang mit mentalen Modellen zu beschreiben (Gentner & Markman, 1997). Hiernach erfolgt für die Erklärung eines unbekannten Phänomens ein Rückgriff auf ein bereits bekanntes Phänomen, das eine ähnliche Struktur aufweist. Eine Übertragung dieser ähnlichen Strukturen vom bekannten auf das unbekannte Phänomen ermöglicht eine Erklärung des unbekannten Phänomens (Gentner & Markman, 1997).

Im *theoretical approach* wird von einem dreiphasigen kognitiven Modellierprozess ausgegangen, den Individuen für das Schlussfolgern durchlaufen (Held, Knauff & Vosgerau, 2006, S. 12–13):

- I. Modellkonstruktion (*construction phase*): Ein mentales Modell wird ausgehend von den Informationen, die in einer spezifischen Situation gegeben sind, konstruiert.
- II. Modellinspektion (*inspection phase*): Es erfolgt eine Identifizierung von fehlenden Informationen im mentalen Modell, aus denen Schlussfolgerungen gezogen werden können.
- III. Modellvariation (*variation phase*): Unter Einbezug alternativer mentaler Mo-

delle zu den gegebenen Informationen findet eine Überprüfung der Schlussfolgerung statt. Sofern kein alternatives mentales Modell der Informationen vorhanden ist, das der Schlussfolgerung widerspricht, behält sie ihre Gültigkeit und wird diese als wahr angenommen.

In der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung ist keine konsensuelle Nutzung der theoretischen Rahmungen zu mentalen Modellen festzustellen. Vielmehr findet ausgehend vom Schwerpunkt empirischer Studien eine grundlegende Positionierung zu einer der beiden Ansätze statt, die jedoch durch Erweiterung und Vermischung mit den Elementen der jeweils anderen theoretischen Annahmen zu eigenen Definitionen führt (Nitz & Fechner, 2018).

Die dieser Arbeit zugrundeliegende Definition von mentalen Modellen folgt der beiden theoretischen Annahmen gemeinen und bereits angeführten Definition von mentalen Modellen als analoge interne Repräsentationen, die hohe strukturelle Gemeinsamkeiten mit dem Repräsentierten aufweisen.

2.1.3 Modelle aus epistemologischer Perspektive: Modellsein nach Mahr

Im Folgenden wird ein Überblick über den Modellbegriff nach Mahr gegeben, da dieser die theoretische Basis für das grundlegende Verständnis für den naturwissenschaftlichen Modellbegriff als auch die Modellkompetenz bildet (Krell, Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2014; Krüger, Kauertz & Upmeyer zu Belzen, 2018). Der Informatiker Mahr (2004, 2008) führt in seiner Konzeptualisierung die mentalen Modelle mit (externalisierten/gegenständlichen) Modellen zusammen, indem er davon ausgeht, dass ein mentales Modell durch ein Modellobjekt externalisiert wird und dieses Modellobjekt durch das Subjekt zu einem Modell bestimmt werde.

Mahr (2008) wendet sich aufgrund des homonymen Gebrauchs des Modellbegriffes von einer Modelldefinition anhand ontologischer bzw. gegenstandsbezogener Merkmale und einer Definition anhand der Frage „Was ist ein Modell?“ ab. In seinen Ausführungen zum Modellsein wird eine konsequent epistemologische Perspektive vertreten, innerhalb derer er Bedingungen nennt, unter denen ein physisches bzw. gegenständliches Objekt begründet als Modell von einem Subjekt aufgefasst wird (Mahr, 2004, 2008). Ob etwas als Modell gesehen wird, hängt somit vom Urteil des Subjektes ab: „Das Modellsein ist Inhalt eines Urteils“ (Mahr, 2004, S. 11). Trotz der Subjektabhängigkeit des Modellseins, postuliert der Autor eine gemeinsame Struktur, die das Urteil des Modellseins bestimme und die als das epistemische Muster des Modellseins bezeichnet wird. Eine Übersicht zur Struktur des epistemischen Musters ist in Abbildung 2 dargestellt und umfasse nach Mahr (2008) eine dreistellige Identität bestehend aus Elementen, die durch induktive und deduktive Prozesse in Beziehung gebracht werden und das Modellsein maßgeblich bestimmen.

Das epistemische Muster des Modellseins beinhalte den zum Modell ernannten Gegenstand (Modellobjekt bzw. externe Repräsentation), der unterschiedliche Erscheinungsformen z. B. Text, Graphik, räumliche Figuren aufweisen kann.

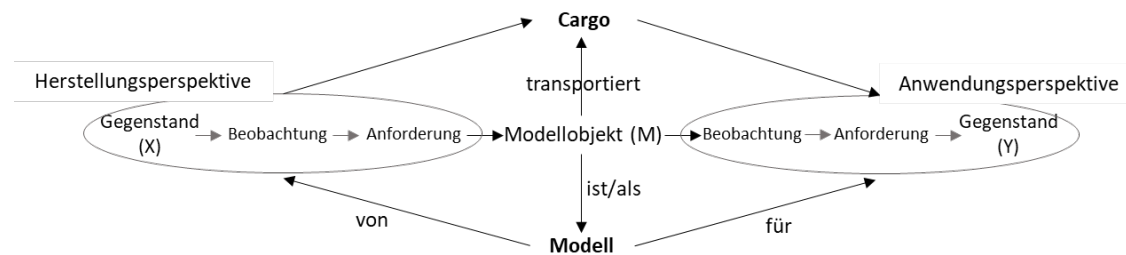


Abbildung 2. Diagramm zum epistemischen Muster des Modellseins (adaptiert nach Mahr, 2008, S.31)

Das Modellobjekt stehe nach Mahr (2008) in Verbindung mit etwas, von dem es ein Modell ist und gleichzeitig mit etwas, für das es ein Modell ist. Die Herstellung der Beziehungen erfolge nach sequenziellen Handlungen, beginnend bei einer Beobachtung eines physischen oder mentalen Gegenstandes, aus der sich eine Anforderung an das Modellobjekt ergebe. In einem induktiv verlaufenden Herstellungsprozess werden Merkmale oder Erkenntnisse auf das Modellobjekt übertragen, was die konstruktive Beziehung Modell ‚von etwas‘ zu sein begründe. In einer Anwendungsperspektive werden durch eine Deduktion die Inhalte von dem Modellobjekt auf etwas übertragen, wodurch sich die konstruktive Beziehung gleichzeitig Modelle ‚für etwas‘ rechtfertigen lasse. Für das Urteil des Modellobjektes als Modell durch das Subjekt wird sowohl die Herstellungs- als auch Anwendungsperspektive stets berücksichtigt. Situationsabhängig kann der Fokus auf eine der beiden Perspektiven gelenkt sein, sodass die andere in den Hintergrund rücke.

Mahr (2008) führt darüber hinaus an, dass Modellen die Funktion eines Transporteurs bzw. Mittler zukomme. Das durch das Modellobjekt zu Vermittelnde wird als Cargo bezeichnet. Der Cargo setze das, von dem ein Gegenstand Modell ist, mit dem, für das ein Gegenstand ein Modell ist in Beziehung. Die konstruktiven Beziehungen des Modellobjektes, Modell ‚von etwas‘ und gleichzeitig ‚für etwas‘ zu sein, sind hiernach Bedingungen für das Urteil über das Modellsein.

2.1.4 Der Modellbegriff in der Naturwissenschaftsdidaktik

Trotz der großen Variation von Modellbegriffen zeichnet sich zunehmend eine Tendenz ab, Modelle nicht nur über ihre Repräsentationsfunktion, sondern mit ausdrücklichem Bezug zum intentionsgeleiteten Nutzen und dem modellierenden Subjekt zu konzeptualisieren. In Entsprechung zu Stachowiaks (1973) allgemeiner Modelltheorie und der kognitiven Wende erfolgt auch die jüngste Modellbeschreibung in der Naturwissenschaftsdidaktik nicht nur entlang ontologischer Merkmale, sondern umfasst eine Beschreibung von Modellen von und für etwas. Die Modellbeschreibung in der Naturwis-

senschaftsdidaktik unterscheidet sich von bereichsunspezifischen Modellbeschreibungen insoweit, als dass dem erkenntnistheoretischen Zweck von Modellen eine besondere Rolle beigemessen wird.

Giere (2010) beschreibt in seiner *agent-based conception of a model* ein Modell über die Aussage „Agents intend to use model *M* to represent a part of the world *W* for some purpose *P*“ (Giere, 2010, S. 269). Gemäß dieser Beschreibung kann ein Modell nicht ohne eine*n Modellierer*in und dem zweckgebundenen Nutzen beschrieben werden noch existieren.

Zur Verdeutlichung dieser Modellbeschreibung kann das von dem Chemiker Emil Fischer entwickelte Schlüssel-Schloss-Modell zu seinen Vorstellungen über die Substratspezifität von Enzymen bei einer enzymatischen Katalyse genutzt werden. Die Ergebnisse seiner experimentellen Arbeiten zur Gärfähigkeit synthetischer und natürlicher Glykoside mithilfe von Hefe zeigten zu seiner Verwunderung, unterschiedliche Reaktionsverläufe zwischen den Glykosiden und Enzymen. Emil Fischer nutzte einen Schlüssel und das dazugehörige Schloss sowie ihre komplementären Formen, um seine Hypothesen und Annahmen über den Einfluss der Konfiguration auf die chemische Reaktion zwischen Enzym und Substrat zu formulieren: „Um ein Bild zu gebrauchen, will ich sagen, dass Enzym und Glucosid wie Schloss und Schlüssel zueinander passen müssen, um eine chemische Wirkung aufeinander ausüben zu können“ (Fischer, 1894, S. 2992). In seinem Modell zur Substratspezifität beschreibt er, dass Enzym und Substrat eine komplementäre Struktur ähnlich zum Schlüssel und Schloss aufweisen müssen, um miteinander reagieren zu können (Schloss wird geöffnet) (Fischer, 1894; Lichtenthaler, 1994). Die Passung eines Schlüssels mit dem dazugehörigen Schloss ist isoliert betrachtet kein Modell, erst im Zusammenhang mit dem dahinterliegenden Konzept, das durch das modellierende Subjekt für einen bestimmten Zweck vermittelt wird, erhält es seinen Modellcharakter.

Ein Gegenstand erhält somit aufgrund bestimmter Eigenschaften allein nicht die Gültigkeit ein Modell zu sein, sondern wird als solches von Modellierer*innen für einen bestimmten Zweck entwickelt bzw. genutzt. Laut Giere (2010) liegt es bei den Modellierer*innen einerseits die beabsichtigten Ähnlichkeiten zwischen Phänomen und Modell und andererseits den epistemologischen Zweck des Modells festzulegen. Dieser Modellbegriff impliziert, dass in Abhängigkeit vom Zweck für das gleiche Phänomen mehrere Modelle existieren können sowie die gleiche Repräsentation für unterschiedliche Zwecke genutzt werden kann (Krüger et al., 2018).

Um dieser Konzeptualisierung von Modellen Rechnung zu tragen, geht die Forderung hervor Modelle als erkenntnistheoretisches Werkzeug zu betrachten (Gilbert & Justi, 2016; Gouvea & Passmore, 2017; Knuuttila, 2005, 2011). In diesem Zusammenhang wird in der Naturwissenschaftsdidaktik eine explizite Modellbeschreibung und -nutzung nicht nur aus der Sicht von ‚Modell von‘, sondern auch ‚Modell für‘ (Barke & Pieper, 2008) vorgenommen (Giere, 2010; Gouvea & Passmore, 2017; Krell & Krüger, 2017; Mahr,

2008).

Erfolgt eine Nutzung des Modells in einem Repräsentationsprozess (Modell von) wird auch von der retrospektiven Sicht gesprochen, während eine prospektive Sicht auf Modelle dann vorliegt, wenn Modelle als erkenntnistheoretische Werkzeuge genutzt werden, mithilfe derer Wissen vermittelt oder erworben wird, um beobachtete Phänomene zu erklären oder Vorhersagen über diese zu treffen (Modell für) (Gouvea & Passmore, 2017; Jansen, Knippels & Joolingen, 2019; Krell & Krüger, 2017).

Neben Giere (2010) sprechen Gouvea und Passmore (2017) ebenfalls von einer subjekt-basierten Konzeptualisierung des Modellbegriffes (siehe Abb. 3).

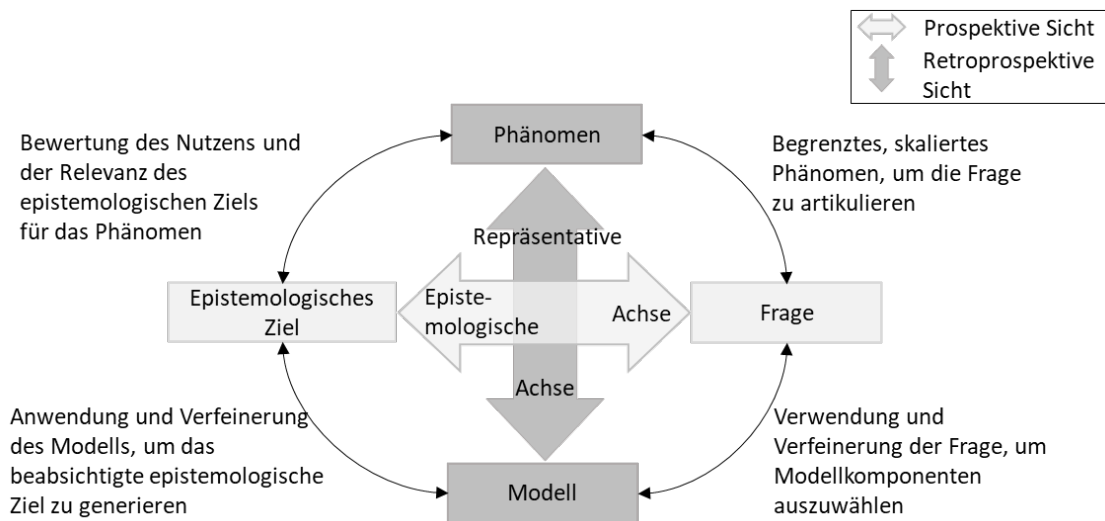


Abbildung 3. Agent-based Konzeptualisierung des Modellbegriffes (adaptiert nach Gouvea & Passmore, 2017, S. 54)

Die Autorinnen nennen basierend auf Giere (2010) und Stachowiak (1973) ebenfalls zwei Sichtweisen, aus denen ein Modell betrachtet und genutzt werden kann; der repräsentativen und epistemologischen. Die repräsentative Beziehung zwischen dem Modell und Phänomen wird hier ebenfalls im Sinne von ein ‚Modell von‘ beschrieben, wohingegen die epistemologische Achse die Sichtweise auf ein Modell, das für etwas steht, beinhaltet. Besonders an dieser Konzeptualisierung ist die Rolle der von dem Phänomen ausgehenden Frage, die in Wechselbeziehung zu dem epistemologischen Ziel stehe.

Modellierer*innen können Wissen und Fragen mithilfe von Modellen generieren, um das epistemologische Ziel zu erfüllen (Gouvea & Passmore, 2017). Das Erstellen und Nutzen eines Modells erfordert von der modellierenden Person demnach die Bestimmung der Art und Weise, in der die Darstellung des Phänomens durch eine Repräsentation erfolgen soll (vertikaler Pfeil) und des epistemologischen Zieles, für das sie das Modell entwickeln bzw. nutzen (Gouvea & Passmore, 2017). Das Wissen/ dahinterliegende Konzept, das nach der modellierenden Person durch das Modell vermittelt werden soll, um das epistemologische Ziel zu erreichen, wird mithilfe der epistemologischen Achse beschrieben.

Der Einsatz von Modellen für die Erkenntnisgewinnung stehe nach den Annahmen der Autorinnen in Abhängigkeit zu dem kognitiv agierenden Subjekt (äußere Pfeile), das eigenständig mit dem Phänomen und Modell in Beziehung tritt. Modellierer*innen bestimmen und konstruieren in einem Modellierprozess die repräsentative und epistemologische Achse und somit die Beziehungen zwischen Phänomen, Frage, Modell und Ziel und stellen somit eine unverzichtbare Komponente in der Modellbeschreibung dar.

Aus der Beschreibung eines Modells eine Repräsentation *von* und gleichzeitig *für etwas* zu sein, gehen zahlreiche Ansätze zur Beschreibung des Modellierprozesses sowie des Modellverständnisses hervor (siehe Abschnitt 2.1.4 und 3.1). Gemein ist den Konzeptualisierungen, dass ein Modell, erst unter Berücksichtigung des modellierenden Subjekts und der erkenntnisgebundenen Intention, als Repräsentation von und für etwas genutzt werden kann und eine vollständige Modelldefinition beide Komponenten impliziere (Giere, 2010; Gouvea & Passmore, 2017; Stachowiak, 1973).

2.1.5 Kategorisierung von Modellen

Für die Kategorisierung von Modellen lassen sich in der naturwissenschaftsdidaktischen Literatur diverse Ansätze wiederfinden, die neben den mentalen und gegenständlichen Modellen weitere Differenzierungen vornehmen. Harrison und Treagust (2000) bspw. nehmen eine Kategorisierung von schulrelevanten Modellen (*pedagogical models*) anhand eines Spannungsfeldes von konkreten bis abstrakten Modellen vor (*scale, pedagogical, analogical, iconic and symbolic, mathematical, theoretical, concept-process models, simulations, maps, diagrams and tables*).

Eine Vielzahl an Kategorisierungsansätzen von Modellen wird aufgrund der Prägung des Modellbegriffes durch die epistemologische Position und der damit einhergehenden Relevanz des aktiv modellierenden Subjekts kontrovers gehandhabt.

Gouvea und Passmore (2017) führen gegen die Typologisierung in *pedagogical models* an, dass es sich hierbei um externe Repräsentationen handle, die Lehrende nutzen, um bereits vorhandenes Wissen Schüler*innen zu demonstrieren: „We find it misleading to call these objects models at all. They are more accurately described as representations of content in the form of diagrams, replicas, or illustrations ...“ (Gouvea & Passmore, 2017, S. 57). Ein Gegenstand oder ein Objekt kann nur als Modell beschrieben werden, wenn es im Zusammenhang mit dem epistemologischen Zweck und der Perspektive auf Modelle als Repräsentationen ‚für etwas‘ zu sein betrachtet werde, da die Beschreibung andernfalls nicht mit der jüngsten Modellauffassung konform sei (Gouvea & Passmore, 2017; Jansen et al., 2019). Die Autorinnen kritisieren die Vernachlässigung der Perspektive auf Modelle Repräsentationen ‚für etwas‘ zu sein und eine zu starke Fokussierung auf die Perspektive Repräsentationen ‚von etwas‘ zu sein, was bereits aus den Bezeichnungen der Modelle bspw. „the model of DNA, of the solar system, of an atom, of the carbon cycle“ hervorgehe (Gouvea & Passmore, 2017, S. 57).

Durch die enge Beziehung zwischen Repräsentationen und Modellen bietet sich die Möglichkeit eine Kategorisierung anhand der Repräsentationen, die in den Modellobjekten enthaltenen sind, vorzunehmen wie sie in den Ansätzen von bspw. Gilbert (2004), Boulter und Buckley (2000) und Ainsworth und Labeke (2004) wiederzufinden sind (siehe Abschnitt 2.4).

Um der etablierten Modellbeschreibung in der Naturwissenschaftsdidaktik Rechnung zu tragen, wird eine Kategorisierung anhand der Merkmale der Repräsentation vorgenommen, die eine Ordnung entlang eines Kriteriums erlaubt und gleichzeitig keine Aussagen über die epistemologische Funktion beinhaltet (Boulter & Buckley, 2000; Gouvea & Passmore, 2017; Krüger et al., 2018).

2.2 Repräsentationen: Definition

Aus den vorangegangenen Kapiteln geht hervor, dass ein Modell sowohl eine Repräsentation von einem Referenzobjekt sowie eine Repräsentation für einen erkenntnistheoretischen Zweck ist. Erst die Erfüllung der erkenntnistheoretischen und der repräsentativen Zwecke führen zu dem Modellcharakter einer Repräsentation, andernfalls handelt es sich lediglich um eine Repräsentation ohne einen Modellcharakter. Die Modellbeschreibung steht somit im engen Zusammenhang mit Repräsentationen, die in dem folgenden Abschnitt anhand der allgemeinen Definition von Repräsentationen sowie der besonderen Berücksichtigung der Repräsentationen in den Naturwissenschaften erläutert werden.

Das Substantiv Repräsentation ist auf das Lateinische Wort ‚*repraesentatio*‘ zurückzuführen und lässt sich als ‚Darstellung‘ übersetzen während das Verb repräsentieren aus dem lateinischen Begriff ‚*repraesentare*‘ entlehnt ist und ins Deutsche als ‚vergegenwärtigen/darstellen‘ übersetzt werden kann.

Eine Repräsentation wird als Abbild oder Simulation definiert, die für eine Idee, Objekt, Phänomen oder Konzept steht (Knuuttila, 2011; Rapp & Kurby, 2008; Schnotz, 2002). Entsprechend der Definition sind Repräsentationen stellvertretende Objekte (*source*) für entsprechende Referenten (*target*) (Rapp & Kurby, 2008; Suárez, 2003). Der Begriff Repräsentation wird häufig im Zusammenhang mit den Adjektiven *extern* und *mental* (auch *intern*) verwendet, welche die Repräsentationen anhand ihrer Erscheinungsformen differenziert. Analog zu den Modellen wird von externen Repräsentationen gesprochen, wenn sie visualisiert werden und von mentalen (internalen), wenn diese gedanklich vorliegen. Der Gebrauch des Begriffes Repräsentation findet aufgrund der weitreichenden Definition Anwendung in verschiedenen Bereichen bspw. Kunst, Sprachwissenschaft und Naturwissenschaften. Eine Gleichsetzung der Definition von Repräsentationen über die Bereiche hinweg lässt die domänenspezifischen Repräsentationen und ihre erkenntnistheoretischen Funktionen und Ziele in den Naturwissenschaften außer Acht

(Rapp & Kurby, 2008). Rapp und Kurby (2008) beschreiben naturwissenschaftliche Repräsentationen als *non-natural*, die sich insbesondere dadurch auszeichnen, dass sie von Wissenschaftler*innen konstruiert werden, um die Kommunikation und den Austausch innerhalb ihrer Domäne über Wissen zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang sprechen einige Autor*innen von naturwissenschaftlichen Repräsentationen als Artefakte (Ainsworth, 1999; Knuuttila, 2011). Chemiespezifische Repräsentationen sind bspw. Trivialnamen, fachspezifische Termini, chemische Symbole sowie bildliche Darstellungen des atomaren Bereichs. Durch ihre Beziehung zu Modellen unterscheiden sich naturwissenschaftliche Repräsentationen von nicht naturwissenschaftlichen Repräsentationen insoweit, als dass sie in Beziehung zu Referenten aus der Erfahrungswelt stehen und für die Erkenntnisgewinnung über die Erfahrungswelt unverzichtbar sind (Suárez, 2003). Naturwissenschaftliche externe Repräsentationen können durch den Zusammenhang mit Modellen und der Erkenntnisgewinnung einen Modellcharakter aufweisen und als modellbasierte Repräsentationen aufgefasst werden. Darüber hinaus lässt sich insbesondere in den Naturwissenschaften ein zu repräsentierendes Zielobjekt durch mehrere Repräsentationen darstellen (siehe Abb. 4). In Bezug auf den Modellcharakter der ex-

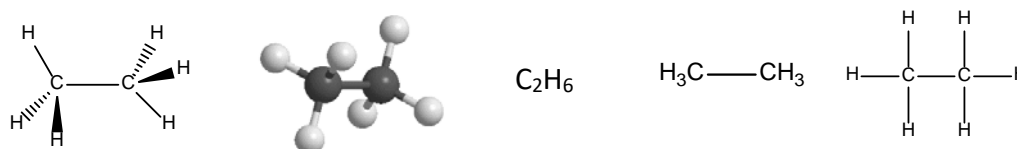


Abbildung 4. Chemiespezifische multiple externe Repräsentationen anhand des Beispiels eines Ethanmoleküls

ternen Repräsentationen kann hierbei auch der Zweck für die externen Repräsentationen verschoben sein bzw. variieren. Die verschiedenen visuellen Darstellungen für das gleiche Referenzobjekt werden auch als ‚multiple externe Repräsentationen‘ bezeichnet (Ainsworth, 1999). Im Allgemeinen beschreibt die Bezeichnung multiple externe Repräsentationen die gemeinsame Darbietung von mindestens zwei visuellen Darstellungen.

2.3 Zusammenhang zwischen Repräsentationen und Modellen

Im Besonderen lässt sich die Verwendung des Begriffes Repräsentation im Zusammenhang mit der Konzeptualisierung von Modellen wiederfinden. Der Zusammenhang zwischen Modellen und Repräsentationen spiegelt sich in Beschreibungen, wie ‚Modelle sind Repräsentationen von und für etwas‘, ‚Modelle sind Objekte, die einen Zielbereich repräsentieren‘ oder ‚mentale Modelle sind analoge Repräsentationen‘ wider (Gentner & Stevens, 1982; Giere, 2010; Gouvea & Passmore, 2017; Johnson-Laird, 1980; Mahr, 2008; Morrison & Morgan, 1999; Schwarz & Gwekwerere, 2007). Ein Modell ist somit eine Repräsentation. Nicolaou und Constantinou (2014) verdeutlichen, dass Modelle

nicht ‚einfache‘ Repräsentationen seien, sondern ausgehend von einem Modellierprozess interpretierte Repräsentationen: „Scientific models, epistemological constructs of the natural sciences, are interpretive representations, usually in symbolic form, with predictive power, which are used as tools in knowledge development or theory testing in a certain discipline“ (Nicolaou & Constantinou, 2014, S. 54).

Giere (2004) beschreibt in seinen Ausführungen zu naturwissenschaftlichen Modellen „S uses X to represent W for purposes P“, dass X Repräsentationen in Form von bspw. Reaktionsgleichungen, Graphen oder Wörter annehmen kann und erst das Subjekt in dem Modellierprozess bestimme, ob und inwieweit sie als ein Modell genutzt werden (Giere, 2004, S. 743). Gilbert (2004) führt hierzu aus, dass ein externalisiertes Modell aus mehr als nur einer externen Repräsentation bestehen kann „A further complication for science education is that any version of a model ... is placed in the public domain by use of one or more of five modes of representation“ (Gilbert, 2004, S. 118). Die Beschreibung, dass die Repräsentation nicht autonom als Abbild für einen Ausschnitt von Objekten, Prozessen oder Phänomenen fungiert, sondern das Subjekt die Repräsentation nutzt, um die repräsentative Funktion von Modellen zu erfüllen, indem es die Ähnlichkeitsbeziehungen zum Referenten konstruiert und in externen Repräsentationen projiziert, lässt sich u. a. ebenfalls in den Ansätzen von Stachowiak (1973) und Mahr (2008) wiederfinden.

Des Weiteren geht aus naturwissenschaftsdidaktischen Modellbeschreibungen hervor, dass Modelle über die repräsentationalen Funktionen mit Repräsentationen in Verbindung stehen und gleichzeitig für die Erfüllung der Funktion als erkenntnistheoretisches Werkzeug auf Repräsentationen angewiesen sind (Gouvea & Passmore, 2017; Mahr, 2004). Repräsentation werden in diesem Zusammenhang als Medium, mit dem das Modell zum Ausdruck gebracht wird und anhand dessen Denkoperationen an dem Modell vorgenommen werden, beschrieben (Boulter & Buckley, 2000; Gilbert, 2004). Diese Perspektive impliziert wie bereits aus bspw. Mahr (2008) und Gouvea und Passmore (2017) Ansätzen hervorgeht, dass ein Modell eine Repräsentation umfasse, die auch in der Funktion als Medium Wissen, Hypothesen oder Theorien, das von Mahr sogenannte Cargo, beinhaltet und transportiert. Hierdurch ist es möglich, mithilfe des Mediums der Repräsentation, das Wissen trägt und das Zielobjekt repräsentiert, Erkenntnisse über das Objekt zu erlangen, Hypothesen zu formulieren und das Modell zum Ausdruck zu bringen.

Die epistemologische Perspektive auf Modelle bedingt, dass umgekehrt nicht jede Repräsentation als ein Modell aufgefasst werden kann: „It is important to clarify that not all representations are models. Models are specialized representations that embody aspects of mechanism, causality, or function to illustrate, explain, and predict phenomena“ (Schwarz et al., 2009, S. 634). Ob eine Repräsentation als Modell beschrieben

werden kann, ist an Bedingungen und das Wechselspiel zwischen ihnen gebunden, die in der Vielzahl der Modellkonzeptualisierungen unterschiedlich fokussiert und ausgeführt werden. Die Bedingungen dafür, dass eine Repräsentation als Modell wahrgenommen wird, kann die Repräsentation isoliert betrachtet nicht erfüllen, sondern stehe primär in komplexer Abhängigkeit zu einem modellierenden Subjekt, das zielbezogen Denkoperationen an der Repräsentation vornimmt und/ oder Handlungen mit der Repräsentation zu einem Zweck ausführt, die der Repräsentation den Modellcharakter verleiht (Giere, 2004, 2010; Knuuttila, 2005; Mahr, 2008; Schwarz et al., 2009).

Insbesondere aus Mahrs (2008) Ansatz zum Modellsein geht hervor, dass externe Repräsentationen (Modellobjekt) eben dann Modelle sind, wenn alle Bedingungen des Modellseins erfüllt werden sowie von einem Subjekt die Beziehung zwischen ihnen hergestellt wird und die externe Repräsentation den Modellcharakter zugeschrieben bekommt (siehe Abschnitt 2.1.3). Die Frage, ob Repräsentationen als Modelle beschrieben werden können, wird in den unterschiedlichen Ansätzen verfolgt und hängt im Wesentlichen insbesondere von folgenden Bedingungen ab: Eine Repräsentation ist ein Modell, wenn sie...

- a) ...die repräsentationale Funktion von Modellen erfüllt,
- b) ...Transporteur von Wissen, Theorien Idee und Hypothesen ist
- c) ...und als erkenntnistheoretisches Werkzeug genutzt wird.

Davon ausgehend lassen sich Modelle von externen Repräsentationen anhand fehlender Bedingungen differenzieren. Gouvea und Passmore (2017) bspw. negieren wie bereits beschrieben die Bezeichnung Modell für externe Repräsentationen, die für keinen epistemologischen Zweck bzw. Erkenntnisgewinnung über ein Phänomen genutzt werden. Unterschiede zwischen Repräsentationen und Modellen lassen sich ebenfalls im Rahmen der Konzeptualisierungen von mentalen Modellen finden. Im *theoretical approach* Ansatz werden mentale Modelle als mentale Repräsentationen beschrieben, die jedoch zusätzlich zu den strukturellen Ähnlichkeiten mit dem repräsentierten Objekt dessen Dynamiken und Prozesse beinhalten. Sowohl im *theoretical* als auch *instructional approach* werden mentale Modelle für eine bestimmte Funktion genutzt; im *theoretical approach*, um übergeordnete Denkoperationen (Schlussfolgern) durchzuführen und im *instructional approach*, um komplexe Sachverhalte zu erschließen (siehe Abschnitt 2.1.2).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Modelle Repräsentationen ‚von‘ und ‚für‘ etwas umfassen. Die Frage unter welchen Bedingungen eine Repräsentation die Grenze zu einem Modell überschritten hat, hängt von den jeweiligen Beschreibungen des Modellbe-

griffes ab. Gemeinsamkeiten weisen die Konzeptualisierungen insoweit auf, als dass Repräsentationen als Medium aufgefasst werden, durch die ein Modell zum Ausdruck kommt.

2.4 Kategorisierung multipler externer Repräsentationen

In den vorangegangenen Abschnitten wurde die Schwierigkeit aufgezeigt, eine systematische Kategorisierung von Modellen unter Berücksichtigung der Beschreibungen des Modellbegriffs vorzunehmen. Modelle werden als Repräsentation *von* und *für etwas* beschrieben und können nur im Zusammenhang mit dem epistemologischen Zweck als Modelle bezeichnet werden. Für die Betrachtung von Modellen ohne die Situation, in der sie als Repräsentation *von* und gleichzeitig *für etwas* genutzt werden, schlagen Gouvea und Passmore (2017) vor nicht von Modellen, sondern von Repräsentationen auszugehen. Insbesondere bezüglich der theoretischen Typologisierung von Modellen sei von Repräsentationen auszugehen, da nicht immer die Informationen vorliegen, ob die Repräsentationen auch für einen epistemologischen Zweck genutzt werden und somit einen Modellcharakter aufweisen oder lediglich als Repräsentation von bereits bekannten Inhalten genutzt werden (siehe Abschnitt 2.1.4). Des Weiteren können für die Externalisierung eines Modells mehrere externe Repräsentationen genutzt werden.

In den letzten Jahrzehnten ist eine Vielzahl von Kategorisierungsansätzen für Repräsentationen in der Chemie hervorgegangen, die sich in der Disziplin etabliert haben (Boulter & Buckley, 2000; Gilbert, 2004; Johnstone, 1982; Schnotz & Bannert, 2003). Darüber hinaus lassen sich fächerübergreifende und kognitionspsychologische Ansätze erkennen, die Eingang in die Naturwissenschafts- und somit auch in die Chemiedidaktik gefunden haben und als Grundlage für zahlreiche naturwissenschaftsdidaktische Studien genutzt werden (Krey & Schwanewedel, 2018). Zunehmend werden Versuche unternommen, multiple externe Repräsentationen anhand ihres Abstraktionsgrades zu differenzieren, um u. a. ihren Einfluss in Lehr-Lern Situationen zu untersuchen. Das steigende Interesse an der Kategorisierung von Repräsentationen in konkret und abstrakt ist auf die Annahmen in Bezug auf die unterschiedlichen kognitiven Verarbeitungsprozesse sowie den Einfluss auf das Lernen mit multiplen externen Repräsentationen zurückzuführen. Über die Kategorisierungsansätze hinweg besteht die Annahme, dass im Vergleich zu den abstrakten externen Repräsentationen von den konkreten eine unterstützende Funktion beim Lernen mit externen Repräsentationen ausgehe (Fyfe, McNeil, Son & Goldstone, 2014). Bislang herrscht kein Konsens über ein einheitliches Kategorisierungssystem für multiple externe Repräsentationen in der Chemiedidaktik noch über das Kriterium des Abstraktionsgrades (Ainsworth & Labeke, 2004; Krey & Schwanewedel, 2018). Forschungsstudien basieren auf unterschiedlichen Kategorisierungsansätzen sowie Operationalisierungen des Abstraktionsgrades, sodass eine direkte Vergleichbarkeit

der Ergebnisse nicht möglich ist und eine andauernde Kontroverse über den Einfluss von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen vorliegt (Jaakkola & Veermans, 2015; Lin et al., 2016). In den folgenden Abschnitten werden Ansätze zur Kategorisierung multipler externer Repräsentationen vorgestellt, die zudem eine Operationalisierung des Abstraktionsgrades ermöglichen und implizieren.

2.4.1 Repräsentationen entlang des Chemischen Triplets nach Johnstone

Ein Ansatz zur Kategorisierung von multiplen externen Repräsentationen, der seither eine Reihe von Erweiterungen und Adaptionen erfuhr und insbesondere die Chemiedidaktik und die chemiedidaktische Forschung nachhaltig prägt, ist auf Johnstone (1982) zurückzuführen (Gilbert, Reiner & Nakhleh, 2008; Talanquer, 2011). Die Annahme, dass chemisches Wissen und Verständnis im Wesentlichen auf drei sogenannten ‚Ebenen‘ gedacht, kommuniziert, aufgebaut, gelernt und gelehrt werden, dient seither nicht nur als theoretische Rahmung für Forschungsstudien, sondern stieß auch bspw. bezüglich der Entwicklung von Lehrmaterialien, Softwares und Lehrplänen auf große Akzeptanz (Treagust & Chittleborough, 2001).

Johnstone (1982) beschreibt, dass chemisches Wissen und Phänomene auf drei Arten visualisiert und gedacht werden können; auf der makroskopischen, submikroskopischen sowie symbolischen Ebene.

Makroskopische Ebene: Die makroskopische Ebene umfasst chemische Phänomene, Stoffe, Eigenschaften und Eigenschaftsänderungen wie bspw. Farbumschläge, Temperatur etc., die durch direkte Sinneswahrnehmung erfasst und beschrieben werden können.

Submikroskopische Ebene: Das Erklären beobachteter Phänomene und ihres Verhaltens unter Berücksichtigung der Theorien und Modelle über Atome, Ionen und Moleküle wird unter der submikroskopischen Ebene zusammengefasst. Da der atomare Bereich aufgrund seiner Größe nicht direkt beobachtbar ist, besteht die Notwendigkeit externe Repräsentationen, z. B. das Orbitalmodell, Kugel-Stab-Modell, Ionengitter, zur Visualisierung heranzuziehen.

Symbolische Ebene (Repräsentationsebene): Die symbolische Ebene umfasst Symbole sowie externen Repräsentationen wie bspw. Formelschreibweisen, Reaktionsgleichungen und mathematische Formeln, die ebenfalls für das Erklären der makroskopischen Ebene über das Repräsentieren der nicht-sichtbaren submikroskopischen Ebene notwendig sind. In späteren Versionen wurde die Bezeichnung Repräsentationsebene durch symbolische Ebene substituiert (Gilbert & Treagust, 2009; Johnstone et al., 2009).

Der Zusammenhang zwischen den drei Ebenen wird über eine Triplet-Beziehung charakterisiert, innerhalb derer die Ebenen als sich ergänzend betrachtet werden und keine

Hierarchisierung/ Überlegenheit einer Ebene angenommen wird (Davidowitz & Chittleborough, 2009; Gilbert & Treagust, 2009; Johnstone, 1982; Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2003).

Wie aus den Beschreibungen der Ebenen hervorgeht, werden den Ebenen Funktionen zugeschrieben. Johnstone (1982, 1993, 2000) führt an, dass die Grenzen zwischen den Ebenen nicht immer präzise seien, was ebenfalls für ihre Funktionen gelte. Tendenziell postuliert er für die submikroskopische Ebene eine große Erklärungsmächtigkeit, für die symbolische Ebene eine repräsentative und für die makroskopische Ebene eine deskriptive Funktion (Johnstone, 1982, 1993; Mocerino, Chandrasegaran & Treagust, 2009; Treagust et al., 2003). Das chemische Dreieck erfuhr in den letzten Jahrzehnten nicht nur viele Reinterpretationen und Erweiterungen, sondern wurde zum kontroversen Diskussionsgegenstand in Bezug auf chemische Repräsentationen und ihre Kategorisierung (Erweiterungen: Taber (2013); Mahaffy (2004); Reinterpretationen: Davidowitz und Chittleborough (2009); Talanquer (2011); Kategorisierung: Wu und Puntambekar (2012); Gilbert und Treagust (2009). Gemäß der Ausführungen von Johnstone (1993) weisen die Ebenen Differenzierungsmöglichkeiten bezüglich ihrer Beziehung zur Erfahrungswelt bzw. Realität auf. Im Hinblick auf Repräsentationen sowie Johnstones Annahmen bezüglich der Ebenen und dem Verhältnis zur Realität geht eine wissenschaftstheoretische Debatte über die Realität und der Repräsentationen sowie das Verhältnis zwischen diesen hervor.

Die symbolische Ebene weist im Vergleich zu den beiden anderen Ebenen keine direkte Ähnlichkeit mit dem Phänomen aus der Erfahrungswelt auf, sondern beschreibe die von Naturwissenschaftlern konstruierten Repräsentationen (Johnstone, 1993). Des Weiteren umfasse die makroskopische Ebene zwar erfahrbare Phänomene, allerdings wird sie nach der ursprünglichen Auffassung des chemischen Dreiecks nicht als Repräsentation aufgefasst. Die Annahme, dass die makroskopische Ebene keine Form der chemischen Repräsentation sei, rief Gegenargumente und Änderungen der Terminologien hervor bspw. wurde die Repräsentationsebene in die symbolische Ebene unbenannt (Gilbert & Treagust, 2009; Talanquer, 2011). Die Auffassung der makroskopischen Ebene als Repräsentation, von der eine Erklärungsmächtigkeit ausgehe, wird von Vertreter*innen damit begründet, dass Phänomene und Theorien, z. B. Bezugsgrößen der Thermodynamik, makroskopischer Natur und Repräsentationen sind und durchaus für Erklärungen der submikroskopischen Ebene genutzt werden (Gilbert & Treagust, 2009; Taber, 2013; Talanquer, 2011). Darüber hinaus würden Abbildungen, Videos, Zeichnungen etc., die nach der Repräsentationsdefinition externe Repräsentationen sind, nach Johnstones traditionellen Ausrichtung des chemischen Dreiecks ausgeschlossen werden. Wie aus der Abbildung 5 hervorgeht, werden innerhalb der revidierten Beschreibungen des chemischen Dreiecks alle drei Ebenen als Repräsentationen charakterisiert, wobei die sym-

bolische Ebene im Vergleich zu den anderen beiden stets als von Naturwissenschaftler*innen konstruierte externe Repräsentation ohne direkte Ähnlichkeitsbeziehung zum realen Referenzobjekt verstanden wird (Davidowitz & Chittleborough, 2009; Gilbert & Treagust, 2009). Die Beziehung zwischen Symbolen und dem realen Referenzobjekt beruht vorwiegend auf Konventionen.

Johnstones Ansatz und die Annahme, dass Experten sich insoweit von Lernenden unterscheiden, als dass sie problemlos Beziehungen zwischen den drei Ebenen der Chemie herstellen können sowie eine in die anderen überführen, boten eine Grundlage für weitere chemiebezogene Forschungsstudien.

Kozma und Russell (1997) analysieren in einer Videostudie die Unterschiede zwischen

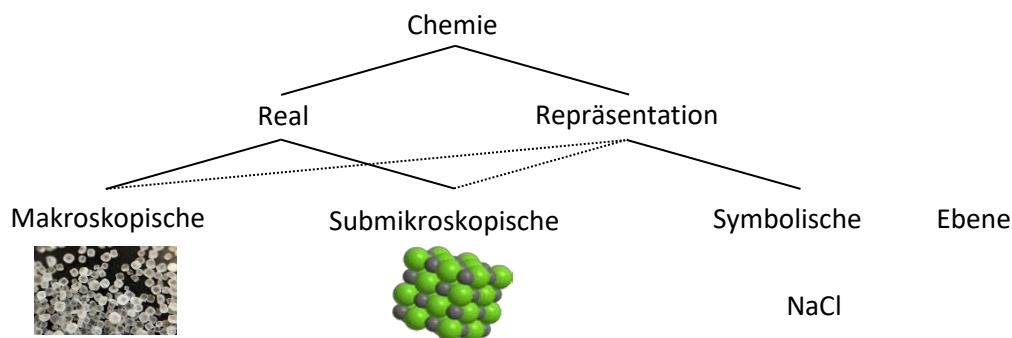


Abbildung 5. Übersicht über die Beziehung der Ebenen zu dem realen Referenzobjekt und den Repräsentationen anhand eines Beispiels (basierend auf Davidowitz & Chittleborough, 2009, S. 172)

Experten und Novizen bezüglich ihrer Fähigkeiten, eine Repräsentation in eine andere zu überführen sowie vorgelegte externe Repräsentationen zu sinnvollen Gruppen zusammenzufügen. Schüler*innen zeigen im Vergleich zu den Experten große Defizite insbesondere im Zusammenhang mit der Überführung von Animationen in symbolische Formen (Kozma & Russell, 1997). Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass Schüler*innen die Gruppierung von externen Repräsentationen zu sinnvollen Einheiten eines chemischen Themas anhand gemeinsamer Oberflächenmerkmale der externen Repräsentationen vornahmen, anstatt der ihnen zugrundeliegenden gemeinsamen Prinzipien und Inhalte (Kozma & Russell, 1997).

Weitere Forschungsstudien zeigen, dass die Ursachen von Schwierigkeiten bezüglich des Verständnisses in der Chemie hauptsächlich in der submikroskopischen (Struktur der Materie) und symbolischen Ebene sowie der Herstellung von Bezügen zwischen ihnen zu verorten sind (Ben-Zvi, Eylon & Silberstein, 1987; Berg, 2011; Bucat & Mocerino, 2009; Davidowitz & Chittleborough, 2009; Sanger, 2005; Taskin, Bernholt & Parchmann, 2015).

Berg (2011) analysiert mithilfe eines Multiple-Choice-Fragebogens das Verständnis bezüglich des Themas Zuckerlösung von Studierenden im ersten Semester ($N=145$) sowohl auf der makroskopischen als auch submikroskopischen Ebene. Aus den Ergebnissen geht

hervor, dass die Studierenden eine höhere Punktzahl in den Fragen mit dem Schwerpunkt auf der makroskopischen Ebene erzielten als auf der submikroskopischen (Berg, 2011).

In einer weiteren quantitativen Forschungsstudie werden die Fähigkeiten von Studierenden im ersten Semester des Faches Chemie ($N = 156$) im Hinblick auf die Übersetzung einer submikroskopischen Darstellung in die symbolische Form einer Reaktionsgleichung erhoben (Sanger, 2005). Insbesondere zeigen die Studierende Defizite bezüglich des Verständnisses und der Anwendung von Symbolen wie Indizes und Koeffizienten in einer Reaktionsgleichung (Sanger, 2005).

Lin et al. (2016) nutzten in einer Interventionsstudie eine Kategorisierung multipler externer Repräsentationen auf der Grundlage des chemischen Dreiecks, um diese entlang eines Kontinuums von konkret und abstrakt einzuteilen. Ziel der Forschungsstudie war es, den Einfluss von variierenden Reihenfolgen von konkreten und abstrakten multiplen externen Repräsentationen, die in Instruktionen genutzt wurden, auf die Translationsfähigkeit also das Überführen einer externen Repräsentation in eine andere, zum Thema Schmelzen zu analysieren. Die Autor*innen teilen externe Repräsentationen anhand des chemischen Dreiecks wie folgt ein: Die makroskopische Ebene wird als konkret und die submikroskopische und symbolische Ebene als abstrakt charakterisiert, wobei hier die Differenzierung vorgenommen wird, dass die symbolische Ebene am abstraktesten sei (Lin et al., 2016). Die Kategorisierung der chemischen Ebenen als konkret oder abstrakt begründen die Autor*innen mit dem Bezug der externen Repräsentationen zum Referenzobjekt. Die makroskopische Ebene sei insofern konkret, als dass sie Repräsentationen umfasse, die physikalisch oder materiell seien und sinnlich wahrgenommen werden können. Die anderen zwei Ebenen und die entsprechenden externen Repräsentationen seien abstrakt, weil die submikroskopische Ebene (atomarer Bereich) zwar existiere bzw. ein vorhandenes Referenzobjekt aus der Erfahrungswelt sei aber sich der Sinneswahrnehmung aufgrund der Größe entziehe und deshalb visualisiert werden müsse und die symbolische Ebene keinen direkten Bezüge zur Erfahrungswelt aufweisen und ihre Beziehung zum Referenzobjekt auf Konventionen beruhe (Lin et al., 2016). Die Fähigkeit der Teilnehmenden ($N = 249$) eine konkrete ER in abstrakte zu überführen und umgekehrt, wird zum Prä- und Postzeitpunkt mittels eines Paper-Pencil-Fragebogens erhoben.

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass die Instruktionen mit der variierenden Reihenfolge von konkreten und abstrakten multiplen externen Repräsentationen keinen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung der Translationsleistung nimmt (Lin et al., 2016). Analysen der Translationsleistung im Fragebogen zeigen allerdings, dass die Teilnehmenden bezüglich der abstrakt-zu-abstrakt Fragen die besten Ergebnisse erzielen, dann bei konkret-zu-abstrakt Fragen und am schlechtesten bei abstrakt-zu-konkret Fragen (Lin et al., 2016). Die Tatsache, dass die Teilnehmenden nicht die gleichen Leistungen

bezüglich der Fragen von konkret zu abstrakt und der umgekehrten Reihenfolge von abstrakt zu konkret zeigen, bezeichnen die Autor*innen als *asymmetric translation between multiple representations* (asymmetrische Translationsfähigkeit).

Die für die Autor*innen unerwarteten Ergebnisse, dass die Instruktionen als auch Fragen beginnend mit konkreten externen Repräsentationen keinen signifikanten Einfluss bzw. höhere Ergebnisse zeigen und die asymmetrische Translationsfähigkeit führen zu der Annahme, dass die Einteilung des chemischen Dreiecks entlang eines Abstraktionsgrades zu überdenken sei: „In addition, the MRs [multiple representations] in the chemistry triplet may be less like a continuum of concrete to abstract examples of a given concept and more like three very different aspects of the concept“ (Lin et al., 2016, S. 657). Die Einteilung der Repräsentationen anhand des chemischen Dreiecks wird von weiteren Autor*innen mit Bedenken betrachtet, da sich das Differenzierungskriterium nicht auf Charakteristika der externen Repräsentationen selbst beziehe, sondern die Zugehörigkeit des Dargestellten zu einer bestimmten Facette von chemischem Wissen beschreibe (Taber, 2013; Talanquer, 2011).

2.4.2 Modi externer Repräsentationen

Sowohl Gilbert (2004) als auch Boulter und Buckley (2000) schlagen eine Kategorisierung multipler externer Repräsentationen anhand von fünf Modi vor (siehe Tabelle 1). Wu und Puntambekar (2012) schlagen vier Modi zur Differenzierung externer Repräsentation vor, die ebenfalls viele Gemeinsamkeiten mit den zwei angeführten Kategorisierungsansätzen zeigen und sich größtenteils bezüglich den Kategorienamen unterscheiden. Der Modus einer externen Repräsentation wird als Medium beschrieben, mit dem ein Modell durch eine externe Repräsentation externalisiert wird (Boulter & Buckley, 2000; Gilbert, 2004; Wu & Puntambekar, 2012).

Tabelle 1. Übersicht der Modi externer Repräsentationen nach Boulter & Buckley (2000), Gilbert (2004), Wu & Puntambekar (2012)

Buckley & Boulter	Gilbert	Wu & Puntambekar
Modes of representation		
Konkrete	Konkrete	Aktional-operationale
Gestische	Gestische	
Verbale	Verbale	Verbale-textlich
Visuelle	Visuelle	Visuelle-graphische
Mathematische	Symbolische	Symbolische-mathematische

Materielle dreidimensionale externe Repräsentationen werden von Boulter und Buckley (2000) sowie Gilbert (2004) zu der Kategorie der **konkreten** externen Repräsentationen zusammengefasst. Hiernach wäre ein gegenständliches Stäbchenmodell bzw. Gittermodell den konkreten externen Repräsentationen zuzuordnen.

Darstellungen, die mithilfe des menschlichen Körpers oder einzelnen Körperteile erfolgen, werden zur Kategorie der **gestischen** externen Repräsentationen zugeordnet bspw. Darstellung der Brownschen Molekularbewegung durch die Bewegungen von Schüler*innen im Raum.

Innerhalb des Kategorisierungsansatzes nach Wu und Puntambekar (2012) werden externe Repräsentationen, die gegenständlich sind und an denen Handlungen ausgeführt werden können sowie externe Repräsentationen in Form von Gesten in einer Kategorie (**aktional-operational**) zusammengefasst.

Externe Repräsentationen, die auf sprachliche Zeichensysteme beruhen, die gehört oder gelesen werden können z. B. Beschreibungen, Erklärungen, Analogien und Metaphern werden als externe Repräsentationen basierend auf einem **verbalen** Modus beschrieben.

Die Kategorie **visuelle** externe Repräsentation umfasst alle visuell wahrnehmbaren Repräsentationen, die nicht auf ein schriftsprachliches Zeichensystem basieren z. B. Diagramme, Zeichnungen und Animationen. Nach Gilbert (2004) entsprechen zweidimensionale Darstellungen von Atomen ebenfalls zu den visuellen externen Repräsentationen.

Neben diesen vier Modi schlagen die Autor*innen einen fünften Modus vor, der sich zwischen den Ansätzen unterscheidet. Boulter und Buckley (2000) führen als fünfte Kategorie die **mathematischen** externen Repräsentationen an, die Mathematisierungen wie z. B. mathematische Formeln und Reaktionsgleichungen umfassen. Dahingehend bezeichnet Gilbert (2004) die fünfte Kategorie als **symbolische** externe Repräsentationen, die neben Mathematisierungen zusätzlich bspw. chemische Elementsymbole enthält. In dem Ansatz von Wu und Puntambekar (2012) finden sowohl die mathematischen als auch die symbolischen externen Repräsentationen in der Kategorie der **symbolisch-mathematischen** externe Repräsentationen Berücksichtigung.

Entsprechend der Autor*innen erfordern viele externe Repräsentationen, derer Merkmale von mindestens zwei Modi immanent sind, eine Beschreibung durch mehrere Kategorien, weshalb sie ausgehend von den fünf Grundkategorien Mischkategorien mit dem Präfix –mixed (verbal, konkret etc. mixed) hinzufügen (Boulter & Buckley, 2000; Gilbert, 2004). Im Gegensatz zu den konkreten externen Repräsentationen geht aus dem Kategorisierungsansatz keine explizite Beschreibung von und Annahmen über abstrakte externe Repräsentation hervor. Wenngleich die zwei Ansätze eine erste Differenzierung und Kategorisierung von multiplen externen Repräsentationen anhand der fünf Modi ermöglichen, ist die Nutzung für eine systematische Gegenüberstellung multipler externer Repräsentation durch bspw. fehlende divergente Kategorien nur eingeschränkt möglich. Des Weiteren lassen sich im Rahmen des Kategorisierungsansatzes anhand der fünf Modi keine Rückschlüsse auf die kognitiven Verarbeitungsprozesse noch den Modellcharakter der externen Repräsentationen ziehen. Der Ansatz zeigt seine Stärken in der Beschreibung von reinen Repräsentationen ohne die Berücksichtigung des potentiellen Modellcharakters.

Ainsworth und Labeke (2004) schlagen eine Kategorisierung anhand von fünf Eigenschaften von externen Repräsentationen vor, die zum einen eine Kategorisierung und zum anderen eine systematische Differenzierung anhand der Ausprägungen der Eigenschaft ermöglichen. Die Differenzierung von multiplen externen Repräsentationen wird insbesondere für die Entwicklung von Instruktionsmaterial notwendig oder wenn mindestens zwei externe Repräsentationen bzw. Kategorien in Bezug auf ihre Funktionen und den Lerneffekt gegenübergestellt oder verglichen werden. Folgende fünf Eigenschaften liegen dem Kategorisierungsansatz zugrunde (Ainsworth & Labeke, 2004, S. 244) :

- Modalität (textlich oder graphisch)
- Abstraktion (ikonisch oder symbolisch)
- Wahrnehmungskanal (auditiv oder visuell)
- Dimension (z. B. 2D oder 3D)
- Dynamik (statisch oder dynamisch)

Die Eigenschaft der Abstraktion und die damit einhergehende Differenzierung in ikonische und symbolische externe Repräsentationen können mithilfe des Ansatzes nach Schnotz (2002) präziser beschrieben werden. Im Rahmen des Ansatzes betrachtet der Autor aus lehr-lernpsychologischer Perspektive die konkreten und abstrakten externen Repräsentationen in Verbindung mit Annahmen über die unterschiedlichen kognitiven Verarbeitungsprozesse sowie die Konstruktion von mentalen Modellen.

In den folgenden Abschnitten wird zunächst ein Überblick über die Funktionen von multiplen externen Repräsentationen in Lernprozessen nach Ainsworth (2006) gegeben. Im Anschluss erfolgt die Beschreibung des Kategorisierungsansatzes nach Schnotz (2002).

2.4.3 DeFT: Allgemeine Funktionen von multiplen externen Repräsentationen

Ainsworth (2006, 2008a) beschreibt aus lehr-lerntheoretischer Perspektive eine Taxonomie zur Beschreibung der Funktionen und Effektivität von multiplen externen Repräsentationen, die sie bei der Wissensaneignung von komplexen Lerninhalten erfüllen können. Die DeFT Taxonomie (*Design, Functions, Tasks*) ist nicht ausschließlich auf die Kombination von Text und Bild als multiple externe Repräsentationen beschränkt, sondern kann als umfangreicher Ansatz beim Lernen mit der Kombination von mindestens zwei externen Repräsentationen in Lern- und Instruktionsmaterialien Anwendung finden. Ainsworth (2006, 2008a) postuliert, dass die Effektivität von unterschiedlichen Kombinationen von multiplen externen Repräsentationen in Abhängigkeit zum vermittelnden Inhalt variere und unterschiedliche Funktionen im Lernprozess einnehme. Eine grundlegende Voraussetzung für den Beitrag von multiplen externen Repräsentationen im Lernprozess sei ihre Verwendung im instruktionalen Sinne. Demnach weisen multiple externe Repräsentationen einen instruktionalen Charakter auf, wenn sie einen Bezug zu den Lerninhalten aufweisen und nicht als vom Lerninhalt isolierte Visualisierung genutzt werden, um die Lernenden durch abwechslungsreiche Visualisierungen im Lernmaterial zu motivieren (Ainsworth, 2008a).

Entsprechend der Taxonomie lassen sich drei übergeordnete Funktionen von multiplen externen Repräsentationen erkennen, die wiederum eine Differenzierung in weitere Teilfunktion bedingen (Ainsworth, 2006, 2008a). Abbildung 6 illustriert die übergeordneten Funktionen sowie die differenzierten Teilfunktionen, über die nachfolgend ein Überblick gegeben wird.

Eine Hauptfunktion von multiplen externen Repräsentationen sei die ergänzende bzw. komplementäre Funktion. Die Unterstützung des Lernprozesses könne durch multiple externe Repräsentationen gegeben sein, wenn ihnen unterschiedliche Aspekte des gleichen Inhaltsbereichs inhärent seien oder mindestens zwei externe Repräsentationen

den gleichen Inhalt unterschiedlich darstellen. Sie weisen gegenüber einer externen Repräsentation insoweit einen Vorteil auf, als dass die komplexen Inhalte auf mehrere Repräsentationen aufgeteilt sind und eine Fokussierung ermöglichen. Die Darstellung der Inhalte in nur einer einzigen Repräsentation führe demnach zu einer Überlagerung von Informationen (Ainsworth, 2006, 2008a). Darüber hinaus regen multiple externe Repräsentationen unterschiedliche Verarbeitungsprozesse an. Diese Funktion sei dadurch erfüllt, dass Lernende aus einer Auswahl an gebotenen externen Repräsentationen zum gleichen Inhalt, entsprechend ihrer Fähigkeiten und Bedürfnissen eine externe Repräsentation für ihren Lernprozess auswählen können. Zudem trage der Einsatz von multiplen externen Repräsentationen dazu bei, Lernende zu ermutigen mehr als nur eine Strategie beim Lösen von Problemen anzuwenden (Ainsworth, 2008a).

Als zweite übergeordnete Funktion führt die Autorin die Einschränkung der Interpretationsfreiheit an, die durch die wechselseitige Beziehung und das Aufeinanderbeziehen der dargestellten Inhalte den Lernprozess unterstütze (Ainsworth, 2006, 2008a). Die In-

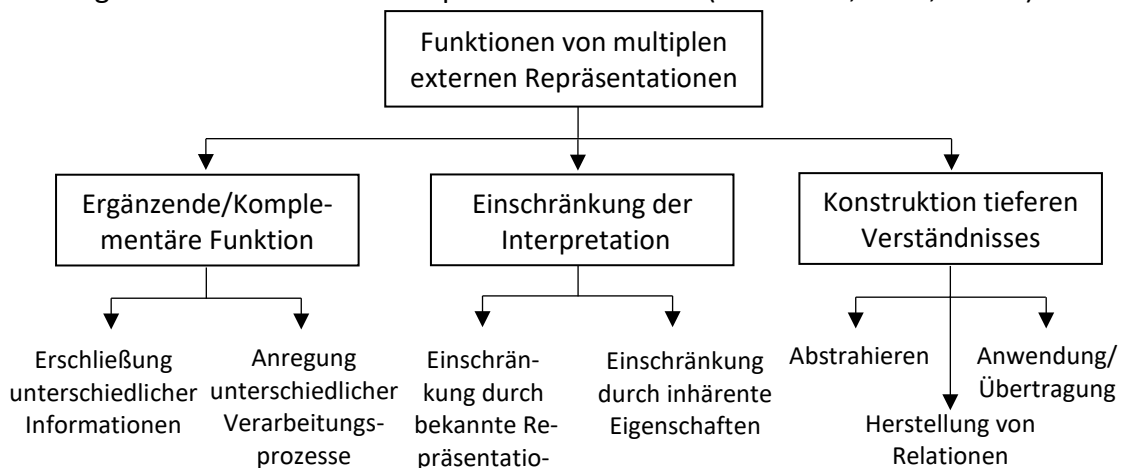


Abbildung 6. Funktionen multipler externer Repräsentationen im Lernprozess nach der DeFT Taxonomie (adaptiert nach Ainsworth, 2008, S. 196)

terpretationsfreiheit einer unbekannten externen Repräsentation könne durch das Verständnis für eine bekannte Repräsentation zum gleichen Inhalt eingeschränkt werden und so den Lernprozess positiv beeinflussen. Zudem besteht die Möglichkeit der gegenseitigen Interpretationseinschränkung von multiplen externen Repräsentationen durch inhärente Eigenschaften. Ainsworth (2008a) führt in Anlehnung an Schnotz (2002) an, dass eine ikonische externe Repräsentation die Ambiguität einer symbolischen externen Repräsentation aufheben kann, da sie einige Informationen wie bspw. räumliche Strukturen darstellt, die keinen Interpretationsfreiraum zulassen. So könnte die Summenformel für Glucose ($C_6H_{12}O_6$) sowohl als D-/ als auch dem Enantiomer L-Glucose interpretiert werden. Mithilfe einer simultan gebotenen ikonischen Darstellung bspw. der Fischer-Projektion würden die aus der Summenformel hervorgehende Ambiguität und Interpretationsfreiheit eingeschränkt werden, sodass zweifelsfrei bestimmt werden kann, ob es sich um die D-/ oder L-Glucose handele.

Multiple externe Repräsentationen sind nicht zuletzt aufgrund ihrer unterstützenden Funktion bezüglich der Konstruktion von tieferem Verständnis für Inhalte unerlässlich. Grundlegend für das Nutzen der Funktion von multiplen externen Repräsentationen sei nach der Autorin, dass die Lernenden diese Darstellungen miteinander in Beziehung setzen, um gemeinsame Inhalte einer Domäne und Eigenschaften der einzelnen Darstellungen zu erkennen und zu differenzieren (Ainsworth, 2006, 2008a). Im Rahmen der Annahmen über den Aufbau von tieferem Verständnis anhand von multiplen externen Repräsentationen werden drei Prozesse angeführt:

- I. Abstrahieren: Multiple externe Repräsentationen regen das Abstrahieren von Wissen an. Abstrahieren wird hier als Prozess verstanden, in dem die Lernenden ausgehend von multiplen externen Repräsentationen ein mentales Modell bilden, das die Organisation und Manipulation von Wissen ermögliche und so zum tieferen Verständnis führe. Insbesondere Lernsituationen, die das Modellieren instruieren, regen das Abstrahieren an „...*abstraction might be supported by providing multiple situations to model*“ (Ainsworth, 2008a, S. 199). Multiple externe Repräsentationen werden an dieser Stelle über ihre Beziehung zu Modellen und dem Modellieren in Verbindung mit dem Aufbau von Verständnis für komplexe Inhalte gebracht.
- II. Herstellung von Relationen: Die Konstruktion von tieferem Verständnis kann durch das Herstellen von Relationen zwischen multiplen externen Repräsentationen begünstigt werden. Dies setzt voraus, dass Lernenden Wissen über die Gemeinsamkeiten und die verbindenden Elemente zwischen ihnen verfügen z. B. über die Relationen zwischen einer Funktion und dem entsprechenden Graphen.
- III. Anwendung und Übertragung: Der Prozess der Übertragung basiert auf der Herstellung von Relationen und beschreibt das Übertragen bzw. Anwenden von Gemeinsamkeiten zwischen multiplen externen Repräsentationen aufeinander sowie auf neue Lernsituationen.

Ainsworth (2008a) führt an, dass es nur bedingt möglich sei, präzise Grenzen zwischen den Funktionen zu ziehen, da sie eng miteinander in Verbindung stehen und Einfluss aufeinander nehmen. So setze die Mehrzahl der Funktionen voraus, dass die Lernenden relevante Informationen in den externen Repräsentationen identifizieren können. Des Weiteren betont die Autorin, dass die Funktionen, die multiple externe Repräsentationen erfüllen, nicht in absoluter Abhängigkeit zu den Absichten der konstruierenden Person von Lernumgebungen und der Instruktionen stehen, sondern von den Lernvoraussetzungen der Lernenden abhängen (Ainsworth, 2008a). Das erfolgreiche Lernen mit multiplen externen Repräsentationen setze Fähigkeiten auf Seiten der Lernenden voraus, die als Repräsentationskompetenz bezeichnet werden (siehe Abschnitt 3.5).

2.4.4 Konkrete und abstrakte Repräsentationen

In dem theoretischen Ansatz zum Text-Bildverstehen nähert sich Schnotz (2002) aus einer kognitionspsychologischen Perspektive der Kategorisierung multipler externer Repräsentationen, die ebenfalls auf große Resonanz in der Naturwissenschaftsdidaktik stößt (Dickmann, Opfermann, Dammann, Lang & Rumann, 2019; Nitz, Nerdel & Prechtel, 2012; Scheid, Müller, Hettmannsperger & Kuhn, 2017) .

Schnotz (2002) differenziert multiple externe Repräsentationen anhand der Kategorien der depiktiven (bildlichen) und deskriptiven (textlichen) Repräsentationen, die sich bezüglich der immanenten Zeichensysteme sowie der Ähnlichkeit zum Referenzobjekt unterscheiden.

Nach dem Kategorisierungsansatz enthalten depiktive Repräsentationen ikonische Zeichen, deren Beziehung zu dem Bezeichneten auf strukturellen Ähnlichkeiten beruht. Den depiktiven Repräsentationen werden z. B. bildliche Darstellungen, Fotos, Skizzen aber auch Balkendiagramme und Funktionsgraphen zugeordnet, die durch strukturelle und formale Gemeinsamkeiten mit dem Referenzobjekt assoziiert sind. Die gemeinsamen Strukturmerkmale zwischen depiktiven Repräsentationen und Referenzobjekt können durch zwei unterschiedliche Formen der Ikonizität zum Ausdruck gebracht werden. Stellen räumliche Merkmale der Repräsentation die räumlichen Merkmale des Referenzobjektes dar, so wird von einer konkreteren Form der Ikonizität bzw. physikalischer Ähnlichkeit gesprochen wie es bspw. der Fall bei bildlichen Darstellungen, Fotos und Skizzen zutrefte (Schnotz, 2001). Eine abstraktere Form der Bildhaftigkeit bzw. Ikonizität

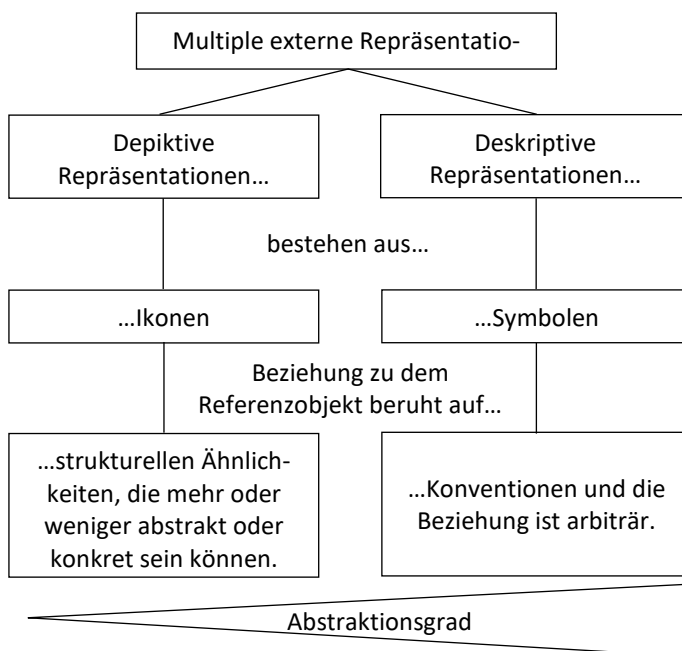


Abbildung 7. Zusammenfassende Übersicht über depiktive und deskriptive Repräsentationen nach Schnotz (2002)

liegt den Balkendiagrammen und Funktionsgraphen zugrunde, da sie „...mit dem dargestellten Sachverhalt durch gemeinsame Strukturmerkmale – also durch eine Analogierelation – verknüpft“ sind und das Referenzobjekt aufgrund dieser strukturellen Gemeinsamkeiten repräsentieren (Schnotz, 2001, S. 296). Insbesondere bildhafte Visualisierungen des Atoms z. B. das Kalottenmodell, Stäbchenmodell aber auch Skizzen z. B. von Versuchsaufbauten sind den depiktiven Repräsentationen zuzuordnen, die physikali-

sche Ähnlichkeiten mit dem Referenzobjekt bzw. konkrete Formen der Ikonizität aufweisen.

Deskriptive Repräsentationen bestehen demgegenüber aus symbolischen Zeichensystemen, die durch eine arbiträre Beziehung und Konventionen mit dem Referenzobjekt in Verbindung stehen (Schnotz, 2002). Deskriptive Repräsentationen umfassen neben sprachlich-symbolischen (gesprochen und geschrieben) auch mathematisch-symbolische Zeichen. Wortgleichungen und Elementsymbole sind nach dieser Kategorisierung den sprachlich-symbolischen und somit den abstrakten Repräsentationen zuzuordnen, die keine gemeinsamen Strukturmerkmale mit dem Referenzobjekt aufweisen. In den Ausführungen zu unterschiedlichen Visualisierungsformen des atomaren Bereiches beschreibt Gilbert (2008) symbolische externe Repräsentationen ebenfalls als abstrakt während dreidimensionale Visualisierungen wie das Kalottenmodell aufgrund der vielen Gemeinsamkeiten mit dem Referenzobjekt als konkreter bezeichnet werden: „1D representation is inherently an abstraction and consists of symbols. Some commonly encountered examples in science education are chemical symbols, chemical equations, and mathematical equations“ (Gilbert, 2008, S. 7). Entsprechend der Annahmen des Autors lässt sich folgern, dass der Abstraktionsgrad von den depiktiven Repräsentationen bis hin zu den deskriptiven Repräsentationen zunimmt, da die Ähnlichkeit zum Referenzobjekt sinke (Schnotz, 2002; Schnotz & Bannert, 2003).

Des Weiteren postuliert der Autor für die deskriptiven externen Repräsentationen eine höhere Ausdrucksmächtigkeit als für die depiktiven (Schnotz, 2001). Die Formulierung von bspw. Negationen oder allgemeinen Disjunktionen und Gesetzmäßigkeiten bereite mithilfe von deskriptiven externen Repräsentationen geringere Schwierigkeiten als mit den depiktiven (Schnotz, 2001; Schnotz & Bannert, 2003). Dahingegen konkretisieren depiktive externe Repräsentationen das Referenzobjekt und beinhalten die Gesamtheit einer spezifischen Informationsklasse bspw. geometrische Eigenschaften eines Trapezes. Mithilfe einer Deskription sei es nur möglich, einige Eigenschaften einer Figur wiederzugeben oder auf die Form eines Objekts einzugehen. Aufgrund dessen seien Depiktionen für die Darstellung von Inferenzen besser geeignet, da die Informationen aus ihnen direkt abgelesen werden können (Schnotz, 2001, 2002; Schnotz & Bannert, 2003). In diesem Zusammenhang verdeutlicht der Autor die höhere Repräsentationsfunktion und Informationsdichte von depiktiven externen Repräsentationen trotz dem Fehlen bestimmter Ausschnitte. „Bei einer Deskription hingegen ist es möglich, dass durch Beseitigung bestimmter Teile die Repräsentationsfunktion völlig aufgehoben wird“ (Schnotz, 2001, S. 299).

Darüber hinaus lassen sich depiktive und deskriptive externe Repräsentationen anhand der unterschiedlichen kognitiven Verarbeitungsprozesse von Informationen differenzieren. Ausgehend von den Annahmen der dualen Kodierung nach Clark und Paivio (1991)

und dem multimedialen Lernen nach R. E. Mayer (1997) postuliert Schnotz (2002) unterschiedliche Verarbeitungsprozesse der in depiktiven und deskriptiven externen Repräsentationen enthaltenen Informationen. Nach der Theorie erfolgen die sensorische Aufnahme sowie die mentale Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis mithilfe zweier unterschiedlicher Kanäle bzw. Repräsentationszweige. Beim Verarbeitungsprozess von depiktiven bzw. ikonischen externen Repräsentationen entsteht nach der Erfassung der ikonischen Merkmale eine mentale bildliche Repräsentation. Die Interpretation der ikonischen externen Repräsentationen sowie die Verarbeitung der Zusammenhänge der ausgewählten Merkmale (semantische Selektion) führen nach der Theorie zu der Konstruktion eines mentalen Modells (siehe Abb. 8). Deskriptive bzw. symbolische externe Repräsentationen werden mithilfe des deskriptiven (rechten) Repräsentationszweigs verarbeitet.

Der Autor nimmt an, dass die symbolischen externen Repräsentationen syntaktisch verarbeitet und anschließend über eine semantische Verarbeitung in eine propositionale Repräsentation überführt werden. Nach dem integrierten Modell des Text-Bildverstehens stehen die propositionalen Repräsentationen und mentalen Modelle durch eine fortlaufende Interaktion über die Prozesse der Modellkonstruktion und Inspektion in Beziehung und können durch diese ineinander überführt werden. Schnotz (2001; Schnotz & Bannert, 2003) postuliert, dass die differierenden Verarbeitungsprozesse von den depiktiven und deskriptiven externen Repräsentationen unterschiedliche Auswirkungen auf die kognitive Denkökonomie bezüglich der Modellkonstruktion nehmen. Die Autor*innen nehmen an, dass der kognitive Aufwand für die Modellkonstruktion ausgehend von einer symbolischen externen Repräsentation höher sei als bei ikonischen, da die Modellkonstruktion bei der Verarbeitung symbolischer externer Repräsentationen über die Bildung einer symbolischen propositionalen Repräsentationen zu einer analogen Form führe (Schnotz, 2001, 2002; Schnotz & Bannert, 2003). Dieser Verarbeitungsprozess werde zudem dadurch unterstützt, dass depiktive externe Repräsentationen ein direktes Ablesen relevanter Informationen ermöglichen. Im Gegensatz dazu fordere die Verarbeitung depiktiver externer Repräsentationen lediglich die Überführung einer analogen Form in eine weitere analoge Form der Repräsentation, was eine Entlastung des Arbeitsgedächtnisses begünstige. Des Weiteren nimmt der Autor an, dass die deskriptiven Repräsentationen im Vergleich zu depiktiven Repräsentationen einen Gegenstand nicht so detailliert beschreiben, dass nur eine Art von Vorstellung möglich sei. Ein mentales Modell, das ausgehend von ausschließlich symbolischen Repräsentationen konstruiert werde, führe zu einer Verzerrung der Vorstellungen über das Referenzobjekt. Schnotz (2002) führt an, dass das Hinzufügen von ikonischen externen Repräsentationen zu Texten insbesondere von Lernenden mit geringeren Lernvoraussetzungen als Unterstützung für die mentale Modellkonstruktion wahrgenommen werden, während es für Lernende mit hohen Lernvoraussetzungen keine benötigte Hilfe darbreite.

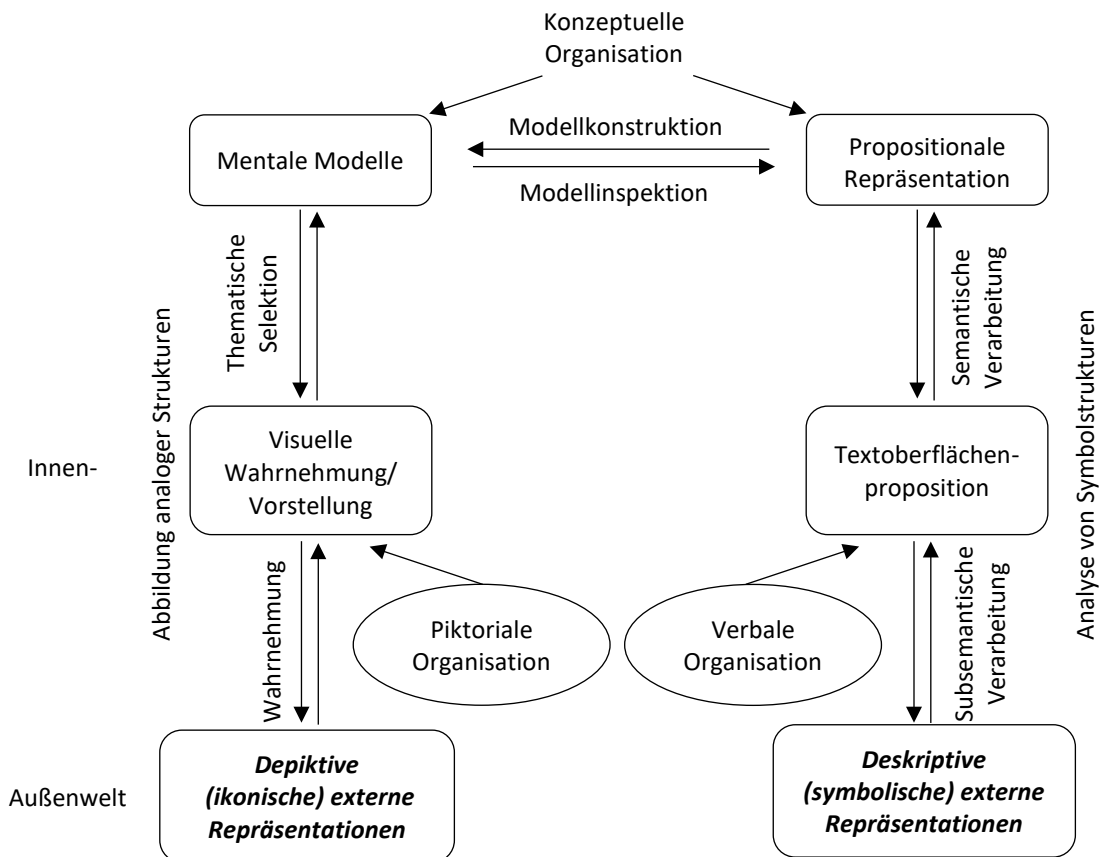


Abbildung 8. Schematische Darstellung der kognitiven Verarbeitung von depiktiven und deskriptiven externen Repräsentationen (adaptiert nach Schnotz, 2001, S. 306)

Schnotz und Bannert (2003) untersuchen in einer experimentellen Studie im 3x2 Design den Einfluss von Lernumgebungen mit Informationstexten in Kombination mit variierenden ikonischen externen Repräsentationen auf die Lernleistung und Konstruktion eines mentalen Modells zu dem Thema Zeitunterschiede auf der Erde. Im Rahmen der Studie werden die Teilnehmenden ($N = 60$) auf drei Interventionsgruppen verteilt, die in digitalen Lernumgebungen mit unterschiedlichen externen Repräsentationen (nur Text, Text mit einem Teppichbild und Text mit einem Kreisdiagramm) arbeiten. Hierbei stellen die ikonischen externen Repräsentationen für jeweils eines der zwei Unterthemen (Umkreis und Zeitdifferenz) das passende Visualisierungsformat dar: Kreisdiagramm für das Thema Umkreisungen und Teppichbilder für das Thema Zeitdifferenzen. Neben dem Einfluss der drei Lernumgebungen in Bezug auf die Lernleistung wird die Abrufhäufigkeit der unterschiedlichen Informationsdarbietungen analysiert, um Rückschlüsse auf die Intensität der kognitiven Verarbeitung zu schließen. Ein gegenüberstellender Vergleich von der Abrufhäufigkeit der unterschiedlichen Versuchsbedingungen zeigt, dass die Kombination eines Textes mit Teppichbildern signifikant weniger abgerufen wurde als die Informationsdarbietung durch Text in Kombination mit Kreisdiagrammen und marginal signifikant weniger als Text ohne Bilder (Schnotz & Bannert, 2003). Die Autor*in-

nen interpretieren anhand der Abrufhäufigkeiten, dass einfache Bilder wie das Teppichbild zu oberflächlichen Verarbeitungsprozesse verleiten, während anspruchsvolle ikonische Repräsentationen (Kreisdiagramm) intensiver verarbeitet werden.

Weitere Ergebnisse zeigen, dass die zwei Gruppen, die zusätzlich zu dem Text eine ikonische externe Repräsentation erhielten, in dem der Repräsentation entsprechenden Unterthema signifikant höhere Lernleistung erbringen als die jeweils andere Gruppe, was zur Annahme seitens der Autor*innen führt, dass ikonische externe Repräsentationen eine vom Inhalt abhängige spezifische Unterstützung für die Modellierung eines mentalen Modells biete (Schnotz & Bannert, 2003).

3 Repräsentationen beim Modellieren

3.1 Repräsentationen im Modellierprozess

Modellieren wird in den Naturwissenschaften als dynamischer und diskontinuierlicher Prozess verstanden, bei dem ein Subjekt Modelle nutzt, konstruiert und ändert, um im Wesentlichen naturwissenschaftliche Erkenntnisse zu erwerben (Justi & Gilbert, 2002). Einige Autor*innen beschreiben Modellieren allgemein als einen zyklischen Prozess, bei dem das Subjekt Verbindungen zwischen dem Modell und dem Referenzobjekt aus der Erfahrungswelt herstellt (Davidowitz & Chittleborough, 2009; Duit, Roth, Komorek & Wilbert, 2001). Justi und Gilbert (2002) verdeutlichen, dass der Modellierprozess immer dann erfolge, wenn eine Funktion von Modellen in Anspruch genommen werde mitunter das Aufstellen von Hypothesen, Interpretieren von Experimenten oder der Bereitstellung naturwissenschaftlicher Erklärungen. In der Literatur lassen sich diverse Ansätze für die Beschreibung des Modellierprozesses finden. Krüger et al. (2018) führen die Diversität der Beschreibungen von dem Modellierprozess wie folgt zusammen:

Grundsätzlich entzieht sich der Ablauf einer Modellierung einer strengen prozeduralen Beschreibung und Festlegung bestimmter Regeln, weil das Modellieren eher einer Kunst mit kreativen Elementen gleicht. So bestimmen nicht nur Theorie oder Daten die Modellierung, sondern wie beim hypothetisch-deduktiven Vorgehen in der Erkenntnisgewinnung hängt die Modellierung auch von der Intuition und Erfahrung des Modellierers ab. (Krüger et al., 2018, S. 144)

Im Folgenden werden exemplarisch zwei Ansätze zu dem Modellierprozess fokussiert, die eine explizite Nennung von externen Repräsentationen innerhalb des Modellierungsvorganges vornehmen.

Justi und Gilbert (2002) beschreiben in dem Modellierungsschema *a model of modeling framework* den Modellierprozess als zyklischen Vorgang (siehe Abb. 9). Die Autor*innen postulieren, dass jeder Modellierprozess von einem Phänomen ausgehe und einem spezifischen Zweck (das Phänomen beschreiben oder erklären, Hypothesen bezüglich des Verhaltens aufstellen etc.) unterliege. Ausgehend von der ersten Begegnung mit dem Phänomen, in der Regel die Beobachtung, werde ein mentales Modell initiiert. Dabei kann ein bereits existierendes mentales Modell aktiviert und modifiziert werden oder ein mentales Modell *de novo* konstruiert werden. Die Bildung eines mentalen Modells werde zum einen von dem Vorwissen des Subjekts und zum anderen von dem zu modellierenden Phänomen geprägt. Die Konstruktion des mentalen Modells werde bereits in der Phase der Beobachtung beeinflusst und sei subjektiv. Steinbuch (1977) beschreibt, dass die Selektion der für den Modellierprozess als relevant erachteten Informationen durch ein sogenanntes ‚Wahrnehmungssieb‘ erfolge, dass von Vorerfahrungen und dem Vorwissen des Subjekts beeinflusst werde. Mit Rückbezug auf den structure – mapping Ansatz nach Gentner und Gentner (1983) (siehe Abschnitt 2.1.2) beschreiben die Autor*innen, dass das Subjekt Analogien zwischen dem zu modellierenden Phänomen und dem mentalen Modell herstelle und hierbei eine Auswahl relevanter Merkmale des zu

modellierenden Phänomens trifft, die auf das mentale Modell transferiert werden (Justi & Gilbert, 2002). Das konstruierte mentale Modell werde in der darauffolgenden Phase mit geeigneten externen Repräsentationen externalisiert.

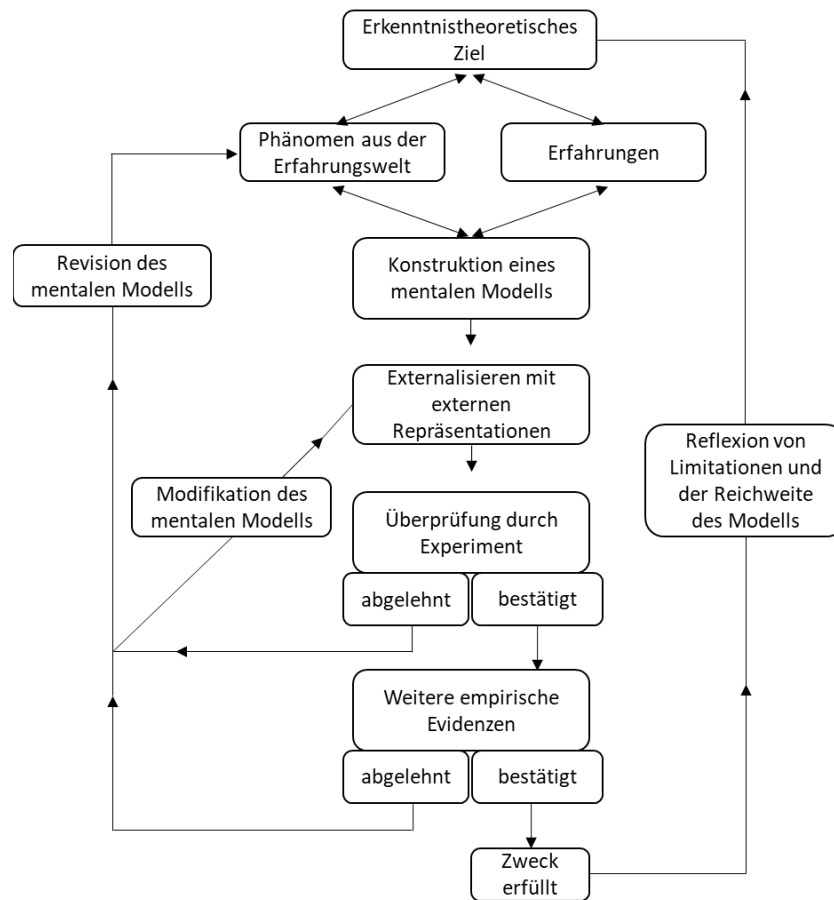


Abbildung 9. A model of modelling framework (adaptiert nach Justi & Gilbert, 2002a, S. 371)

Mithilfe von Gedankenoperationen und Experimenten werde das Modell auf Konsistenz hin überprüft und gegebenenfalls in einem iterativen Prozess Modifikationen unterzogen. Sei eine Passung zwischen dem Modell und dem Zweck festzustellen, erfolge eine Reflexion über die Reichweite und die Grenzen des Modells.

Krell, Walzer, Hergert und Krüger (2019) erweitern das Modellierungsschema für die Biologiedidaktik mit Rückbezug auf die aktuelle Modellbeschreibung sowie die Annahmen über das Modellverständnis (siehe Abschnitt 2.2). Der Modellierungsansatz weist große Übereinstimmungen mit den grundlegenden Elementen aus dem Modellierprozess nach Justi und Gilbert (2002) auf. Die Autor*innen differenzieren in ihrem Ansatz zwischen den Dimensionen Erfahrungs- und Modellwelt und stellen diese in den Zusammenhang mit der Handlungs- und Anwendungsperspektive nach Mahr (2004, 2008) (siehe Abb. 10). Der Modellierprozess beginne mit der Wahrnehmung eines Phänomens aus der Erfahrungswelt durch das Subjekt, das anschließend in die Modellwelt überführt werde. Basierend auf dem Vorwissen und Analogien (gemäß des *instructional approach*) werde ein Modell konstruiert und anschließend mit externen Repräsentationen visualisiert. Das Modell stehe dabei in kontinuierlicher Wechselwirkung mit dem Phänomen, indem

das Subjekt die Passung zwischen Repräsentationen und dem Phänomen überprüfe. Bis zu diesem Prozess sei das Modell eine Repräsentation ‚von‘ dem Phänomen aus der Erfahrungswelt und in einer Anwendungsperspektive eingebettet (Krell et al., 2019).

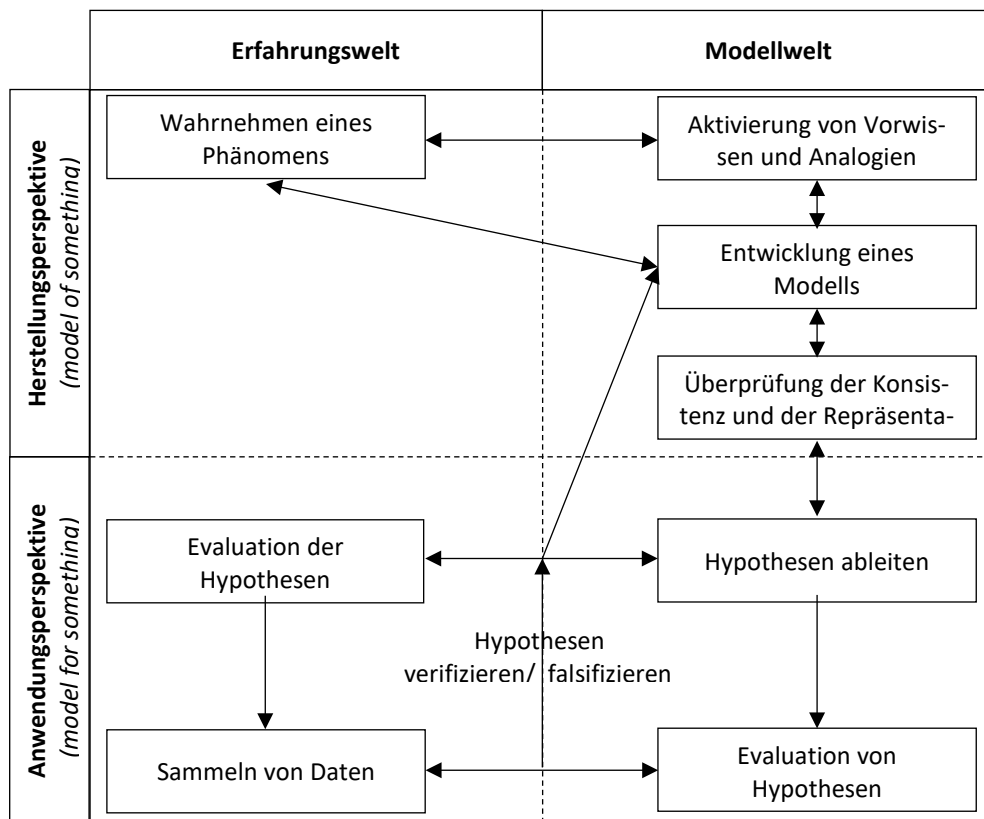


Abbildung 10. Prozessschema zum naturwissenschaftlichen Modellieren (adaptiert nach Krell et. al., 2019, S. 1321)

Erst im Zusammenhang mit dem Ziel sei das Modell auch ein Modell ‚für‘ etwas. Durch gedankliche oder materielle Manipulation an dem Modell werde es möglich, bspw. Vorhersagen über das Verhalten des Phänomens aus der Erfahrungswelt unter bestimmten Bedingungen zu treffen. Die auf der Basis des Modells getroffenen Hypothesen können mithilfe von Experimenten überprüft und das Modell ggf. modifiziert oder verworfen werden. Das Ableiten von Hypothesen aus einem Modell und die darauffolgende Überprüfung anhand (gedanklicher) Experimente entspricht der Handlungsperspektive nach Mahr (2004, 2008). Modelle werden indirekt durch den Vergleich der Modellwelt mit der Erfahrungswelt bewertet. Dieser Prozess impliziere laut den Autor*innen die Umwandlung von Wissen über das Modell in Wissen über das Ziel (Krell et al., 2019). Repräsentationen werden auch in diesem Ansatz im Zusammenhang mit der Externalisierung von mentalen Modellen genannt.

Aus den Phasen des Modellierungskreislaufes ergeben sich Fähigkeiten, dessen Erwerb für das Modellieren vorausgesetzt werden. Justi und Gilbert (2002) leiten ausgehend von dem *model of modelling framework* und Studien fünf Handlungen ab, die für das Modellieren relevant sind:

1. Kennen von Modellen
2. Anwenden und Nutzen von Modellen
3. Kritisches Beurteilen und Modifizieren von Modellen
4. Rekonstruieren von Modellen
5. Konstruieren von Modellen

Der rekursive Verlauf des Modellierprozesses bedinge, dass das Modellieren ein Zusammenspiel von mehreren der fünf angeführten Handlungen und Fähigkeiten erfordern könne (Justi & Gilbert, 2002).

Henze et al. (2007) übertragen die von Hodson (1992) aufgestellten Bereiche von *scientific literacy* (*Learning science, doing science, learning about science*) auf die von Justi und Gilbert (2002) postulierten Fähigkeiten für das Modellieren. Die Autor*innen fassen die für das Modellieren nötigen Fähigkeiten zu folgenden drei Facetten zusammen: *learning of scientific models*, *act of modelling* und *critical reflection on the role and nature of models* (Henze et al., 2007, S. 105).

Ausgehend von der Dreiteilung des Modellverständnisses nach Henze et al. (2007) leitet Meisert (2008) a priori einen theoretischen Rahmen für ein Strukturmodell der Modellkompetenz für die Biologie ab. Innerhalb des Strukturansatzes geht sie von drei Facetten der Modellkompetenz aus, innerhalb derer sie ein hierarchisches Verhältnis zwischen den Facetten annimmt (Meisert, 2008). Die Facette Modellwissen beinhaltet nach Meisert (2008) konzeptuelles Wissen über etablierte Modelle eines Faches, die den Zu-

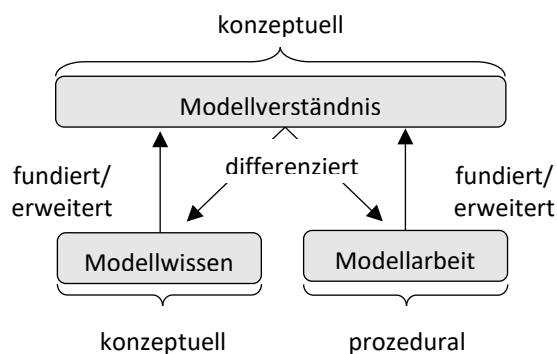


Abbildung 11. Facetten der Modellkompetenz und entsprechende Wechselwirkungen (nach Meisert, 2008, S. 245)

gang zu Inhalten ermöglichen. Die Facette Modellarbeit beinhaltet prozedurale Fähigkeiten im Umgang mit Modellen z. B. das Nutzen und Konstruieren. Die zwei Facetten werden dem Modellverständnis hierarchisch untergeordnet und stehen in direkter Beziehung zum Modellverständnis bzw. beeinflussen das Modellverständnis insoweit, als

dass sie es fundieren und erweitern können (Meisert, 2008). Dem übergeordneten Modellverständnis misst die Autorin eine besondere Rolle zu. Das Modellverständnis umfasse die wissenschaftstheoretische Perspektive auf Modelle d. h. das Wissen über die Rolle der Modelle im Fach sowie die Reflexion über Modelle und trage zur Ausprägung der zwei anderen Facetten bei.

Im Zuge der Kompetenzorientierung in bildungsrelevanten Curricula wurden Versuche

unternommen, ausgehend von dem Modellierprozess Kompetenzmodelle für die Modellierungskompetenz zu entwickeln, die als Referenzrahmen für die Strukturierung und Überprüfung der Bildungsstandards dienen. Aufgrund dessen werden in den folgenden Abschnitten zunächst eine Übersicht über die Modellierung von Kompetenzen gegeben und anschließend theoretische Ansätze zur Beschreibung der Kompetenzen des Modellverständnisses wiedergegeben.

3.2 Funktionen von multiplen externen Repräsentationen beim Erklären

„Models and representations are then central to providing the tools and heuristics necessary to reasoning how the world might behave“ (Kind & Osborne, 2017, S. 12).

Aus dem Modellierprozess geht hervor, dass Repräsentationen für die Externalisierung von Modellen unerlässlich sind und im Zuge dessen Anwendung in Form von Modellobjekten finden (Mahr, 2004; Terzer, 2013; Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010). Mit Rückbezug zur Erkenntnisgewinnung wird deutlich, dass der Modellierprozess immer dann stattfindet, wenn mithilfe von modellhaften Repräsentationen und Modellen Beobachtetes aus der Erfahrungswelt erklärt wird oder Hypothesen über das Verhalten von Phänomenen aufgestellt werden. Oliveira, Justi und Mendonça (2015) heben hervor, dass das Modellieren mit dem Ziel im naturwissenschaftlichen Diskurs Ideen zu begründen und ein Phänomen zu erklären neben verbalen Äußerungen auch non-verbale externe Repräsentationen als kommunikative Ressource und Transporteur von Modellen fordere. Aus der Besonderheit der Erklärungen im naturwissenschaftlichen Unterricht lassen sich unterschiedliche Funktionen von externen Repräsentationen beim Erklären herleiten, die durch den Repräsentationscharakter von Modellen in enger Beziehung zum Modellverständnis stehen. Für den Begriff ‚Erklären‘ im naturwissenschaftlichen Kontext geht aus der Literatur kein Konsens hervor (Braaten & Windschitl, 2011; Gilbert, Boulter & Rutherford, 2000). Einigkeit herrscht in der naturwissenschaftsdidaktischen Literatur darüber, dass eine bedingungslose Gleichsetzung einer Theorie zur wissenschaftlichen Erklärung, bspw. nach Hempel und Oppenheim (1948), mit einer Schülererklärung im naturwissenschaftlichen Unterricht Schwierigkeiten berge und den Voraussetzungen der Lernenden nicht gerecht werde (Braaten & Windschitl, 2011; Gilbert, Boulter & Rutherford, 2000; Oliveira et al., 2015). Braaten und Windschitl (2011) stellen heraus, dass sich im Kontext der naturwissenschaftlichen Unterrichtsforschung drei Formen der Erklärung herauskristallisieren: *explanation as explication*, *explanation as simple causation* und *explanation as justification*. Die Form *explanation as explication* weist laut der Autor*innen einen stark deskriptiven Charakter auf und treffe auf erklärende Situationen zu, in denen der Fokus primär auf dem Vermitteln von Begriffen und Bedeutungen liege (Braaten & Windschitl, 2011). Erklärungen, die als *explanation as jus-*

tification beschrieben werde, zeichnen sich durch die hervorstechende Struktur mit einer durch Instruktionen vorgegebene Reihenfolge ‚Hypothesen-Evidenzen-Begründung‘ auf und sind tendenziell argumentativ ausgerichtet. Die Erklärungsform *explanation as simple causation* beschreibt erklärende Situationen, in denen die Herstellung von Zusammenhängen zwischen Ursachen und Wirkungen, die ein beobachtetes Verhalten hervorrufen, fokussieren (Boulter & Buckley, 2000; Braaten & Windschitl, 2011; Gilbert et al., 1998; Oliveira et al., 2015). Die Erklärungsform *explanation as simple causation* ist laut der Autor*innen der häufigste Ansatz für die Analyse von Erklärungen in der fachdidaktischen Forschung (Braaten & Windschitl, 2011). Sowohl Gilbert et al. (1998) als auch Taber und Watts (2000) gehen von einer umfassenderen Konzeptualisierung einer Erklärung aus und beschreiben, dass eine Erklärung die Antwort auf eine spezifische Frage sei. Das Fragewort „Warum“ in einer Frage initiiere hierbei eine kausale Erklärung wie bspw. „Warum verhält sich das Phänomen wie beobachtet“ (Gilbert et al., 1998). Oliveira et al. (2015) führen unter Berücksichtigung der Besonderheit der modellbasierten Unterrichtssituation (Lernervoraussetzungen, Inhalte etc.) die unterschiedlichen Ansätze zur Beschreibung einer Erklärung zusammen und leiten Kriterien für die Identifizierung von erklärenden Phasen ab. Eine erklärende Phase umfasse demnach auch eine...

...Definition einer bestimmten Terminologie oder Bedeutung,
 ...Beschreibung von Argumentationen,
 ...Beschreibung und Erklärung eines erstellten Modells und dessen Merkmalen,
 ...und die Verwendung von Modellen und Repräsentationen, um Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen den Entitäten oder Ideen herzustellen, die mit den Phänomenen, die sie modellieren, zusammenhängen.

Die Autorinnen führen explizit die Bezeichnung erklärende Phasen ein, da im Zusammenhang mit dem modellierungsbasierten Unterricht eine Erklärung umfassender sei. Innerhalb einer erklärenden Phase im modellierungsbasierten Unterrichtssetting nehmen multiple externe Repräsentationen eine besondere Rolle ein. Oliveira et al. (2015) leiten ausgehend von Theorien zum Modellierungsverständnis und den Charakteristika der erklärenden Phasen im modellierungsbasierten Unterrichtssetting sieben Funktionen von multiplen externen Repräsentationen ab, um das Nutzen von externen Repräsentationen durch die Schüler*innen in erklärenden Phasen zu operationalisieren, über die im Folgenden ein Überblick gegeben wird. Hierbei werden externe Repräsentationen anhand der fünf Modi nach Gilbert (2004) kategorisiert und in Beziehung mit den mündlich geäußerten erklärenden Phasen gesetzt:

1. Verstärkung der mündlichen Äußerungen: Diese Funktion trifft auf Situationen zu, in denen die Lernenden die externe Repräsentation nutzen, um mündliche Aussagen zu unterstützen und auf die Aussagekraft der externen Repräsentation

unreflektiert vertrauen. Hierbei können die mündlichen Aussagen unabhängig von der externen Repräsentation verstanden werden, sodass die externe Repräsentation hier die Funktion trägt, den Gültigkeitsumfang der Aussagen zu bestätigen.

2. Ersatz für fehlende Fachtermini: Externe Repräsentationen weisen im sozialen Diskurs diese Funktion auf, wenn die Lernenden die externe Repräsentation nutzen, um naturwissenschaftliche bzw. domänenspezifische Begriffe zu substituieren, die ihnen nicht bekannt oder entfallen sind.
3. Präsentation einer externen Repräsentation zur Unterstützung einer Idee: Sofern Lernende die Merkmale und Eigenschaften einer für die Unterstützung einer Idee konstruierten oder genutzten externen Repräsentation im Allgemeinen beschreiben, trifft dies auf die Funktion der Präsentation einer externen Repräsentation für die Unterstützung einer Idee zu.
4. Überprüfung des Verständnisses: Die Funktion Überprüfung des Verständnisses kann sowohl von dem Modellierer als auch dem Interaktionspartner in Anspruch genommen werden. Diese trifft zu, wenn Rückfragen zur Klärung von durch die Repräsentation vermittelten Inhalte, entstehen oder durch Interaktionspartner gestellt werden. Hierbei können sich die Fragen auf die externe Repräsentation oder den durch sie vermittelten Inhalte beziehen.
5. Unterstützung des Verständnisses für ein Konzept bzw. Teilaspekte des Konzepts: Lernende nehmen diese Funktion in Anspruch, wenn sie die externe Repräsentation nutzen, um das naturwissenschaftliche Konzepte zu vermitteln bzw. zu erklären (im Sinne der unterrichtsspezifischen Erklärungen). Hierbei steht die externe Repräsentation in kontinuierlicher Wechselwirkung mit dem dahinterliegenden Konzept und mentalen Modell, das die erklärende Person verbal äußert. Die externe Repräsentation erfüllt in diesen Situationen eine Unterstützungsfunktion, da die Vermittlung der Konzepte auf sie angewiesen sind.
6. Feststellung/ Korrektur von Inkonsistenz: Externe Repräsentationen können in modellierungsbasierten Erklärungsphasen die Funktion erfüllen, das Feststellen und Korrigieren von Diskrepanzen bzw. Inkonsistenzen zwischen den genutzten externen Repräsentationen und dem Konzept zu unterstützen. Lernende können gegebenenfalls Revisionen an der Repräsentation oder dem Konzept vornehmen, um eine kohärente bzw. adäquate Darstellung zu erzielen.
7. Verweis auf die externe Repräsentation: Externe Repräsentationen können die Funktion erfüllen ‚für etwas‘ genutzt zu werden. Ein Indikator für diese Funktion ist das Verweisen auf eine Repräsentation während der erklärenden Phasen, in der ein Konzept mündlich überliefert wird. Während dieser Funktion in modellierungsbasierten Unterrichtssituationen wird nicht explizit erläutert ‚von was‘ die

externe Repräsentation eine Darstellung ist. Der Fokus liegt in solchen Situationen auf der Vermittlung von mentalen Modellen und dahinterliegenden Konzepten, für die die Funktion der externen Repräsentationen in Anspruch genommen werden.

Die externen Repräsentationen erhalten beginnend bei der ersten bis zur siebten Funktion während der erklärenden Phasen zunehmend als Modellobjekt den Modellcharakter (Oliveira et al., 2015). Ein Abgleich zwischen den Funktionen und dem Modellierprozess sowie den theoretischen Annahmen zum Modellverständnis (siehe Abschnitt 3.1 & 3.3) ist zu erkennen, dass sich mit zunehmenden Funktionen ein erweitertes Modellverständnis abzeichnet und sich der Schwerpunkt der erklärenden Phasen auf Externalisieren von Modellen bzw. Konzepten im Sinne der Erkenntnisgewinnung verschiebt. Während sich für die Funktionen eins bis drei ein starker Bezug und Fokussierung auf die Repräsentationen selbst erkennen lässt und in diesen die Perspektive ‚Repräsentationen von‘ immanent ist, beschreiben die Funktionen vier bis sieben zunehmend Handlungen, die sich im späteren Verlauf des Modellierprozesses wiederfinden lassen und in der Modellkompetenz aufgegriffen werden.

Bezüglich der Funktionen eins bis drei lassen sich Ähnlichkeiten zur Fähigkeit *Kennen von Modellen* (Justi & Gilbert, 2002) und den Teilkompetenzen *Eigenschaften von Modellen* sowie *alternative Modelle* nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) herstellen. Insbesondere Funktion eins und zwei liegt eine Perspektive auf externe Repräsentationen in ihrer Stellvertreterfunktion zugrunde. Das Nutzen einer externen Repräsentation, um Äußerungen zu verdeutlichen impliziert, dass die Repräsentation eine Replikation von den Äußerungen sei und in diesem Zusammenhang redundant wirkt. Auch in der Funktion der Substitution für Fachtermini ist die Vorstellung erkennbar, dass externe Repräsentationen Kopien bzw. Idealisierung von etwas, in diesem Fall Begriffe, sind und diesen gleichzusetzen seien. Die Funktion *Präsentation einer externen Repräsentation zur Unterstützung einer Idee* nimmt eine Schnittstelle zwischen *Kenntnisse über Modelle* und den beschriebenen niedrigeren Niveaustufen *Zweck von Modellen* ein. Die Präsentation erfordert zum einen das Wissen über Repräsentationseigenschaften, zum anderen wird die externe Repräsentation als idealisierte Darstellung von einer Idee genutzt, die wiedergegeben wird. Diese Funktion weist insoweit einen Bezug zu der ersten Niveaustufe der Teilkompetenz *Zweck von Modellen* auf, als dass sie zur Beschreibung von einer Idee genutzt wird.

Innerhalb der Funktionen vier bis sieben haben die Repräsentationen tendenziell einen größeren Bezug zu naturwissenschaftlichen Konzepten und werden im Zusammenhang mit der Erkenntnisgewinnung genutzt. Exemplarisch soll hier die Funktion einer externen Repräsentation *Feststellung/ Korrektur von Inkonsistenz* aufgegriffen werden. Diese weist einen Zusammenhang zu dem *kritischen Beurteilen und Modifizieren von Modellen*

(Justi & Gilbert, 2002), dem in der Herstellungsprozess aufgegriffene Prozess *Überprüfung der Konsistenz des mentalen Modells und der externen Repräsentation* (Krell et al., 2019) und der erkenntnistheoretischen Funktion von Modellen als Repräsentationen ‚für etwas‘ auf (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010).

In einer Videostudie untersuchen Oliveira et al. (2015) in einer modellbasierten Unterrichtseinheit die Nutzung von multiplen externen Repräsentationen für den atomaren Bereich beim Erklären und Argumentieren im sozialen Diskurs von Schüler*innen ($N = 38$). Der Analyse des Nutzungsverhalten beim Erklären legen sie ein Kategoriensystem basierend auf den sieben Funktionen, die im Abschnitt 3.2 beschrieben wurden, zugrunde. Aus den Ergebnissen der Videostudie geht hervor, dass die Schüler*innen externe Repräsentationen in erklärenden Unterrichtsphasen am häufigsten nutzen, um mündliche Äußerungen zu verstärken, Fachbegriffe zu ersetzen, die externe Repräsentation und ihre Eigenschaften zu repräsentieren sowie das Verständnis für Konzepte zu unterstützen. In Bezug auf die Modellierungskompetenz schließen die Autorinnen, dass Schüler*innen externe Repräsentationen im sozialen Diskurs häufiger in ihrer Funktion als Stellvertreter nutzen und somit geringer für die Erkenntnisgewinnung.

Um das eingangs aufgeführte Zitat aufzugreifen, kann die Notwendigkeit von externen Repräsentationen für das Erschließen und Erklären der Erfahrungswelt im Modellierprozess verschiedene Funktionen mit variierendem Grad des Modellcharakters erfüllen. Zum einen können sie als allgemeine externe Repräsentationen genutzt werden, zum anderen als naturwissenschaftliche externe Repräsentationen als Artefakte im Sinne von modellierungsbasierten externen Repräsentationen.

3.3 Modelle im Erkenntnisprozess

Die substanzielle und vielseitige Bedeutung der Modelle für die Naturwissenschaften hat ebenfalls Eingang in die naturwissenschaftlichen Schulfächer und die entsprechenden Bildungsstandards und bildungsrelevanten Dokumente gefunden. Eine umfassende Zielsetzung des naturwissenschaftlichen Unterrichtes, die als ein Orientierungsrahmen für die nationalen Standards dient, ist in dem Bildungsanliegen der naturwissenschaftlichen Grundbildung *scientific literacy* immanent (Bybee, 2002; Neumann, Fischer & Kautz, 2010). Ziel ist es, die Partizipation aller Schüler*innen an einer durch Naturwissenschaft und Technik geprägten Gesellschaft durch eine naturwissenschaftliche Grundbildung zu ermöglichen (Bybee, 2002; Gräber & Nentwig, 2002). Die naturwissenschaftliche Grundbildung setze sich aus den folgenden drei übergeordneten Bereichen zusammen (Deutsches PISA-Konsortium, 2001):

- (1) Naturwissenschaftliche Konzepte: Wissen über naturwissenschaftliche Konzepte

und Inhalte,

- (2) Naturwissenschaftliche Prozesse: Wissen und Fertigkeiten über naturwissenschaftliche Erkenntnismethoden sowie
- (3) Situationen: Fähigkeit naturwissenschaftliche Konzepte und Prozesse in naturwissenschaftlich geprägte Situationen anzuwenden und zu beurteilen.

So sollen die drei Bereiche der naturwissenschaftlichen Grundbildung Schüler*innen befähigen, naturwissenschaftliche Frage- und Problemstellungen in Situationen zu erkennen und zu verstehen, um an gesellschaftlichen Diskussionen teilnehmen zu können sowie Entscheidungen sach- und fachgerecht zu treffen. Im Zuge der Orientierung an einer naturwissenschaftlichen Grundbildung werden somit die Fähigkeiten und das Wissen bezüglich naturwissenschaftlicher Erkenntnismethoden neben naturwissenschaftlichen Konzepten gleichermaßen angesprochen.

In den allgemeinen Bildungsstandards für das Fach Chemie, der die naturwissenschaftliche Grundbildung zugrundliegt, erfolgt eine explizite Nennung von Modellen im Zusammenhang mit den Kompetenzbereichen Fachwissen, Erkenntnisgewinnung und Kommunikation (Kultusministerkonferenz [KMK], 2005).

Der Kompetenzbereich Fachwissen wird u. a. mit dem Verständnis von den in der Chemie etablierten und genutzten Modellen definiert. Im Rahmen der entsprechenden Standards zum Kompetenzbereich Fachwissen werden Modelle vorwiegend im Zusammenhang mit dem Beschreiben des Atombaus sowie der Deutung von Stoffeigenschaften auf Teilchenebene genannt (KMK, 2005).

Die kommunikative Bedeutung der Modelle in der Chemie wird in der entsprechenden Kommunikationskompetenz adressiert. In den Standards zur Kommunikationskompetenz wird das Verwenden von Modellen zum fach- und sachbezogenen Erschließen und Austausch von Informationen aufgeführt (KMK, 2005).

Auch in den Bildungsstandards werden Modelle im Zusammenhang mit der Dimension der Erkenntnisgewinnung genannt und explizit das Nutzen von geeigneten Modellen zur Beantwortung chemischer Fragestellungen angegeben. Neben experimentellen Untersuchungsmethoden lassen sich in diesem Kompetenzbereich Modelle als fachbezogene Arbeitsweise wiederfinden, mit deren Hilfe chemische Phänomene erklärt und erschlossen werden sollen (KMK, 2005; Nehring, Stiller, Nowak, Upmeyer zu Belzen & Tiemann, 2016).

Darüber hinaus erfolgt die Strukturierung der Anforderungsbereiche und des Schwierigkeitsgrades des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung mit Hilfe des unterschiedlichen Einsatzes von Modellen. Anzumerken sei an dieser Stelle, dass von den Verfasser*innen in den Ausführungen zu den Anforderungsbereichen bewusst von einem Schwierigkeitsgrad und nicht von Kompetenzstufen oder Niveaus gesprochen wird, da bisher keine empirischen Evidenzen zu einem abgesicherten Kompetenzstufenmodell

vorliegen (KMK, 2005). Charakteristisch für den Anforderungsbereich I ist das Beschreiben von Modellen während für den Anforderungsbereich II Aufgaben das Auswählen und Anwenden von Modellen kennzeichnend sind (KMK, 2005). Den höchsten Schwierigkeitsgrad weist demnach der Anforderungsbereich III auf, der über die Merkmale begründete Auswahl und das Anpassen von Modellen für das Bearbeiten komplexer Sachverhalte beschrieben wird (KMK, 2005).

Modelle als unentbehrliche Bestandteile der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweise lassen sich bezüglich ihrer oben angeführten Funktionen somit in den Bildungsstandards für das Fach Chemie wiederfinden.

„Hiernach ist alle Erkenntnis *Erkenntnis in Modellen* oder *durch Modelle*, und jegliche menschliche Weltbegegnung überhaupt bedarf des Mediums Modell“ (Stachowiak, 1973, S. 56). Bereits Stachowiak pointierte die Notwendigkeit von Modellen und Repräsentationen für die menschliche Erkenntnisgewinnung, die sich ebenfalls in den Beschreibungen des Erkenntnisprozesses im naturwissenschaftlichen Unterricht wiederfinden lässt.

Die in den Bildungsstandards aufgegriffene Erkenntnisgewinnungskompetenz impliziert eine prozessorientierte Ausrichtung des naturwissenschaftlichen Unterrichts (KMK, 2005; Nehring et al., 2016). Allgemein wird der Kompetenzbereich durch das Nutzen von (experimentellen) Untersuchungsmethoden sowie Modellen beschrieben (KMK, 2005). Die Kompetenz der Erkenntnisgewinnung im Fach Chemie wird durch acht Standards beschrieben, aus denen Teilschritte der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweise hervorgehen:

Tabelle 2. Standards für den Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung (KMK, 2005, S. 12)

Die Schülerinnen und Schüler...	
E1	erkennen und entwickeln Fragestellungen, die mit Hilfe chemischer Kenntnisse und Untersuchungen, insbesondere durch chemische Experimente, zu beantworten sind,
E2	planen geeignete Untersuchungen zur Überprüfung von Vermutungen und Hypothesen,
E3	führen qualitative und einfache quantitative experimentelle und andere Untersuchungen durch und protokollieren diese,
E4	beachten beim Experimentieren Sicherheits- und Umweltaspekte,
E5	erheben bei Untersuchungen, insbesondere in chemischen Experimenten, relevante Daten oder recherchieren sie,
E6	finden in erhobenen oder recherchierten Daten, Trends, Strukturen und Beziehungen, erklären diese und ziehen geeignete Schlussfolgerungen,
E7	nutzen geeignete Modelle (z. B. Atommodelle, Periodensystem der Elemente) um chemische Fragestellungen zu bearbeiten,
E8	zeigen exemplarisch Verknüpfungen zwischen gesellschaftlichen Entwicklungen und Erkenntnissen der Chemie auf.

Für die Kompetenzbeschreibung sowie der Prozesse der Erkenntnisgewinnung sind zahlreiche theoretische und forschungsbasierte Ansätze in der Naturwissenschaftsdidaktik hervorgegangen, die graduelle Unterschiede in den verwendeten Terminologien sowie

der Anzahl der einzelnen Phasen des Erkenntnisprozesses aufweisen. Darüber hinaus lässt sich in einigen der Ansätze eine stärkere Akzentuierung des Erkenntnisprozesses als naturwissenschaftliches Problemlösen erkennen (J. Mayer, 2007; Wellnitz et al., 2012). Viele Ansätze basieren auf der dreiphasigen Beschreibung des Erkenntnisprozesses nach dem *Scientific Discovery as Dual Search-Modell* (SDDS-Modell) nach Klahr und Dunbar (1988), die die Aktivitäten im Erkenntnisprozess umfassen. Die Autor*innen differenzieren zunächst die zwei Bereiche Hypothesen-Raum und Experiment-Raum, denen die drei Phasen Bilden von Hypothesen, Testen von Hypothesen und Evaluation von Ergebnissen zuzuordnen sind. Nachfolgende Tabelle enthält exemplarisch ausgewählte Ansätze zur Beschreibung der Phasen des Erkenntnisprozesses, die weitere Differenzierungen der Teilprozesse vornehmen. Eine umfassende Zusammenstellung von Ansätzen zur Beschreibung des Erkenntnisprozesses lässt sich u. a. bei Koenen, Emden und Sumfleth (2016) sowie Stiller (2015) finden.

Im Rahmen dieser Ansätze werden Modelle in den Beschreibungen der einzelnen Phasen der Erkenntnisgewinnung und besonders in der Phase der Auswertung angeführt (Chinn & Malhotra, 2002; Hofstein, Navon, Kipnis & Mamlok-Naaman, 2005; Klahr & Dunbar, 1988; Nehring, Nowak, Belzen & Tiemann, 2015). J. Mayer (2007) und Klahr und Dunbar (1988) nennen Modellieren in der Phase der Auswertung, innerhalb derer Ergebnisse mithilfe von Modellen dokumentiert und kommuniziert werden. Chinn und Malhotra (2002) führen Modelle ebenfalls in der Phase der Auswertung an und stellen diese der Beobachtung nach. Die Autor*innen verdeutlichen, dass Ergebnisse, die aus einer Beobachtungsphase hervorgehen, mithilfe von Modellen erklärt und interpretiert werden.

Modelle sind durch die Modellexperimente und Untersuchungsmethoden an Modellen selbst zusätzlich in der Phase des Experimentierens wiederzufinden. So scheinen Modelle und das Modellieren im Erkenntnisprozess querliegende Aspekte darzustellen. Durch die Omnipräsenz von Modellen in den Phasen des Erkenntnisprozesses entwickeln sich zunehmend Ansätze, innerhalb derer die Modelle als separate Arbeitsweise oder ihr Nutzen als eigenständige Phase im unterrichtlichen Erkenntnisprozess einnehmen. Nehring, Päßler und Tiemann (2017) entwickeln das ‚Kompetenzmodell zur fachübergreifenden Vernetzung der Erkenntnisgewinnung‘, das Anwendung für die Analyse von Lehr-Lern-Prozessen in der Chemie als auch Biologie findet. Modelle werden hier explizit als eine von drei naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen aufgegriffen, die in allen Phasen der Erkenntnisgewinnung vertreten sein können.

Modelle und die in ihnen enthaltenen Repräsentationen werden in der Phase der Auswertung und Schlussfolgerung insbesondere im Zusammenhang mit dem Deuten und Erklären des Beobachteten genannt (J. Mayer, 2007; White & Frederiksen, 1998). Insbesondere in dem Übergang zwischen Beobachtung und Deutung wird die Funktion von Modellen als erkenntnistheoretisches Werkzeug insoweit wahrgenommen, als dass sie

für das Gewinnen von Erkenntnis über ein beobachtetes Phänomen aus der Erfahrungswelt eingesetzt werden. Im Rahmen dieser Arbeit werden insbesondere Modelle und Repräsentationen als erkenntnistheoretische Werkzeuge für das Erklären und Deuten von chemischen Fragestellungen und somit in der Auswertungsphase fokussiert.

Den skizzierten Ansätzen ist gemein, dass der naturwissenschaftliche Erkenntnisprozess nicht als stringenter Prozess aufgefasst wird, der einer festen Reihenfolge folgt, sondern als rekursiv und hypothetisch-deduktiv beschrieben wird (Nehring et al., 2016; Wellnitz & Mayer, 2013).

Tabelle 3. Modelle in den Phasen der Erkenntnisgewinnung

Fragestellung und Hypothesen		Planung und Durchführung		Auswertung und Schlussfolgerung		Reflexion
Klahr und Dunbar (1988)	Bilden von Hypothesen	Testen von Hypothesen <ul style="list-style-type: none"> • Planung, Beobachtung und Durchführung von Experimenten • Hypothesen über Ergebnisse aufstellen • Repräsentation der Ergebnisse, Grundlage für die Überprüfung der Hypothese 		Evaluation von Evidenzen <ul style="list-style-type: none"> • Verifizierung o. Falsifizierung der Hypothese auf der Grundlage von gewonnenen Ergebnisse und Modellen 		
J. Mayer (2007)	Fragen formulieren	Hypothesen generieren	Planung einer (experimentellen) Untersuchung	Datenanalyse und Schlussfolgerung <ul style="list-style-type: none"> • Erklärungen konstruieren • Bewertung und Informationsvermittlung durch Repräsentationen • Entwicklung und Nutzen von Modellen für das Erklären 		
Chinn und Malhotra (2002)	Fragestellung generieren und formulieren		Planung <ul style="list-style-type: none"> • Variablenauswahl • Untersuchungsplan aufstellen • Variablenkontrolle • Messungen planen 	Beobachten	Erklären von Ergebnissen mithilfe eines Modells <ul style="list-style-type: none"> • Umwandlung von Beobachtungen • Fehleranalyse • Generalisierung 	
Walpuski und Sumfleth (2007)	Hypothese/ Ideen finden		Experimentieren		Schlussfolgern	
White und Frederiksen (1998)	Formulierung von Fragestellungen	Formulierung von Vorhersagen und Hypothesen	Planung, Beobachtung und Durchführung		Datenanalyse Interpretation der Ergebnisse mithilfe von Gesetzen und Modellen	Reflexion und Überarbeitung der Untersuchung

3.4 Kompetenzen und Kompetenzmodellierung

Für die Entwicklung von Kompetenzmodellen wird eine Definition des Kompetenzbegriffs vorausgesetzt. Im Zuge der neuen curricularen Ausrichtung zugunsten einer Orientierung an Kompetenzen hat sich in Deutschland die Kompetenzdefinition nach Weinert (2001) durchgesetzt, die in dieser Arbeit ebenfalls als Grundlage dient (Hammann, 2004; Neumann, Kauertz, Lau, Notarp & Fischer, 2007; Neumann et al., 2010; Schecker & Parchmann, 2006). Weinert (2001) beschreibt Kompetenzen als die „bei Individuen verfügbaren oder von ihnen erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen, motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (Weinert, 2001, S. 27). Entsprechend der Definition von Weinert sei es von besonderer Bedeutung, Kompetenzen von überfachlichen Kompetenzen und allgemeinen kognitiven Fähigkeiten abzugrenzen. Im Vergleich zu allgemeinen kognitiven Fähigkeiten (z. B. Intelligenz) seien Kompetenzen laut der Kompetenzdefinition erlernbar (Schecker & Parchmann, 2006; Weinert, 2001). Die Kompetenzdefinition nimmt explizit Bezug zu fachspezifischen Situationen und Problemen und somit zu fachbezogenem Wissen, wodurch die Fachspezifität und die Abgrenzung von allgemeinen Fähigkeiten begründet wird (Neumann et al., 2007; Weinert, 2001). Schwierigkeiten bereiten die Berücksichtigung motivationaler und volitionaler Aspekte der Kompetenzen in quantitativen Studien mit einer großen Stichprobe, da sich diese Aspekte nicht mit standardisierten Paper-Pencil-Tests erfassen lassen (Schecker & Parchmann, 2006). Eine Fokussierung auf die rein kognitiven Fähigkeiten hätte jedoch zur Folge, dass nicht die gesamte Spannbreite der Denk- und Handlungsweisen gemessen werden könnte, da insbesondere praktische und manuelle Fertigkeiten wie bspw. das Experimentieren „nicht mit einfacher Paper Pencil Tests zu erfassen“ sind (Schecker & Parchmann, 2006, S. 46).

Für die schulische Umsetzung und systematische Erfassung von Kompetenzen ist eine Operationalisierung der Kompetenzen und Strukturierung in Form von Kompetenzmodellen notwendig, da es sich bei Kompetenzen um latente Konstrukte handelt (Schecker & Parchmann, 2006; Weinert, 2001). Kompetenzmodelle werden mit dem Ziel entwickelt eine Orientierung für die curriculare Festlegung und Überprüfung von Kompetenzen zu bieten. Daraus ergebe sich für die Bildungsforschung die Aufgaben zum einen empirisch fundierte Kompetenzmodelle zu entwickeln und zum anderen geeignete Messinstrumente sowie Aufgaben für ihre Erfassung bereitzustellen (Fleischer, Koeppen, Kenk, Klieme & Leutner, 2013; Schecker & Parchmann, 2006). Im Hinblick auf die Modellierung von Kompetenzen werden Unterscheidung in Kompetenzstrukturmodelle und Kompetenzentwicklungsmodelle vorgenommen. Die Kompetenzstrukturmodelle enthalten eine systematische Ausformulierung der Kategorien (Teilkompetenzen) und der Dimensionalität einer Kompetenz während die Kompetenzentwicklungsmodelle

Annahmen über die sukzessive Entwicklung einer Kompetenz umfassen (Schecker & Parchmann, 2006). Kompetenzentwicklungsmodelle können zum einen zeitliche Orientierung aufzeigen und das Erreichen und Entwickeln von Kompetenzen nach Alters- und Schulstufen beinhalten oder eine strukturelle Perspektive, innerhalb der die innere Entwicklung einer Kompetenz formuliert ist. Fleischer et al. (2013) führen zudem eine Differenzierung in Kompetenzniveaumodelle an, mit denen eine ordinale Strukturierung und Hierarchisierung des Ausprägungsgrads einer Kompetenz vorgenommen werden, um eine kriteriumsorientierte Identifizierung der Niveaustufen anzustreben.

Im Hinblick auf die Modellierung und Entwicklung von Kompetenzmodellen lassen sich zwei Vorgehensweisen differenzieren. Erfolgt eine theoriebasierte Entwicklung der Kompetenzen handelt es sich um die a priori Vorgehensweise. Ein post hoc entwickeltes Kompetenzmodell liegt dann vor, wenn das formulierte Kompetenzmodell auf empirischen Daten basiert bzw. aus diesen hervorgeht (Hartig, 2007). Schecker und Parchmann (2006) beschreiben die nationalen Bildungsstandards für die naturwissenschaftlichen Fächer als sogenannte normative Kompetenzstrukturmodelle, deren Kompetenzen als Zielformulierungen und Leistungserwartungen aufzufassen sind und Kompetenzbereiche und ihre Ausprägungen enthalten. Deskriptive Kompetenzmodelle liegen derzeit in geringer Anzahl vor und umfassen Beschreibungen zu typischen Mustern von Kompetenzen und ihrem Aufbau. Insbesondere deskriptive Kompetenzmodelle seien empirisch sowohl aus lernpsychologischer als auch fachdidaktischer Perspektive abzusichern (Schecker & Parchmann, 2006).

Modellkompetenz wird im Rahmen der Bildungsstandards nur marginal als das Nutzen geeigneter Modelle zur Beantwortung chemischer Fragestellungen erläutert. In den letzten Jahrzehnten wurden ausgehend von theoretischen Annahmen zu Modellen sowie dem Modellierprozess unterschiedliche Kompetenzmodelle entwickelt, um die in den Bildungsstandards aufgegriffene Modellkompetenz zu konkretisieren und eine Überführung in empirische Messverfahren sowie Überprüfung vorzunehmen.

3.5 Modellierungskompetenz im Zusammenhang mit der Kompetenzmodellierung

Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) entwickelten ausgehend von unterschiedlichen Strukturierungsansätzen, u. a. Meisert (2008), Justi und Gilbert (2003) und Grosslight, Unger und Jay (1991), ein theoretisch fundiertes Kompetenzmodell zur Beschreibung von angenommenen Teilkompetenzen sowie Niveaustufen für die Biologie, das sowohl im nationalen als auch internationalen Raum auf große Resonanz stößt. Das Kompetenzmodell wurde zum einen für die valide Operationalisierung der Modellkompetenz sowie für die Entwicklung von Messinstrumenten entwickelt. Die Entwicklung geeigneter und valider Messinstrumente für die Modellkompetenz sei zum einen für diagnostische Zwecke und zum anderen für das Erstellen von Fördermaßnahmen der Modellkompetenz im Unterricht unerlässlich. Die Autor*innen pointieren in diesem Zusammenhang, dass die Modellkompetenz als eine vom Fachwissen separate Kompetenz aufzufassen und zu messen sei (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010). Nach dem Modell wird die Struktur der Modellkompetenz durch eine tendenziell deklarative Dimension ‚Wissen über Modelle‘ und der eher prozeduralen Dimension ‚Modellbildung‘ geprägt.

Die Dimension *Wissen über Modelle* basiert auf dem Wissenschaftsverständnis und umfasst die ontologische sowie epistemologische Auffassung von Modellen. Die Autor*innen fassen die Teilkompetenzen zu einer Dimension zusammen, die individuelle Konzepte in Bezug auf Modelle beinhaltet und aus kognitionspsychologischer Sicht als deklaratives Wissen bezeichnet werden kann (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010). Die Teilkompetenz *Eigenschaften von Modellen und alternative Modelle* entsprechen der Dimension Wissen über Modelle. In der Teilkompetenz *Eigenschaften von Modellen* lassen sich Differenzierungen bezüglich der Auffassung eines Individuums von der Beziehung zwischen dem Modell und Ausgangspunkt vornehmen (Grosslight et al., 1991; Justi & Gilbert, 2003). Anhand der drei Niveaustufen lassen sich die Perspektiven auf Modelle als naturgetreue Replikationen, eine idealisierte Repräsentation oder eine theoretische Rekonstruktion kategorisieren, wobei Niveaustufe drei der Auffassung von Modellen im Sinne des Wissenschaftsverständnisses entspricht (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010). Die Teilkompetenz *alternative Modelle* und die entsprechenden Niveaustufen gründen auf der Theorie des Modellseins nach Mahr (2004, 2008) (siehe Abschnitt 2.1.3). Diese Teilkompetenz umfasst die Vorstellungen über die Existenz mehrerer Modelle für ein Ausgangsobjekt. In Anlehnung an die Modellkonzeptualisierung nach Mahr (2004, 2008) zeichne sich laut der Autor*innen eine geringere Kompetenz dadurch aus, dass lediglich ein Vergleich zwischen den Modellobjekten vorgenommen werde. Eine weiter gehende Kompetenz sei dann festzustellen, wenn die Beurteilung von alternativen Modellen Verbindung zum Herstellungsprozess (Modell von etwas) oder zur Anwendungsperspektive (Modell für etwas) enthalte (Mahr, 2004; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010).

Die Dimension der Modellbildung umfasse drei Teilkompetenzen, die sich als Fähigkeiten zum wissenschaftlichen Denken mithilfe von Modellen im Erkenntnisprozess charakterisieren lassen. Neben prozeduralen Fähigkeiten wird die *Reflexion über Modelle* ebenfalls der Dimension der Modellbildung zugeordnet. Aus dem zyklischen Prozess des Modellierungskreislaufs und der theoretisch fundierten Teilfähigkeiten (siehe Abschnitt 3.1) leiten die Autor*innen die drei Teilkompetenzen *Zweck, Testen und Ändern von Modellen* mit ebenfalls drei Ausprägungsgraden auf (Justi & Gilbert, 2002; Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010). Die Teilkompetenz *Zweck von Modellen* zeigt Bezug zum Modellobjekt selbst, der Herstellung von Verbindungen zwischen Ausgangsobjekt und Modell sowie dem Anwendungszweck von Modellen. Ein niedriger Ausprägungsgrad der Teilkompetenz zeichne sich durch das Nutzen von Modellen zur Visualisierung oder Beschreibung eines Ausgangsobjektes aus, da dieser Anwendungszweck auf einer rein ontologischen Perspektive des Modells beruhe.

Tabelle 4. Kompetenzmodell der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger, 2010, S. 53

	Niveau I	Niveau II	Niveau III
	Kenntnisse über Modelle		
Eigenschaften von Modellen	Modelle sind Kopien von etwas	Modelle sind idealisierte Repräsentationen von etwas	Modelle sind theoretische Rekonstruktionen von etwas
Alternative Modelle	Unterschiede zwischen den Modellobjekten	Ausgangsobjekt ermöglicht Herstellung verschiedener Modelle von etwas	Modelle für verschiedene Hypothesen
	Modellbildung		
Zweck von Modellen	Modellobjekte zur Beschreibung von etwas einsetzen	Bekannte Zusammenhänge und Korrelationen von Variablen im Ausgangsobjekt erklären	Zusammenhänge von Variablen für zukünftige neue Erkenntnisse voraussagen
Testen von Modellen	Modellobjekt überprüfen	Parallelisieren mit dem Ausgangsobjekt, Modell von etwas testen	Überprüfen von Hypothesen bei der Anwendung, Modelle für etwas testen
Ändern von Modellen	Mängel am Modellobjekt beheben	Modell als Modell von etwas durch neue Erkenntnisse oder zusätzliche Perspektiven revidieren	Modell für etwas aufgrund falsifizierter Hypothesen revidieren

Werden Modelle für das Erklären von Kausalzusammenhängen bereits bekannter Ausgangsobjekte genutzt, entspreche dies der Niveaustufe II während das prognostische Nutzen z. B. für das Ableiten von Hypothesen (Modelle für etwas) für die Niveaustufe III kennzeichnend sei (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010).

Erfolgt das *Testen von Modellen* lediglich auf der Basis des Modellobjektes sei die Niveaustufe I der Teilkompetenz *Testen von Modellen* erfüllt. Wird ein Modell mit Rückbezug auf das Ausgangsobjekt (Modell von etwas) überprüft, entspreche dies Niveaustufe II während das Nutzen von Modellen zur Überprüfung von Hypothesen der höchsten Niveaustufe der Teilkompetenz zuzuordnen sei. Die Teilkompetenz *Ändern von Modellen* fordere laut der Autor*innen den höchsten Anteil an Reflexionsfähigkeit in Bezug auf die selbst konstruierten sowie bereits bestehenden Modelle. Wird eine Revision des Modellobjektes ohne Bezug zu den Erkenntnissen vorgenommen, weil bspw. in dem Modellobjekt ein (optischer) Fehler enthalten ist, beschreibt dies Niveaustufe I. Werden Modelle von etwas durch neue Erkenntnisse revidiert, sei die Niveaustufe II und bei der Revision von Modellen für etwas aufgrund falsifizierter Hypothesen Niveaustufe III festzustellen. Eine Übersicht der Modellkompetenz ist in Tabelle 4 dargestellt. Die Zellen der Teilkompetenzen, die eine rein ontologische Perspektive auf das Modellobjekt beinhalten sind hellgrau, die Herstellungsperspektive mittelgrau und die Anwendungsperspektive dunkelgrau hinterlegt.

Für die Validierung der angenommenen Kompetenzstruktur sowie der Niveaustufen wurden unterschiedliche Studien durchgeführt (Grünkorn, 2014; Terzer, 2013). In einer Interviewstudie untersuchen Trier und Belzen (2009) die Gültigkeit der Teilkompetenzen in den einzelnen Zellen. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass sich die Schülersaussagen den Zellen der angenommenen Teilkompetenzen, ohne Widerspruch oder fehlende Teilkompetenzen aufzuweisen, zuordnen lassen (Trier & Belzen, 2009; Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010). Ausgehend von den qualitativen Validierungsversuchen wurden zwei weitere Studien zur quantitativen Validierung der Kompetenzstruktur sowie der Niveaustufen initiiert. Zur Messung der angenommenen Modellkompetenz sowohl in Bezug auf die Kompetenzstruktur als auch -niveaus wurden Messinstrumente mit offenen als auch geschlossenen Itemformaten entwickelt, um das Gesamtkonstrukt der Modellkompetenz zu überprüfen (Grünkorn, 2014; Terzer, 2013). Analysen konnten weder die Trennung der angenommenen Teilkompetenzen noch die Gültigkeit der Niveaustufen bestätigen (Grünkorn, 2014; Terzer, 2013). Terzer (2013) analysiert mithilfe des Raschmodells die Dimensionalität der Modellkompetenz. Hier zeigen die Ergebnisse die Bevorzugung des eindimensionalen Modells für das Gesamtkonstrukt der Modellkompetenz und keine signifikanten Unterschiede zwischen dem zweidimensionalen Modell (Kenntnisse über Modelle und Modellbildung) und fünfdimensionalen Modell (Teilkompetenzen) (Terzer, 2013). Darüber hinaus konnten anhand der Itemschwierigkeiten die drei angenommenen Niveaustufen weder voneinander getrennt abgebildet noch gemessen werden (Grünkorn, 2014; Terzer, 2013). Die Diskrepanz zwischen den Ergebnissen der empirischen Validierung und des theoretisch fundierten Kompetenzmodells könnte u. a. auf die eingesetzten Messinstrumente zurückzuführen sein, da sowohl Items mit als auch ohne einen Kontextbezug verwendet wurden (Terzer, 2013). Die Autorin nimmt

an, dass es sich bei der Modellkompetenz um ein vom Fachwissen abgrenzbares Konstrukt handelt, jedoch einen Zusammenhang mit dem Fachwissen aufweist und keinen Zusammenhang mit sprachlichen Lernleistungen. Die angegebenen Schulnoten der Lernenden werden hierbei als Indikator für die Lernleistung in den Naturwissenschaften sowie Sprachen genutzt. Entgegen der Annahmen geht aus den Ergebnissen hervor, dass sowohl die sprachlichen als auch naturwissenschaftlichen Lernleistungen einen schwachen bis mittleren Zusammenhang mit der Modellkompetenz aufweisen. Aus den Zusammenhangsanalysen und insbesondere dem moderaten Zusammenhang zwischen Modellkompetenz und naturwissenschaftlicher Lernleistung schließt die Autorin, dass es sich bei der Modellkompetenz um ein eigenständiges und von dem Fachwissen abgrenzbares Konstrukt handelt. Weitere Analysen in Bezug auf die Abgrenzung der Modellkompetenz von dem Fachwissen werden im Rahmen der Untersuchung nicht vorgenommen.

Digel (2020) leitet ausgehend von bestehenden Kompetenzmodellen zur Modellkompetenz ein physikspezifisches Kompetenzmodell ab und überprüft quantitativ mit entwickelten Messinstrumenten die angenommene Gesamtstruktur. Basierend auf theoretischen Annahmen differenziert die Autorin die physikspezifische Modellierungskompetenz in die deklarative, prozedurale und epistemologisch-metakognitive Teilkompetenz. Die Ergebnisse zeigen, dass mithilfe der entwickelten Messinstrumente die deklarativen und die prozeduralen Kompetenzen getrennt voneinander gemessen und bestätigt werden können. Die epistemologisch-metakognitiven Teilkompetenzen lassen sich dahingegen nicht mit dem Messinstrument als eindimensionales valides Konstrukt getrennt von den beiden anderen Kompetenzen erheben. Zudem nimmt die Autorin eine strukturelle Differenzierung der prozeduralen Kompetenz in die Teilkompetenzen Anwenden, Entwickeln und Bewerten vor, die ebenfalls überprüft und validiert wird. Die empirische Validierung der angenommenen dreigliedrigen Struktur der prozeduralen Kompetenz konnte mithilfe des Messinstruments ebenfalls bestätigt werden. Auch Digel (2020) nimmt an, dass es sich insbesondere bei der prozeduralen Modellkompetenz um eine inhaltsbereichsübergreifende Kompetenz handelt, die jedoch einen Zusammenhang mit dem Fachwissen aufweist. Zusammenhangsanalysen zwischen der gemessenen prozeduralen Modellkompetenz und dem Fachwissen, das anhand der Physiknote operationalisiert wurde, zeigen einen mittleren Zusammenhang. Darüber hinaus lässt sich über zwei Inhaltsbereiche hinweg (Optik und Kinematik) die gleiche dreigliedrige Struktur der prozeduralen Fähigkeit abbilden, sodass die Autorin den Rückschluss zieht, dass die prozedurale Modellkompetenz ein inhaltsbereichsübergreifendes Konstrukt darstellt, dass jedoch mit dem Fachwissen zusammenhängt.

Digel (2020) nahm eine dreigliedrige Struktur der Modellkompetenz an, die sich zum

größten Teil bestätigen ließ. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass sich die physikalische Modellkompetenz in die deklarativen und prozeduralen Fähigkeiten differenzieren lässt, wohingegen keine klare Erfassung und Abgrenzung der epistemologisch-metakognitiven Facette vorgenommen werden konnte. Demgegenüber geht Terzer (2013), basierend auf dem Kompetenzmodell der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010), von einer fünfgliedrigen Struktur aus, die nicht bestätigt wurde und sich lediglich als ein eindimensionales Konstrukt erfassen ließ. Die Studienergebnisse liefern Hinweise darauf, dass der Modellkompetenz eine dreigliedrige Struktur zugrunde liegt und insbesondere die deklarative Facette sowie die prozedurale Facette als separate Konstrukte bestätigt werden konnten.

Der Repräsentationscharakter von Modellen führt zu der Annahme, dass die Modellkompetenz in enger Beziehung zu dem Konstrukt der Repräsentationskompetenz stehe (Chittleborough & Treagust, 2009; Giere, 2010; Kozma & Russell, 1997; Terzer, 2013). Repräsentationskompetenz wird in diesem Zusammenhang als Grundlage für die Modellkompetenz aufgefasst. Aufgrund dessen wird im Folgenden ein Überblick über die Repräsentationskompetenz gegeben.

3.6 Repräsentationskompetenz

„How can students learn new content from visual representations they do not yet fully understand, and - at the same time - learn how visual representations show content they have not yet learned?“ (Rau, 2017, S. 719).

Rau (2017) hebt mit der Aussage die ambivalente Rolle von Repräsentationen im Lernprozess hervor. Zum einen bieten Repräsentationen im Lernprozess die Möglichkeit neues bzw. unbekanntes Wissen zu erschließen (*learning from representations*) und zum anderen setze diese unterstützende Funktion Wissen über die Repräsentationen selbst voraus (*learning about representations*), das nicht immer gegeben sei (Ainsworth, 2008a; Rau, 2017). Rau (2017) beschreibt die wechselseitige Abhängigkeit zwischen dem Erlernen neuer Inhalte durch Repräsentationen und fehlendem Wissen über Repräsentationen im Lernprozess als ‚Repräsentationsdilemma‘. Die Überwindung des Repräsentationsdilemmas setze folglich Fähigkeiten im Umgang mit Repräsentationen seitens der Lernenden voraus (Ainsworth, 2008a; diSessa, 2004; Kozma & Russell, 2005; Rau, 2017). Darüber hinaus erfordere der Modellierprozess Fähigkeiten im Umgang mit Repräsentationen:

Recognising the importance of the representational modes presented earlier, we consider activities based on modelling—the process of producing, expressing, testing, evaluating, and modifying models ...capable of contributing to student development in relation to creating and understanding the various representations used in science education. (Oliveira et al., 2015, S. 1407)

Im Allgemeinen werden Repräsentationskompetenzen als Fähigkeiten und Kenntnisse beschrieben, die Lernende befähigen multiple externe Repräsentationen zum Denken und Problemlösen zu nutzen (Ainsworth, 2008a; Rau, 2017).

Tabelle 5. Übersicht über die Ansätze zur Struktur der Repräsentationskompetenz und der Teilfähigkeiten

Kozma und Russell (2005)	Ainsworth (2008a)	diSessa (2004)
<i>Representational competence</i>		<i>Meta-representational competence</i>
Analyse und Interpretation von Eigenschaften einer Repräsentation	Wissen über die Merkmale und Eigenschaften der Repräsentationsform	Beschreiben und Erklären einer Repräsentation
Vergleich unterschiedlicher Repräsentationen bezüglich inhaltlicher und formaler Gemeinsamkeiten und Unterschiede	Erkennen und Beschreiben der Beziehung zwischen Repräsentation und fachspezifischen Inhalten	
Auswahl und Konstruktion geeigneter Repräsentation, begründen wieso sie für den Zweck geeignet ist.	Auswahl einer geeigneten Repräsentation Konstruktion von Repräsentationen	Konstruktion und Entwicklung von Repräsentationen
Übersetzen und Überführen einer gegebenen Repräsentation in eine andere (Translation)	Multiple externe Repräsentationen vergleichen, in einander überführen, Beziehung zwischen ihnen herstellen	
Nutzen von Repräsentationen für das Beschreiben und Erklären von beobachteten chemischen Phänomenen		
Nutzen von Repräsentationen als Evidenz, um Behauptungen zu unterstützen, Rückschlüsse zu ziehen und Vorhersagen über Relationen und Phänomene zu treffen		
		Reflexiver Vergleich unterschiedlicher Repräsentationen in Bezug auf ihre Angemessenheit
Reflexion aus einer erkenntnistheoretischen Perspektive: Korrespondenz zwischen Phänomen/Konzepten und Repräsentation verstehen		Kenntnisse und Wissen über den situationsspezifischen Zweck und der Funktionsweise von Repräsentationen generell

Bei der Repräsentationskompetenz handele es sich um ein vom Fachwissen unabhängiges Konstrukt (Ainsworth, 2008a; Rau, 2017). Aus der Literatur gehen theoretische Ansätze hervor, die die Repräsentationskompetenz und entsprechende Teilkompetenzen in Anlehnung an die Modellkompetenzen differenziert beschreiben.

Während diSessa (2004) und Ainsworth (2008a) fachunabhängige Beschreibungsansätze der Repräsentationskompetenz vertreten, entwickeln Kozma und Russell (2005) einen Ansatz mit Bezug zur Chemie bzw. zum Chemieunterricht.

Obschon die Fähigkeiten als Repräsentationskompetenz bzw. nach diSessa (2004) als *meta-representational competence* zusammengefasst werden und Annahmen über Hierarchien sowie separate Teilkompetenzen gemacht werden, gibt es diesbezüglich aktuell keine hinreichenden empirischen Evidenzen zur Validierung der Struktur der Repräsentationskompetenz. Vielmehr fokussiert die Mehrzahl der aktuellen Studien die angenommenen Facetten bzw. Teilkompetenzen, weniger die Struktur des Konstrukts der Repräsentationskompetenz (Ainsworth, 2008a; Rau, 2017). Wie aus der Tabelle 5 hervorgeht zeigen die Ansätze Unterschiede im Hinblick auf die Differenzierung und Anzahl (4-7) der angenommenen Teilkompetenzen, jedoch große Übereinstimmung bezüglich der Beschreibung der Teilkompetenzen.

Über die Ansätze hinweg wird für das erfolgreiche Lernen mit externen Repräsentationen die Teilkompetenz vorausgesetzt, dass die Lernenden konzeptuelles Wissen und Kenntnisse in Bezug auf die Eigenschaften und Merkmale einer Repräsentation verfügen, diese interpretieren, analysieren und erklären können (Ainsworth, 2008a; diSessa, 2004; Kozma & Russell, 2005). Ainsworth (2008a) spricht in diesem Zusammenhang von der ‚Syntax‘ externer Repräsentationen, die unabhängig von den vermittelten Informationen und Konzepten beherrscht und vermittelt werden sollte. Die Kenntnisse über die Syntax seien eine Voraussetzung für die unterstützende Lernfunktion und umfassen das Verständnis für die Art und Weise der Kodierung bzw. Verschlüsselung von Informationen durch die externe Repräsentation z. B. der Bedeutung der Zahlen als tiefgestellte Indexzahlen und Koeffizienten in der Symbolschreibweise (Rau, 2017).

Sowohl in dem Ansatz nach Kozma und Russell (1997, 2005) als auch Ainsworth (2008a) erfolgt eine explizite und separate Nennung der reziproken Fähigkeit, inhaltliche Verbindungen zwischen externen Repräsentationen und den immanenten Konzepten herzustellen und diesbezüglich Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede zwischen unterschiedlichen externen Repräsentationen zu identifizieren. Das Wissen befähige Lernende zur Informationsentnahme aus externen Repräsentationen und die Fokussierung von relevanten Informationen. Insbesondere Lernende mit geringen Fähigkeiten zeigen im Hinblick auf die Informationsentnahme und das Erkennen von analogen Eigenschaften zwischen multiplen externen Repräsentationen Schwierigkeiten, sodass sie sich von irrelevanten sowie oberflächlichen Merkmalen externer Repräsentationen vom Wesentlichen ablenken lassen (Davidowitz & Chittleborough, 2009; Gilbert, 2010; Johnstone, 1993;

Kozma & Russell, 2005; Rau, 2017). Das Wissen über die „Syntax“ multipler externer Repräsentationen sei die Grundvoraussetzung für die Fähigkeit der Informationsentnahme aus den entsprechenden externen Repräsentationen.

Graulich, Hedtrich und Harzenetter (2019) analysieren in einer quantitativen Studie die Fähigkeit von Studierenden ($N = 156$) multiple externe Repräsentationen zu vergleichen und inhaltliche Gemeinsamkeiten zwischen diesen zu erkennen. Hierzu setzen sie ein zweiteiliges Testinstrument im Bereich der organischen Chemie ein, das zum einen Items enthält, mit denen die Fähigkeit gemessen wird, aus gegebenen externen Repräsentationen diejenigen auszuwählen, die inhaltliche Gemeinsamkeiten aufweisen und zum anderen Items, mit denen die Begründung für die Auswahl erhoben wird. Für die Auswertung nutzen die Autor*innen eine Differenzierung der durch die externen Repräsentationen modellierten Eigenschaften einer Entität in ‚explizit‘ und ‚implizit‘. Demnach werden explizite Eigenschaften einer Entität durch die externe Repräsentation visualisiert, z. B. Bindung und geometrische Informationen, während die impliziten Eigenschaften einer Entität, z. B. Partialladung oder Atomgröße, nicht explizit durch die externe Repräsentation dargestellt werden und aus dieser abgeleitet werden müssen. Die Studierenden zeigen bezüglich der Items, bei denen gemeinsame explizite Eigenschaften die richtige Antwort unterstützen, geringere Schwierigkeiten auf als bei den Items, die gemeinsame implizite Eigenschaften zwischen den externen Repräsentationen enthalten. Darüber hinaus geht aus den Ergebnissen hervor, dass die Herangehensweise der Studierenden bei der Lösung der Items tendenziell an den visuellen Darstellungsmerkmalen als an den impliziten Eigenschaften von Entitäten gebunden sei.

Dickmann und Opfermann et al. (2019) untersuchen in einer quantitativen Langzeitstudie den Einfluss des visuellen Modellverständnisses auf den Studienerfolg im Fach Chemie von Studierenden ($N = 275$) in der Studieneingangsphase. Die Autor*innen definieren visuelles Modellverständnis, das mittels eines Tests erhoben wird, als Fähigkeit unter Berücksichtigung domänenspezifischer Inhalte und individueller Lernvoraussetzungen relevante Informationen aus multiplen externen Repräsentationen zu extrahieren, sie zu übersetzen und miteinander in Beziehung zu setzen. Ein chemiebezogener Fachwissenstest sowie die Klausurnoten werden als Indikatoren für den Studienerfolg genutzt. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass das erhobene Modellverständnis als Prädiktor für den Studienerfolg in der Chemie identifiziert wurde. Des Weiteren liefern die Ergebnisse von Faktorenanalysen, dass sich das Fachwissen empirisch von dem visuellen Modellverständnis separat erfassen lässt.

Die zweite Facette der Repräsentationskompetenz umfasst Teilfähigkeiten, die prozedurale Handlungen an externen Repräsentationen implizieren. Repräsentationskompetenz umfasse neben dem deklarativen Umgang mit Repräsentationen auch die Fähigkei-

ten der Repräsentationskonstruktion und der inhalts- und zweckangemessenen Repräsentationswahl, die in einigen Ansätzen zu einer Teilkompetenz zusammengefasst werden (Ainsworth, 2008a; diSessa, 2004; Kozma & Russell, 2005). Lernumgebungen, die multiple externe Repräsentationen zur Auswahl beinhalten oder die benötigte externe Repräsentation nicht bereitstellen, fordern die Fähigkeit abhängig von der Problemstellung eine geeignete auszuwählen (Ainsworth, 2008a; Kozma & Russell, 2005). Kozma und Russell (1997, 2005) fügen dem hinzu, dass die Lernenden darüber hinaus in der Lage sein sollten, die Wahl für eine externe Repräsentationen sowie ihre Angemessenheit in Bezug auf ihr Ziel begründen zu können.

Neben der Fähigkeit aufgabenabhängig eine geeignete externe Repräsentation auszuwählen, umfasst Repräsentationskompetenz die Konstruktion einer externen Repräsentation. Forschungsstudien liefern Hinweise darauf, dass die Kenntnisse der Lernenden eine externe Repräsentation richtig zu interpretieren nicht automatisch dazu befähigt die gleiche externe Repräsentation zu konstruieren, noch die richtige Konstruktion das erfolgreiche Problemlösen mithilfe der externen Repräsentation bedingt (Ainsworth, 2008a; Cox & Jones, 2011).

In einer Befragung von Derman, Koçak und Eilks (2019) wird die Wahl für eine externe Repräsentation für die Externalisierung des mentalen Modells von einem Atom von Lehramtsstudierenden des Faches Chemie ($N = 67$) erhoben. Hierzu geben die Autor*innen die Instruktion, sich eine Visualisierungsform des Atoms frei auszuwählen, um ihr mentales Modell in Form einer Zeichnung zu externalisieren und zu beschriften. Aus den Zeichnungen der Teilnehmenden geht hervor, dass die Mehrzahl (59 von 67 Teilnehmenden) zweidimensionale externe Repräsentationen basierend auf Variationen des Bohrschen Atommodells für die Visualisierung ihres mentalen Modells nutzen. Weitere Ergebnisse zeigen, dass sich die Teilnehmenden auf wesentliche Aspekte wie Elektronen, Protonen und Neutronen in ihren Zeichnungen fokussieren. Keiner der Befragten externalisierte das mentale Modell mithilfe von externen Repräsentationen, die auf die Quantenmechanik zurückzuführen sind und nur wenige nutzten raumfüllende externe Repräsentationen wie das Kalottenmodell oder das Stäbchenmodell. In einer zweiten Befragung wurden $N = 73$ Studierende gebeten von sechs vorgelegten externen Repräsentationen des Atoms, die aus Schulbüchern entnommen wurden, diejenige auszuwählen, die sie im Rahmen des Chemieunterrichts präferieren würden. Zur Auswahl wurden den Studierenden folgende externe Repräsentationen vorgelegt: (a) Modell mit 3D-Atomkern und Elektronen auf 2D-Kreisen; (b) Modell mit dem Atomkern und Elektronen auf Bahnen in einer 3D-Darstellung; (c) Dalton-Modell; (d) Thomson-Modell; (e) Modell mit Kern und Elektronen oder Ladungen, die in der Schale verteilt sind und (f) Modell mit verschiedenen Schalen. Die Studierenden wählten am häufigsten die Repräsentationen (a) Modell mit 3D-Atomkern und Elektronen auf 2D-Kreisen; (b) Modell mit dem Atomkern und Elektronen auf Bahnen in einer 3D-Darstellung aus, die beide Variationen

des Bohrschen Atommodells darstellen. Auch die zweite Stichprobe wählte zu einer geringen Anzahl Atommodelle, die quantenmechanische Aspekte und symbolische Elemente beinhalten. Die Autor*innen schließen aus beiden Erhebungen, dass bei den meisten Proband*innen alternative mentale Modelle vorliegen, die sich während des Lernprozesses manifestiert haben. Die Begründungen der Studierenden sowie die Fokussierung auf das Bohrsche Atommodell liefern Hinweise, dass die im Schulunterricht verwendeten Atommodelle die grundlegende Quelle für die stabilen mentalen Modelle darstellen.

Die Fähigkeit der Translation bzw. Überführung einer externen Repräsentation in eine andere Form sei insbesondere für naturwissenschaftliche Domänen und die Expertise innerhalb dieser kennzeichnend (Harrison & Treagust, 2000; Johnstone, 1993; Kozma & Russell, 2005; Lin et al., 2016). Ainsworth (2008a) führt an, dass die Translationskompetenz eine Kombination aus mehreren der zuvor angeführten Teilkompetenzen voraussetze und aufgrund dessen zu Schwierigkeiten seitens der Lernenden führe. Die Überführung bspw. einer Summenformel in eine Strukturformel, verlange demnach Kenntnisse über die ‚Syntax‘ beider Repräsentationsformen, die Entnahme relevanter Informationen aus der Ausgangsrepräsentation (Summenformel) und die Konstruktionsfähigkeit der Zielrepräsentation (Strukturformel).

Kozma und Russell (2005) formulieren zudem die Fähigkeitsanforderung, dass Lernende befähigt sein sollten, externe Repräsentationen für das Beschreiben und Erklären von beobachteten chemischen Phänomenen in Bezug auf molekulare Einheiten und Prozesse zu nutzen. Des Weiteren nennen die Autor*innen mit Rückbezug zu der Rolle von Repräsentationen im Erkenntnisprozess die Fähigkeit Repräsentationen für das Aufstellen von Hypothesen, als Evidenz und das Schlussfolgern in sozialen Diskursen anzuwenden (Kozma & Russell, 1997, 2005).

Die Ansätze nach diSessa (2004) und Kozma und Russell (2005) beinhalten zudem eine dritte Facette, die meta-kognitive bzw. reflexive Repräsentationsfähigkeiten umfasst. Während diSessa (2004) die zwei Fähigkeiten dieser Facette als allgemein und fachunspezifisch bezeichnet, lassen sich bei Kozma und Russell (2005) fachspezifische Charakteristika erkennen.

DiSessa (2004) postuliert, dass eine ausgeprägte Repräsentationskompetenz die Reflexion und das kritische Vergleichen multipler externer Repräsentationen bezüglich ihrer situations- und problemspezifischen Angemessenheit umfasst. Dieses schließe auch ein, das eigene Nutzen in Bezug auf den Zweck der externen Repräsentationen zu reflektieren. Zudem umfasste Repräsentationskompetenz Kenntnisse und das Wissen über die Bedeutung sowie allgemeine Funktionsweise von externen Repräsentationen. Kozma und Russell (2005) beschreiben die reflexiv- meta-kognitiven Facette als Fähigkeit externe Repräsentationen aus erkenntnistheoretischer Perspektive zu reflektieren. Dies

impliziere das Verständnis für die Korrespondenz zwischen Konzepten bzw. Phänomenen und der externen Repräsentation. Ein reflexiver Umgang mit externen Repräsentationen sei zu erkennen, wenn Lernende trotz der engen Verzahnung zwischen externen Repräsentationen und Konzepten/ Phänomenen diese gleichzeitig als zwei differente Einheiten begreifen und Wissen darüber erwerben, dass Merkmale und Eigenschaften einer externen Repräsentation nicht eins zu eins auf das Konzept bzw. Phänomen übertragbar sei und umgekehrt (Kozma & Russell, 2005). Dettweiler (2017) analysierte in einer Interventionsstudie den Einfluss einer Lerneinheit zur Förderung der metakonzeptuellen Repräsentationsfähigkeit auf die Entwicklung des konzeptuellen Verständnis im Themenbereich der Elektrochemie und konnte einen positiven Einfluss des meta-konzeptuellen Wissens über Repräsentationen auf die Lernleistung nachweisen.

4 Konklusion und Forschungsdesiderat

In der Naturwissenschaftsdidaktik werden Modelle im Zusammenhang mit der Erkenntnisgewinnung als erkenntnistheoretisches Werkzeug beschrieben. Im Rahmen dessen werden Modelle als Repräsentationen *von und für etwas* beschrieben, innerhalb derer ihre Abbildungsfunktion und Beschreibung als Merkmalsträger sekundär aufgefasst werden und in den Hintergrund rücken (Giere, 2010; Gouvea & Passmore, 2017; Mahr, 2004; Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010). Demnach bestimmt das Subjekt in einem Modellierprozess eine externe Repräsentation als Modell, indem es die Beziehung zwischen dem Modellobjekt und dem Phänomen aus der Erfahrungswelt herstellt, um Rückschlüsse auf das Phänomen zu ziehen. Modelle in ihrer Rolle als erkenntnistheoretisches Werkzeug werden insbesondere in der Phase der Auswertung, innerhalb derer beobachtete Phänomene gedeutet und erklärt werden, verortet.

Die Betrachtung der Ergebnisse zum Umgang mit Repräsentationen in Modellierprozessen zeigen, dass Lernende Schwierigkeiten bezüglich des Wissens über und des Nutzens der externen Repräsentationen aufweisen. Die Ergebnisse von zahlreichen Studien zu den unterschiedlichen Repräsentationsfähigkeiten zeigen, dass Lernende Defizite in Bezug auf das Entnehmen von Informationen aus externen Repräsentationen sowie die Herstellung von Beziehungen zwischen multiplen externen Repräsentationen haben (Dickmann, Opfermann et al., 2019; Graulich et al., 2019; Kozma & Russell, 2005). Im Zusammenhang mit dem Modellverständnis zeichnet sich wiederholt ab, dass Lernende ein Verständnis von Modellen als Repräsentation *von etwas* aufweisen und weniger Modelle als Repräsentationen *für* bspw. einen erkenntnistheoretischen Zweck auffassen (Gouvea & Passmore, 2017; Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010).

Für die physikalische Modellierungskompetenz konnte Digel (2020) die deklarativen und prozeduralen Facetten mit den entsprechenden Teilfähigkeiten empirisch nachweisen, während sich die Strukturierung der Modellierungskompetenz in fünf Teilfähigkeiten entsprechend der Studie von Terzer (2013) empirisch nicht bestätigen ließ. Basierend auf den Studien zur Struktur der Modellierungskompetenzen sowie der theoretischen Beschreibungen der Repräsentationskompetenz, als basale Grundfähigkeiten für das Modellieren mit Repräsentationen, wird von einer Differenzierung in deklarative und prozedurale Fähigkeiten ausgegangen.

Eine Vielzahl von Evaluationsergebnissen liefern Hinweise, dass der Umgang mit Repräsentationen für einen erkenntnistheoretischen Zweck in Beziehung mit dem bereits bestehenden Fachwissen stehe (Digel, 2020; Kozma & Russell, 2005; Rau, 2017). In diesem Zusammenhang lässt sich in der Forschungsliteratur die Annahme erkennen, dass die Repräsentationskompetenz ein vom Fachwissen unabhängiges Konstrukt darstelle (Ainsworth, 2008a; diSessa, 2004; Rau, 2017). Für die Erfassung der zwei Konstrukte und

der Analyse werden in den Forschungsstudien unterschiedliche Ansätze verfolgt, die sich einerseits hinsichtlich der Auswertungsverfahren, andererseits der Operationalisierung des Konstrukts Fachwissens unterscheiden (Dickmann, Opfermann et al., 2019; Digel, 2020; Terzer, 2013). Aus den Ergebnissen gehen Hinweise hervor, dass es sich bei dem Fachwissen und der Repräsentationsfähigkeiten um zwei separate Konstrukte handele. Bisher liegen wenige Ergebnisse zur systematischen Erfassung der Beziehung zwischen dem Fachwissen sowie der Repräsentationsfähigkeiten vor, die auf probabilistische Verfahren für die Überprüfung der Konstrukte sowie einer Beschränkung auf ein Thema basieren.

In den Naturwissenschaften existieren mehrere externe Repräsentationsformen für den gleichen Referenzbereich, die für unterschiedliche erkenntnistheoretische Zwecke genutzt werden können. Für die Kategorisierung multipler externer Repräsentationen werden Ansätze entwickelt (siehe Abschnitt 2.5). Hierbei stößt die Kategorisierung in abstrakte und konkrete externe Repräsentationen und die hiermit verbundenen Annahmen über den Einfluss auf die Lernenden und die mentale Modellbildung auf große Resonanz in der fachdidaktischen Forschung (Corradi, Elen, Schraepen & Clarebout, 2014; Jaakkola & Veermans, 2015; Lin et al., 2016). Bezüglich des Einflusses von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen auf den Lernprozess liegen inkonsistente Forschungsergebnisse vor, die mitunter auf die unterschiedlichen Definitionen bzw. Kategorisierungsergebnisse sowie der Fach- und Inhaltsspezifität der externen Repräsentationen zurückzuführen sind (Corradi et al., 2014; Jaakkola & Veermans, 2015; Lin et al., 2016). Des Weiteren liefern die inkonsistenten Ergebnisse Hinweise darauf, dass der Umgang mit externen Repräsentationen in Abhängigkeit zu den unterschiedlichen externen Repräsentationen und der ihnen zugrundeliegenden Inhalten variere.

Die dieser Arbeit zugrundeliegende Kategorisierung orientiert sich an Schnotz (2001, 2002) und seinen theoretischen Annahmen zu konkreten und abstrakten externen Repräsentationen und den postulierten Einflüssen auf den Lernprozess sowie der Konstruktion eines mentalen Modells von dem Referenzobjekt. Schnotz differenziert multiple externe Repräsentationen in depiktive (konkrete) und deskriptive (abstrakte) externe Repräsentationen, die anhand ihrer Ähnlichkeitsbeziehungen zum Referenzobjekt entlang eines Abstraktionsgrades eingeteilt werden. Schnotz (2002) postuliert, dass konkrete externe Repräsentationen im Vergleich zu abstrakten insoweit einen Vorteil aufweisen, als dass durch ihre hohe Ähnlichkeit mit dem Referenzobjekt Informationen leichter zu entnehmen und kognitiv zu verarbeiten sind. Bezüglich der mentalen Modellbildung geht der Autor davon aus, dass aufgrund der hohen Ähnlichkeit zwischen depiktiven Repräsentationen und dem Referenzobjekt der Modellierungsprozess mit einem geringeren kognitiven Aufwand verbunden sei und das mentale Modell geringere Inferenzen aufweise als ausgehend von deskriptiven externen Repräsentationen. Ainsworth

(2008b) sowie Waldrip und Prain (2012) beschreiben bezüglich des Einflusses von multiplen externen Repräsentationen ein Forschungsdesiderat, das sich aus der starken Fokussierung von Kognitionen in Forschungsstudien ergibt. Mitunter werde die Lernerperspektive bezüglich der multiplen externen Repräsentationen außer Acht gelassen, um theoretischen Annahmen über multiple externe Repräsentationen evidenzbasiert und lernerorientiert nachzugehen:

...whilst the dominant cognitive science orientation to this research has identified potential cognitive challenges and learning gains, this perspective has tended to ignore 'expressive, perceptual, affective, strategic, metacognitive and rhetorical' aspects of students' responses and understandings, which are all critical factors in how students engage with representations, and learn from this interaction. (Waldrip & Prain, 2012, S. 147)

Folglich liefern die Mehrzahl der Studien wenig Hinweise darauf, wie die Lernenden die theoretisch postulierten Merkmale von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen beurteilen und bezüglich des Lernprozesses sowie der mentalen Modellbildung einschätzen.

Innerhalb der Struktur der Repräsentationskompetenz wird eine zunehmende Komplexität sowie Abhängigkeit angenommen. So beeinflusse bspw. die deklarative Teilfunktion *Wissen über die Eigenschaften und Merkmale von multiplen externen Repräsentationen* die darauffolgenden Fähigkeiten wie die Informationsentnahme, die Translationsfähigkeit oder das intentionsgeleitete Nutzen von multiplen externen Repräsentationen (Ainsworth, 2008a; Rau, 2017). Die Fähigkeit *aus multiplen externen Repräsentationen Informationen zu entnehmen* stellt folglich eine der basalen Grundfähigkeiten dar, um mithilfe von fachspezifischen Lehrmaterialien wie bspw. Chemiebüchern, in denen multiple externe Repräsentationen für die Visualisierung von Inhalten aufgegriffen werden, die für die Bewältigung einer Aufgabe oder eines Problems benötigten Informationen zu generieren.

Für das Erklären der submikroskopischen Ebene und somit im Übergang zwischen der Phase der Beobachtung und Auswertung eines Phänomens kommt der als prozeduralen Teilkompetenz aufgefassten Teilfähigkeit *Nutzen von multiplen externen Repräsentation beim Erklären im modellbasierten Chemieunterricht* eine wichtige Rolle zu.

Oliveira et al. (2015) nähern sich der Operationalisierung der als prozeduralen Teilkompetenz aufgefassten Fähigkeit *Nutzen von multiplen externen Repräsentation beim Erklären im modellbasierten Chemieunterricht* und beschreiben sieben Zwecke, die sie innerhalb erklärender Phasen im Unterrichtsetting erfüllen können. Innerhalb der Zwecke weisen multiple externen Repräsentationen als potenzielle Modellobjekte graduelle Unterschiede bezüglich ihres Modellcharakters auf und lassen sich basierend auf dem Modellierungsprozess und des darin enthaltenen sukzessiven Aufbaus eines Modells entlang des Modellverständnisses hierarchisieren (siehe Abschnitt 3.4.2). Die Autorinnen ver-

weisen auf ein großes Forschungspotential bezüglich der Analyse der prozeduralen Teilkompetenz *Nutzen von multiplen externen Repräsentationen für das Beschreiben und Erklären eines beobachteten Phänomens* (Kozma & Russell, 2005; Oliveira et al., 2015). Derman et al. (2019) konnten anhand einer Studie zeigen, dass die Studierenden auf externe Repräsentationen zurückgreifen, die nur beschränkt aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse über das Atom beinhalten und nicht alle Informationen über das Referenzobjekt visualisieren. Des Weiteren konnten die Autor*innen feststellen, dass zweidimensionale externe Repräsentationen den dreidimensionalen vorgezogen werden. Mit Rückbezug zu der Repräsentationsfähigkeit *externe Repräsentationen für das Beschreiben und Erklären eines beobachteten Phänomens zu nutzen*, bleibt in der Forschungsliteratur die Frage offen, welche externen Repräsentationen der atomaren Ebene die Lernenden für das Erklären der phänomenologischen Ebene auswählen und inwieweit sie diese nutzen. Im Hinblick auf die methodische Umsetzung der Analyse von Modellierungsprozessen und der damit einhergehenden Modell- und Repräsentationskompetenz verweisen Autor*innen wiederholt darauf hin, dass die Konstrukte nicht ausschließlich durch Paper-Pencil-Tests erfassbar sind und es prozessbezogener Forschungsansätze bedarf (Krüger et al., 2018; Louca & Zacharia, 2012; Nicolaou & Constantinou, 2014; Schecker & Parchmann, 2006).

5 Forschungsziele und Forschungsfragen

Ausgehend von der Konklusion und den resultierenden Forschungsdesideraten soll mit dieser Arbeit ein Beitrag zur Analyse von multiplen externen Repräsentationen des atomaren Bereichs in Bezug auf die Fähigkeiten der Informationsentnahme unter Berücksichtigung perzeptueller Lernerfaktoren und des Fachwissens sowie die Fähigkeit des Nutzens von multiplen externen Repräsentationen beim Erklären eines chemischen Phänomens geleistet werden.

Für das Erreichen der Forschungsziele erfolgt die Umsetzung mithilfe von zwei aufeinander aufbauenden Teilprojekten, denen die zwei übergeordneten Forschungsziele zugrunde liegen.

In dem ersten Teilprojekt wird die deklarative Fähigkeit der Informationsentnahme aus konkreten und abstrakten multiplen externen Repräsentationen zum Themenbereich der Säuren und Basen mithilfe eines Paper-Pencil-Tests analysiert. Um den Forschungsdesideraten Rechnung zu tragen, wird zusätzlich die Beurteilung der Lernenden in Bezug auf die theoretisch postulierten Eigenschaften der konkreten und abstrakten multiplen externen Repräsentationen erhoben. Die erste Untersuchung wird dabei durch die folgenden zentralen Forschungsfragen geleitet:

F1: Inwiefern können Lernende Informationen aus konkreten und abstrakten multiplen externen Repräsentationen entnehmen?

F2: Wie werden die theoretisch postulierten Merkmale von ausgewählten konkreten und abstrakten externen Repräsentationen des atomaren Bereichs in Bezug auf die Ähnlichkeitsbeziehung und die Schwierigkeit der Informationsentnahme von Lernenden beurteilt?

F3: Inwiefern steht das Fachwissen mit der Fähigkeit der Informationsentnahme aus multiplen externen Repräsentationen sowie der Beurteilung von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen im Zusammenhang?

Die Einteilung und Operationalisierung von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen erfolgt anhand der theoretischen Annahmen nach Schnotz (2002). Konkrete externe Repräsentationen weisen entsprechend der Theorie nach Schnotz (2002) eine größere Ähnlichkeitsbeziehung mit dem Referenzobjekt auf und visualisieren mehr Informationen über das Referenzobjekt als abstrakte externe Repräsentationen (Gilbert, 2008; Schnotz, 2002). Ausgehend von den theoretischen Annahmen über konkrete und abstrakte externe Repräsentationen wird bezüglich F1 folgende Hypothese aufgestellt.

H1: Die als konkret angenommenen externen Repräsentationen begünstigen die Informationsentnahme aus externen Repräsentationen des atomaren Bereichs.

Da multiple externe Repräsentationen sowie die Repräsentationskompetenzen nachweislich einen hohen Bezug zu den zugrundeliegenden Fachinhalten aufweisen und eine ausgeprägte Repräsentationskompetenz insbesondere bei Experten eines Faches feststellbar ist, können im Hinblick auf Forschungsfrage 3 zwei Hypothesen formuliert werden:

H2: Die Fähigkeit *Informationen aus multiplen externen Repräsentationen zu entnehmen*, lässt sich als separates Konstrukt vom Fachwissen messen, weist jedoch einen großen Zusammenhang mit diesem auf.

H3: Ein ausgeprägtes Fachwissen begünstigt die Fähigkeit *Informationen aus multiplen externen Repräsentationen zu entnehmen*.

Eine Formulierung von verlässlichen Hypothesen bezüglich der Lernerbeurteilung von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen im Hinblick auf die Informationsentnahme kann aufgrund der rudimentären und ambigen Forschungslage nicht vorgenommen werden.

Auf der ersten Untersuchung aufbauend, wird in einer zweiten Untersuchung die Nutzung der bereits in der ersten Untersuchung verwendeten multiplen externen Repräsentationen des atomaren Bereichs beim Erklären eines chemischen Phänomens analysiert. Hierbei wird Bezug zu der in der Repräsentationskompetenz genannten prozeduralen Fähigkeiten *„Nutzen von Repräsentationen für das Beschreiben und Erklären von beobachteten chemischen Phänomenen“* sowie in Ansätzen zu der Fähigkeit *„eine Auswahl einer geeigneten externen Repräsentation zu treffen und zu begründen, wieso sie für den Zweck geeignet ist“* genommen (Ainsworth, 2008a; Kozma & Russell, 2005). Neben der Analyse des prozeduralen Anteils können direkte Zusammenhänge von deklarativem und prozeduralem Wissen aufgestellt werden. Der zweiten Untersuchung liegen folgende Forschungsfragen zugrunde:

F4: Welche externen Repräsentationsformen des atomaren Bereichs wählen die Lernenden für das Erklären eines chemischen Phänomens?

F5: Inwiefern nutzen Lernende externe Repräsentationen des atomaren Bereichs zweckbezogen beim Erklären eines Phänomens im Modellierprozess?

F6: Inwieweit besteht ein Zusammenhang zwischen der gewählten externen Repräsentationsform und der Qualität der Nutzung der externen Repräsentation beim Erklären?

F7: Inwiefern besteht ein Zusammenhang zwischen der prozeduralen Fähigkeit, externe Repräsentationen für das Erklären eines Phänomens zu nutzen, und der deklarativen Fähigkeit, Informationen aus multiplen externen Repräsentationen

zu entnehmen?

Aus der Theorie und den Beschreibungen von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen geht hervor, dass die konkreten externen Repräsentationen eine höhere Ähnlichkeitsbeziehung zu dem Referenzobjekt aufweisen als die abstrakten. Das Erklären eines chemischen Phänomens geht mit der Informationsdarstellung u. a. von dem Referenzobjekt und der Eigenschaften einher, sodass in Bezug auf F4 folgende Hypothese abgeleitet wird:

H4: Für das Erklären des chemischen Phänomens wählen die Lernenden vorzugsweise konkrete externe Repräsentationsformen.

In diesem Zusammenhang lässt sich vermuten, dass insbesondere Lernende mit niedrigen Fähigkeiten konkrete externe Repräsentationen wählen, weil diese mehr Informationen über den Referenzbereich visualisieren.

Die Analyse von F7 basiert neben qualitativen Methoden auf quantitativen, sodass für diese Forschungsfrage eine Hypothese basierend auf den theoretischen Ausführungen zur Repräsentationskompetenz formuliert wird. Der angenommenen Struktur der Repräsentationskompetenz ist die Vermutung immanent, dass prozedurale Repräsentationsfähigkeiten deklarative voraussetzen, sodass hiervon ausgehend folgende Hypothese für F7 aufgestellt wird:

H5: Eine hohe Fähigkeit bezüglich der Informationsentnahme aus multiplen externen Repräsentationen geht mit einer hohen Fähigkeit bezüglich der Nutzung von externen Repräsentationen für das Erklären eines Phänomens einher.

In Anlehnung an die von Oliveira et al. (2015) beschriebenen erklärenden Phasen sowie Zwecke von multiplen externen Repräsentationen in diesen Phasen wird eine modellierungsbasierte Lernumgebung mit primärem Fokus auf das Erklären initiiert und der Zweck multipler externer Repräsentationen in dieser analysiert. Für die Erfassung der Auswahl einer externen Repräsentation wurden den Lernenden in der modellierungsbasierten Situation multiple externe Repräsentationen zur Auswahl bereitgestellt. Für die Analyse der Nutzung externer Repräsentationen beim Erklären werden unterschiedliche Datenquellen herangezogen. Der Analyse der Funktionen multipler externer Repräsentationen stützt sich hierbei auf Prozessdaten.

6 Empirische Untersuchung zur Informationsentnahme und lernerorientierten Merkmalsvalidierung

6.1 Studiendesign

Mit der Untersuchung der ersten Studie wurde das Ziel verfolgt, die ersten drei Forschungsfragen mit den entsprechenden Hypothesen zu beantworten. Fokussiert werden somit die Fähigkeit der Informationsentnahme aus verschiedenen Repräsentationsformen des atomaren Bereichs (F1) sowie ihre Beurteilung durch die Lernenden mithilfe von Indikatoren für die theoretisch postulierten Merkmale von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen (F2). Des Weiteren wird die Beziehung zwischen der Informationsentnahme, der Beurteilung sowie dem zugrundeliegenden Fachwissen herausgestellt (F3).

Für die erste Studie wurde ein Paper-Pencil-Test bestehend aus drei Teilen konzipiert. Dieser umfasste einen Repräsentationstest und ein Semantisches Differential. Der Repräsentationstest wurde entwickelt, um die Fähigkeit aus multiplen externen Repräsentationen Informationen zu entnehmen, zu erfassen und das Semantische Differential, um die Beurteilung der Lernenden in Bezug auf die im Repräsentationstest genutzten

Repräsentationstest	Semantisches Differential	Fachwissenstest
Informationsentnahme aus externen Repräsentationen des atomaren Bereichs	Lernerorientierte Merkmalsvalidierung von konkreten und abstrakten Repräsentationen	Konzeptwissen im Themenbereich Säuren und Basen

Abbildung 12. Übersicht über die Testinstrumente der ersten Studie

externen Repräsentationen des atomaren Bereichs zu erheben. Darüber hinaus enthielt das Testinstrument einen Fachwissenstest. Ziel des dreigliedrigen Paper-Pencil-Test war die Analyse der Beziehungen zwischen a) der Fähigkeit aus multiplen externen Repräsentationen Informationen zu entnehmen, b) eine lernerorientierte Beurteilung der Merkmale von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen und c) dem zugrundeliegenden Fachwissen. Insgesamt orientiert sich die Untersuchung an dem Übergang von der Schule zur Universität, sodass das schulische Wissen vorausgesetzt wird.

Der Schwerpunkt des Fachwissens- und Repräsentationstests liegt auf den durch den Kernlehrplan vorgegebenen Inhalten im Themenbereich der Säuren und Basen (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen [MSB NRW], 2014). Repräsentative Studien über die Entwicklung von Einstellungen zum Chemieunterricht, wie sie vom IPN in Deutschland durchgeführt wurde, zeigen Tendenzen eines zunehmenden Interesses an dem Themenbereich der Säuren und Basen (Gräber, 1992; Gräber & Nentwig, 2002). Folglich wurde für diese Untersuchung auf das Thema der Säuren und Basen zurückgegriffen, da es auf großes Interesse seitens der Lernenden

stößt. Auf der Grundlage einer Schulbuchanalyse erfolgte die Wahl der Repräsentationsformen. Hierzu wurden die in Schulbüchern gängigsten externen Repräsentationen des atomaren Bereichs im Repräsentationstest aufgegriffen, um die Fähigkeiten der Informationsentnahme aus konkreten und abstrakten externen Repräsentationen zu erfassen. Die den Repräsentationsitems zugrundeliegende Inhalte wurden dem Fachwissenstest entlehnt. Die Inhalte von jedem Fachwissensitem wurden mithilfe von zwei externen Repräsentationen visualisiert, sodass zwei ähnliche Items, die sich bezüglich der verwendeten externen Repräsentation, jedoch nicht dem Inhalt unterscheiden, entwickelt wurden. Die Vorgehensweise wurde gewählt, um zu vermeiden, dass die Fähigkeit der Informationsentnahme auf die zugrundeliegende Inhalte zurückzuführen ist. Für die Erfassung der Beurteilung der Teilnehmenden bezüglich der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen und der Eignung für die Informationsentnahme wurde ein Semantisches Differential entwickelt und eingesetzt. Ausgehend von Schnotz' (2002; Schnotz & Lowe) theoretischen Annahmen über konkrete und abstrakte externe Repräsentationen erfolgte eine Operationalisierung ihrer theoretischen Merkmale. Das Semantische Differential enthält die Indikatoren, die in Form von dichotomen Attributen realisiert wurden und anhand derer die Beurteilungen von den Teilnehmenden bezüglich der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen aus dem Repräsentationstest erfasst werden konnten.

Die Datenerhebung basiert auf einer quantitativen Querschnittsstudie, die auf eine Durchführung zu einem Messzeitpunkt an zwei Stichproben zurückzuführen ist (Bortz & Döring, 2013). Sowohl im Wintersemester 2017 als auch 2019 erfolgte in der gleichen Chemievorlesung mithilfe von zwei unterschiedlichen Stichproben die Datenerhebung. Im Rahmen des ersten Teilprojektes erfuhr die zweite Datenerhebung eine Ergänzung um das semantische Differential zur Validierung der Merkmale von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen aus Lernerperspektive, während zu beiden Datenerhebungszeitpunkten der Repräsentations- als auch Fachwissenstest eingesetzt wurden. Zu beiden Erhebungszeitpunkten erfolgte die Bearbeitung des Repräsentationstests vor der Bearbeitung des Fachwissenstests, um zu vermeiden, dass eine Beeinflussung der Informationsentnahme durch eine vorangegangene Bearbeitung des Fachwissenstests stattfand. Durch die wiederholte Datenerhebung lassen sich die Testinstrumente und Ergebnisse durch die zwei Erhebungszyklen validieren.

6.2 Konstruktion der Instrumente

Im Rahmen der ersten Studie wurden drei Testinstrumente entwickelt und im Hinblick auf ihre Güte erprobt. Zu Beginn erfolgte die Entwicklung eines Fachwissenstests und basierend auf diesem die Entwicklung eines Repräsentationstests zur Erfassung der Informationsentnahme. Ausgehend von den theoretischen Annahmen zu konkreten und

abstrakten externen Repräsentationen wird ein Semantisches Differential entwickelt, das Indikatoren für die Merkmale von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen enthält, um eine Validierung der Merkmale aus Lernendensicht vorzunehmen. Mithilfe des Semantischen Differentials sollte die Beurteilung der Proband*innen in Bezug auf die strukturellen Merkmale und Eignung für die Informationsentnahme unterschiedlicher externer Repräsentationen des atomaren Bereichs erfasst werden.

Im Folgenden werden die Testinstrumente und der Entwicklungsprozess wiedergegeben. Hierzu wird im ersten Schritt ein Überblick über die Operationalisierung der Konstrukte gegeben. Im Anschluss daran erfolgt die Darstellung des Konstruktionsprozesses der Items sowie der inhaltlichen als auch statistischen Überprüfung und Revision der Testinstrumente.

6.2.1 Fachwissenstest

Ziel des Fachwissenstests ist die Erfassung des Faktenwissens im Bereich der schulischen Inhalte in Bezug auf das Thema der Säuren und Basen. Für die Erfassung des Inhaltsbereichs über Säuren und Basen anhand objektiver Indikatoren und unter Einhaltung der Inhaltsvalidität wurden die zu erfassenden Inhalte basierend auf den Kernlehrplänen Chemie der Sekundarstufe I und II und Concept-Maps bestimmt (Ross & Munby, 1991). Die Strukturierung und Beschreibung von Wissen im Chemieunterricht erfolgte anhand der Basiskonzepte, die zudem als strukturierende Elemente in den Kerncurricula genutzt werden (Demuth, Ralle & Parchmann, 2005). Der gewählte Inhaltsbereich lässt sich dem Basiskonzept ‚Donator-Akzeptor-Konzept‘ zuordnen und hier weiterhin auf die Fachinhalte der Säure-Base-Reaktion einschränken. Ableitend aus dem Kernlehrplan Chemie sowie den Concept-Maps wurden folglich Items zum Donator, Akzeptor sowie der Übertragungsreaktion formuliert. In Anlehnung an Ross und Munby (1991) wurden bspw. inhaltliche Schwerpunkte wie die Neutralisationsreaktion, die Herstellung von Säuren und Basen und die Dissoziation berücksichtigt, allerdings entsprechend der curricularen Vorgaben die Säure-Base Theorie nach Brønsted und nicht wie aus der Concept-Map hervorgeht, die Säure-Base Theorie nach Arrhenius fokussiert (siehe Abb. 13). Der Fachwissenstest erfuhr jedoch eine Erweiterung um Items zum Arrhenius und Lewis Konzept, da

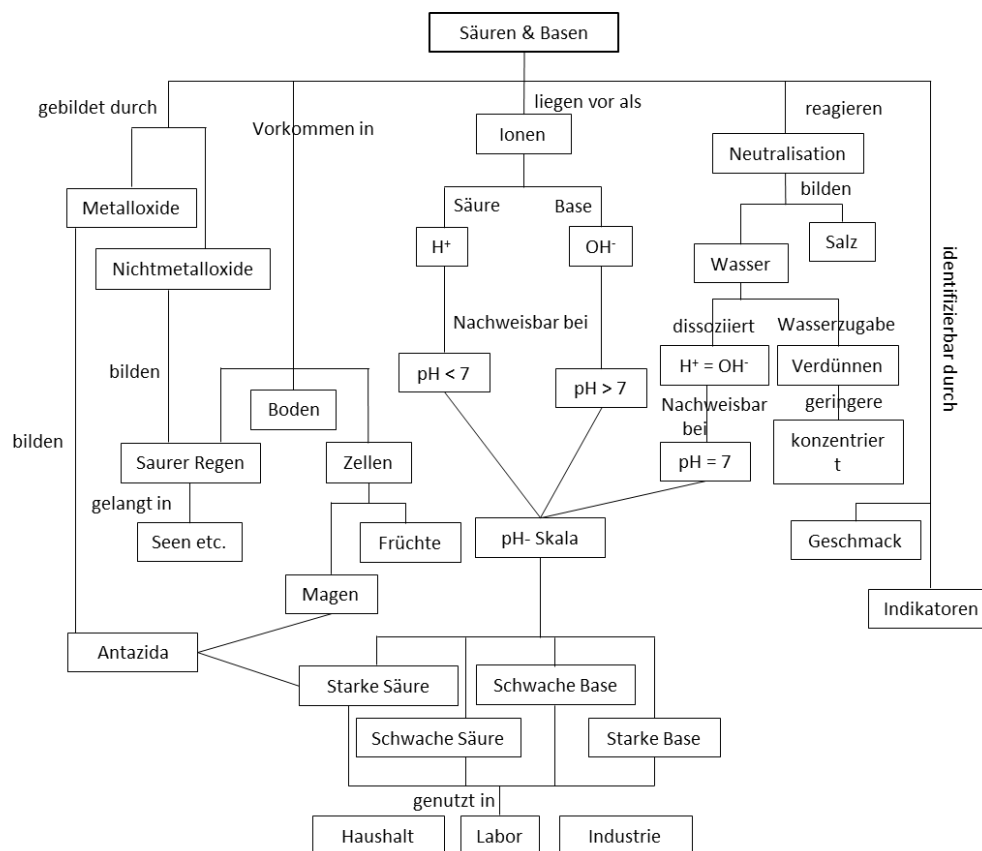


Abbildung 13. Concept-Map zu Säuren und Basen (adaptiert und übersetzt nach Ross und Munby, 1991, S. 13)

diese ebenfalls Gegenstand im Chemieunterricht sein können. Insgesamt wurden zu Beginn der Testentwicklung die gleiche Anzahl von Items zu den Unterthemen Säuren, Basen, Neutralisation und dem pH-Wert angestrebt und entwickelt.

Für die Operationalisierung des zu erfassenden Konstrukts sollten neben dem inhaltlichen Schwerpunkt die kognitiven Bearbeitungsprozesse bzw. Aktivitäten über die Items hinweg gleichgehalten werden (Bühner, 2011). Wie bereits eingangs erwähnt, wird mit dem Testinstrument das Wissen über den Inhaltsbereich erfasst. Für die Taxonomie bzw. Beschreibung der kognitiven Prozesse besteht eine Vielzahl an Ansätzen wie die Taxonomiestufen nach Bloom (1956) und das im Rahmen der Evaluation der Bildungsstandards für die Naturwissenschaften entwickelte ESnaS Modell nach Wellnitz et al. (2012). Haladyna (2004) führt an, dass die angenommenen Taxonomien nicht validiert sind, sodass in Bezug auf die verschiedenen Ansätze zur Beschreibung der kognitiven Prozesse keine einheitliche Handhabung für die Anwendung auf die Testkonstruktion und Itemformate zu erkennen ist (Haladyna, 2004; Ropohl, 2010). Da eine detaillierte Erörterung der Diskussion um die Taxonomien kognitiver Prozesse nicht Gegenstand dieser Arbeit ist, sei auf die vertiefende Literatur hingewiesen (Haladyna, 2004; Walpuski, Kampa, Kauertz & Wellnitz, 2008). Nichtsdestotrotz wird eine Verortung der kognitiven Prozesse insoweit vorgenommen, als dass eine Fokussierung auf das Reproduzieren von Wissen vorgenommen wird und kognitive Nebenaktivitäten bspw. das Vergleichen oder Anwenden ausgeklammert werden. Mithilfe der gleich gehaltenen Itemkonstruktion wird eine Gleichhaltung der kognitiven Aktivitäten angestrebt.

Alle Items sind nach dem *multiple-choice* und *single-select* Format konzipiert worden. Bei diesem Format handelt es sich um ein gebundenes Antwortformat, das vier Antwort-

Eine Base ist nach der Definition von Brønsted ein...

- ☐ ...Protonenakzeptor.
- ☐ ...Protonendonator.
- ☐ ...Elektronenpaarakzeptor.
- ☐ ...Elektronenpaardonator.

Welche Aussage über den pH-Wert trifft zu?

- ☐ Der pH-Wert kann nicht unter 1 sinken.
- ☐ Je stärker eine Säure ist, desto höher ist ihr pH-Wert.
- ☐ Der pH- und der pOH-Wert sind immer gleich.
- ☐ Je stärker eine Säure ist, desto niedriger ist der pH-Wert.

Abbildung 14. Beispielitems aus dem Fachwissenstest

möglichkeiten umfasst, von denen eine richtig ist (Bühner, 2011). Die richtigen Antworten werden hierbei mit 1 und falsche sowie fehlende Antworten mit 0 Punkten in der

Auswertung kodiert. Die Konstruktion des Itemstamms wird auf eine Frage oder einen Satz beschränkt (siehe Abb. 14). Die Items sind teilweise aus bereits entwickelten und evaluierten Tests entlehnt und enthalten Distraktoren, die auf der Grundlage weit verbreiteter Schülervorstellung zum Thema Säure-Base-Reaktion formuliert wurden (Fechner, 2009; Harbach, 2013; Ropohl, 2010). Für eine vollständige Erfassung des Inhaltsbereichs wurden eigene Items ergänzt.

Um den Einfluss sprachlicher Schwierigkeiten und ungünstiger Itemformulierungen gering zu halten bzw. zu vermeiden, werden die von Bühner (2011) ausgeführten Aspekte der Aufgabenkonstruktion berücksichtigt. Sowohl während der Konstruktion als auch Überprüfung der Items werden die Items in Hinblick auf mehrdeutige Begriffe, Sachlichkeit, doppelte Verneinungen und Verallgemeinerungen analysiert (Bühner, 2011). Anzustreben sind präzise und eindeutige Itemformulierungen, die einen geringen Interpretationsraum ermöglichen.

Der Fachwissenstest besteht vor der Revision aus insgesamt 33 Items mit jeweils 8 Items zum Unterthema Säure, Base, pH-Wert und 9 weiteren zur Neutralisation.

6.2.2 Repräsentationstest

6.2.2.1 Schulbuchanalyse

Die Festlegung der in dem Repräsentationstest genutzten multiplen externen Repräsentationen des atomaren Bereichs basiert auf einer explorativen Schulbuchanalyse. Ziel der Schulbuchanalyse war es, die am häufigsten genutzten externen Repräsentationsformen für die Visualisierung des atomaren Bereichs in Schulbüchern im Rahmen des Themas Säure und Basen zu erfassen und somit eine annähernd valide Auswahl der externen Repräsentationen zu treffen. Zudem sollte ein gewisser Bekanntheitsgrad der multiplen externen Repräsentationen gewährleistet werden. Trotz der Orientierung an den Repräsentationen aus den Schulbüchern kann nicht vorausgesetzt werden, dass im Rahmen des Chemieunterrichts alle Repräsentationsformen im vollen Umfang berücksichtigt wurden.

Die ausgewählten Schulbücher wurden in mehreren Zyklen analysiert. Im ersten Zyklus wurden die Formen der externen Repräsentationen auf die folgenden drei Kriterien hin untersucht: 1) die externe Repräsentation weist einen Bezug zu den Inhalten und somit einen instruktionalen Charakter auf 2) die externe Repräsentation ist als unabhängige Einheit von dem Fließtext visualisiert und 3) die externe Repräsentation wird in mindestens der Hälfte der herangezogenen Schulbücher verwendet. Eine ähnliche Vorgehensweise der Schulbuchanalyse lässt sich bei Dickmann (2019) wiederfinden, der diese für die Analyse von Chemielehrbüchern in der universitären Ausbildung nutzt.

Die Kategorisierung der externen Repräsentationen des atomaren Bereichs in *symbolisch* und *ikonisch* basiert auf dem Kategorisierungsansatz nach Schnotz (2002) (siehe Abschnitt 2.4.4). Demnach werden externe Repräsentationen als symbolische Repräsentationen charakterisiert, wenn sie keine strukturellen Ähnlichkeiten mit dem Referenzobjekt aufweisen (z. B. Ionenschreibweise und Summenformel). Ikonische externe Repräsentationen haben strukturelle Gemeinsamkeiten mit dem Referenzobjekt und werden als konkret bezeichnet (z. B. das Kalottenmodell oder die Strukturformel). Eine schematische Übersicht über die Schritte der Schulbuchanalyse ist in Abbildung 17 visualisiert.

Einige Autor*innen systematisieren ikonische Repräsentationen weiterhin in *offene* und *geschlossene* (bzw. raumfüllende) Formen der Moleküldarstellungen (Francoeur, 1997; Gilbert, 2008). Die geschlossenen Formen umfassen externe Repräsentationen, mit denen Moleküle bzw. Atome als raumfüllende Einheiten dargestellt werden und die Bindungen zwischen den Atomen einer Verbindung nicht visualisiert werden (Francoeur, 1997). Innerhalb der offenen Repräsentationen des atomaren Bereichs werden Bindungen explizit z. B. durch Stäbchen (Kugel-Stab-Modell) oder Striche (Strukturformeln) visualisiert (Francoeur, 1997). Die Formen der möglichen externen Repräsentationen des

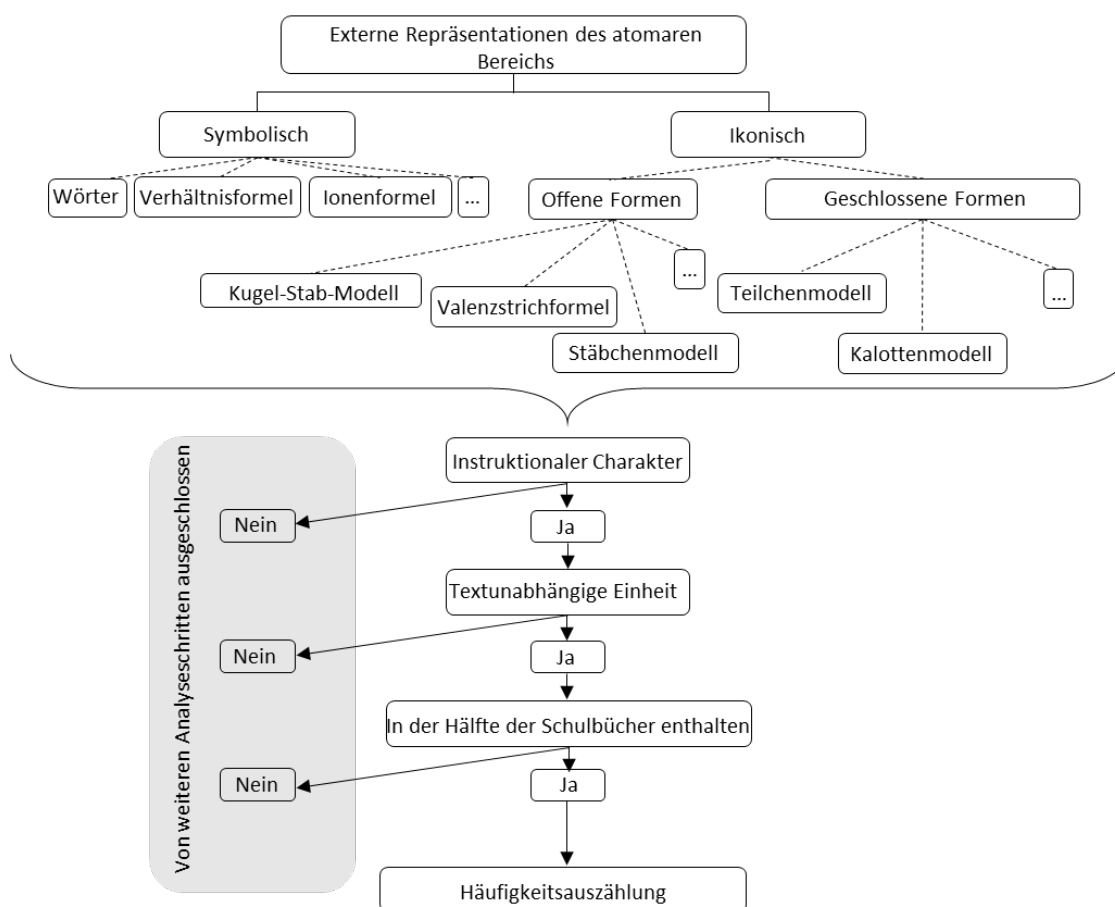


Abbildung 15. Schema zu den Schritten der Schulbuchanalyse

atomaren Bereichs weisen eine weite Spannweite auf (Gilbert, 2008). In der schematischen Übersicht sind einige mögliche externe Repräsentationen exemplarisch enthalten, die aus der Literatur entlehnt sind (Chandrasegaran, Treagust & Mocerino, 2008; Gilbert, 2008; Nerdel, 2017). An dieser Stelle sei erneut darauf hingewiesen, dass sich eine direkte Beobachtung des Atoms und seiner Strukturen direkter Sinneswahrnehmung entziehen und die in den externen Repräsentationen enthaltenen strukturellen Merkmale als modellierte Theorien und Evidenzen über den atomaren Bereich aufgefasst werden.

Bei der Erfüllung der drei Kriterien wurden im zweiten Zyklus die Häufigkeiten der aus dem ersten Zyklus hervorgehenden externen Repräsentationen des atomaren Bereichs ermittelt. Hierbei wurden externe Repräsentationen des atomaren Bereichs, die einer Form zugeordnet werden konnten (z. B. Summenformel) und in einem Zusammenhang bspw. in einer Reaktionsgleichung oder Abbildung gemeinsam vorkamen, einfach gezählt.

Die Anzahl der infrage kommenden Schulbücher wurde basierend auf dem Verzeichnis der zugelassenen Lernmittel für das Fach Chemie vom Ministerium für Schule und Bildung des Landes NRW festgelegt. Ausgehend von den in NRW zugelassenen Chemieschulbüchern erfolgte eine Zufallsstichprobe von sieben Schulbüchern. Folgende Chemiebücher wurden für die Analysen herangezogen: (1) BlickPunkt Chemie 2 (Frühauf & Tegen, 2014), (2) Natur und Technik - Chemie interaktiv (Bolte & Eilks, 2014), (3) Chemie heute: Qualifikationsphase (Schulte-Coerne, Sieve & Walory, 2014), (4) Chemie heute S I Gesamtband (Asselborn, Jäckel, Risch & Sieve, 2013), (5) Duden Chemie, (6) Chemie heute S II Gesamtband, (7) Natur Plus – Gesamtband (Tegen, 2014)

Der Datenkorpus für die Schulbuchanalyse umfasste die in den Schulbüchern enthaltenen Kapitel zum Thema der Säuren und Basen. Die Fokussierung auf die jeweiligen Kapitel liegt darin begründet, dass in Abhängigkeit zu den Inhalten (bzw. Teilbereiche der Chemie) und den relevanten zu visualisierenden Merkmalen des Referenzobjektes, die verwendeten externen Repräsentationen variieren können (Justi & Gilbert, 2002).

Um die Güte der Schulbuchanalyse empirisch zu sichern, wurde die Schulbuchanalyse durch eine zweite Person durchgeführt und die Übereinstimmung anhand der Inter-coder-Reliabilität ermittelt (Mayring, 2010). Die Inter-coder-Reliabilität ist ein Maß für die Übereinstimmung zweier Beobachter bezüglich der Identifizierung der gleichen Ereignisse sowie ihrer Kodierung (Mayring, 2010). Die Ergebnisse des intersubjektiven Übereinstimmungsmaßes können in Form von Prozenten oder mithilfe des gängigen Cohens Kappa Wertes angegeben werden (Mayring, 2010). Entgegen der Vorstellungen, die durch die Bezeichnung Inter-coder-Reliabilität suggeriert werden, wird mit dem Verfahren die Objektivität und nicht die Reliabilität der Datenauswertung ausgedrückt, da die Unabhängigkeit der kodierten Ereignisse von den Personen angegeben wird (Mayring,

2010). Für die Datenauswertung der Schulbücher ergibt sich ein Wert von $\kappa = .95$.

Die Ergebnisse der Schulbuchanalyse sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Insgesamt ließen sich 6 externe Repräsentationen ohne instruktionalen Charakter feststellen, die aus den weiteren Analysen ausgeschlossen wurden. Sowohl das Teilchenmodell als auch das Kugel-Stab-Modell ließen sich lediglich in jeweils einem der Schulbücher im festgesetzten Themenbereich wiederfinden, sodass diese ebenfalls aus der weiteren Analyse ausgeschlossen wurden.

Aus den Ergebnissen der Schulbuchanalyse gehen folgende fünf externe Repräsentationen des atomaren Bereichs hervor, die am häufigsten im Themenbereich der Säuren und Basen in den ausgewählten Schulbüchern verwendet wurden: Wörter (Wortgleichungen), Summenformel, Ionenschreibweisen, Strukturformeln sowie das Kalottenmodell.

Tabelle 6. Ergebnisse der Schulbuchanalyse

Schulbuch	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
Aus der Analyse ausgeschlossene externe Repräsentationen								
Teilchenmodell	-	-	8	-	-	-	-	
Kugel-Stab-Modell	-	-	-	-	-	-	2	
In der Analyse beibehaltene externe Repräsentationen								
	Anzahl der Repräsentationsformen pro Schulbuch (n)						Prozentuale Mittelwerte über alle Bücher hinweg (%)	
Strukturformel	3	-	4	3	15	7	-	8.5
Wörter	14	4	4	4	5	2	23	14.8
Kalottenmodell	9	9	5	8	2	1	2	9.5
Summenformel	12	13	4	-	12	2	15	15.3
Ionenschreibweise	24	11	30	31	51	39	10	51.9
Σ(ER pro Schulbuch)	62	37	47	46	85	51	50	

* ER = externe Repräsentationen

Innerhalb der Formelschreibweisen der Ionen- und Summenformeln werden die Atomsorten mithilfe der Elementsymbole aus dem Periodensystem visualisiert (Nerdel, 2017). Zusätzlich enthalten sie Zahlenwerte, die bspw. das stöchiometrische Verhältnis der Atome (Indexzahlen) und die Anzahl der gesamten Verbindung beschreiben. Während mit der Summenformel die Anzahl der Atomsorten einer Verbindung angegeben werden, werden mit der Ionenschreibweise die dissoziierten Ionen visualisiert. Des Weiteren können mithilfe von Abkürzungen die Phasen eines Stoffes und mithilfe von entsprechenden Symbolen die Ladung einer Verbindung bzw. eines Ions angegeben werden. Beide Formelschreibweisen werden in der Chemie innerhalb von Reaktionsgleichungen verwendet. In den Schulbüchern werden die Ionenschreibweise und Summenformel bspw. für die Beschreibung der Neutralisationsreaktion verwendet.

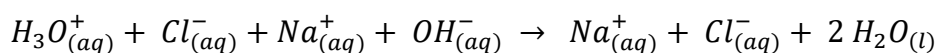
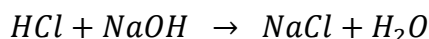


Abbildung 16. Beispiele für die Ionenschreibweise und Summenformel in Schulbüchern (Frühauf & Tegen, 2014, S. 101; Schulte-Coerne et al., 2014, S. 88)

Aus der Schulbuchanalyse geht weiterhin hervor, dass die Repräsentation des atomaren Bereichs bzw. der chemischen Elemente und Verbindungen mithilfe von Wörtern vorgenommen wird. Berücksichtigt wurden in der Analyse die Visualisierungen, die separat vom Fließtext aufzufassen sind. In diesem Zusammenhang werden Wörter im Rahmen von Reaktionsgleichungen oder für die Beschriftungen anderer Visualisierungsformen des atomaren Bereichs verwendet.

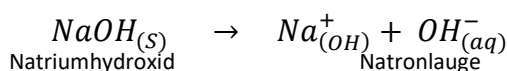


Abbildung 17. Beispiele für die Verwendung von Wörtern als externe Repräsentationen in Schulbüchern (Asselborn et al., 2013, S. 329; Tegen, 2014, S. 296)

Mit Rückbezug zu dem Kategorisierungsansatz nach Schnotz (2002) werden die Summenformel, Ionenschreibweise und Wörter als abstrakte externe Repräsentationen kategorisiert, da sie aus Symbolen bestehen und keine direkte Ähnlichkeitsbeziehung zum Referenzobjekt aufweisen (Schnotz, 2002; Schnotz & Lowe, 2003). Zudem entsprechen die externen Repräsentationen wie bspw. Elementsymbole den Beschreibungen von abstrakten externen Repräsentationen nach Gilbert (2008), der sie aufgrund ihrer Eindimensionalität und dem Symbolcharakter ebenfalls als abstrakt beschreibt (siehe Abschnitt 2.5.3). Basierend auf dem chemischen Dreieck sind die drei Formen der externen Repräsentationen der symbolischen Ebene bzw. der Repräsentationsebene zuzuordnen (Ben-Zvi et al., 1987; Johnstone, 1982, 1993).

Neben diesen drei Formen der externen Repräsentationen des atomaren Bereichs können die Strukturformel und das Kalottenmodell als eine der häufig verwendeten Formen im Themenbereich der Säuren und Basen erfasst werden. Sowohl die Strukturformel als auch das Kalottenmodell stehen mit dem Referenzobjekt durch gemeinsame Strukturmerkmale in Verbindung (siehe Tabelle 7). Die Strukturformel zählt zu der Kategorie der offenen Visualisierungsformen des atomaren Bereichs und kann Informationen über die Verbindungen von Atomen im Molekül sowie ihre räumliche Anordnung liefern

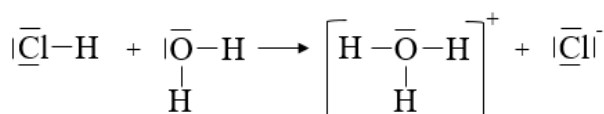


Abbildung 18. Beispiel für die Strukturformel in Schulbüchern (Frühauf & Tegen, 2014, S. 96)

(Francoeur, 1997; Nerdel, 2017). Darüber hinaus werden sowohl die Bindungen als auch die Valenzelektronen mit Strichen visualisiert (Cooper, Grove, Underwood & Klymkowsky, 2010; Nerdel, 2017).

Bezüglich der Strukturformel lässt sich anhand des Kategorisierungsansatzes nach Schnotz (2002) sowohl Charakteristika der symbolischen als auch ikonischen externen Repräsentationen feststellen. Die Elementsymbole lassen sich zweifelsohne den symbolischen und somit abstrakten externen Repräsentationen zuordnen, während die Informationsdarstellungen bezüglich der Bindung und der räumlichen Anordnung der Elemente innerhalb der Verbindung Merkmale der Ikonizität sind (Schnotz, 2002; Schnotz & Lowe, 2003). Die Strukturformel kann somit als Mischform bezeichnet werden, die jedoch durch strukturelle Ähnlichkeiten mit dem Referenzobjekt in Verbindung steht. Schnotz (2002) schlägt für eine deutliche Zuordnung von Mischformen vor, sie der Kategorie zuzuordnen, von denen sie am meisten Merkmale erfüllen. Die Strukturformel wird aufgrund ihrer strukturellen Ähnlichkeitsbeziehung mit dem Referenzobjekt in dieser Arbeit den ikonischen und somit konkreten externen Repräsentationen zugeordnet.

Das Kalottenmodell, das nach den Begründern benannt auch als *Corey-Pauling-Koltun-Model (CPK-Model)* bezeichnet wird, ist den geschlossenen externen Repräsentationen des atomaren Bereichs zuzuordnen (Francoeur, 1997; Koltun, 1965). Mit dem Kalottenmodell werden die Atome der Elemente in unterschiedlichen Farben als Kugelsegmente bzw. Kuppel repräsentiert (z. B. Sauerstoff als rote Kalotte). Insbesondere findet das Kalottenmodell Verwendung für die dreidimensionalen und plastischen Darstellungen von Molekülstrukturen (Francoeur, 1997; Gilbert, 2008). Hierbei werden die Beziehungen zwischen den Atomgrößen, Bindungswinkeln sowie Bindungslängen berücksichtigt und entsprechen den tatsächlichen Relationen (Koltun, 1965). Die Modellierung der Atomgrößen basiert hierbei auf den Van-der-Waals-Radien (Koltun, 1965). In der folgenden Tabelle ist die Ähnlichkeitsbeziehung zwischen den Repräsentationsformen und dem Referenzbereich zusammengefasst. Aus dieser geht hervor, dass aus der externen Repräsentation des Kalottenmodells keine explizite Informationsdarstellung der Bindungen hervorgeht (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7. Ähnlichkeitsbeziehung zwischen externen Repräsentationen und dem atomaren Bereich (Gilbert, 2008, S. 10)

Aspekt	Offene Form				Raumfüllende Form				Orbitalmodelle	
	Kugel-Stab-Modell		Strukturformel		Moleküle		Ionen			
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Atomart	*		*		*		*		*	
Größe	*			*	*		*		*	
Form		*		*	*		*		*	
Bindung	*		*			*		*	*	
Oberfläche		*		*	*		*		*	
Struktur		*		*	*		*			*

+ bedeutet enthalten & - nicht enthalten

In den für die Analyse herangezogenen Schulbüchern wird das Kalottenmodell sowohl in Form von Reaktionsgleichungen als auch als Bestandteil in Abbildungen angeführt. Bezüglich der Visualisierung der Molekülladungen lässt sich kein einheitliches Verfahren feststellen. Die fehlenden einheitlichen Konventionen zur Darstellung der Ladung könnte seitens der Lernenden zu Problemen im Hinblick auf das Verständnis für die Art der Informationsdarstellung führen.

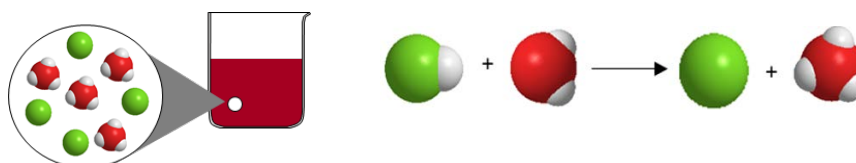


Abbildung 19. Beispiele für das Kalottenmodell in Schulbüchern (Asselborn, Jäckel, Risch & Sieve, 2013, S. 331; Schulte-Coerne, Sieve & Walory, 2014, S. 82)

Trotz der fehlenden Visualisierung von Bindungen weist das Kalottenmodell verglichen mit den zuvor angeführten externen Repräsentationen die höchste Anzahl an strukturellen Ähnlichkeiten mit dem Referenzobjekt und somit den höchsten Grad der Ikonizität auf (Francoeur, 1997; Gilbert, 2008; Koltun, 1965; Schnotz, 2002). Entsprechend der chemischen Ebenen nach Johnstone (1993) handelt es sich bei dem Kalottenmodell und der Strukturformel um externe Repräsentationen der submikroskopischen Ebene.

6.2.2.2 Konstruktion der Items

Der Repräsentationstest wurde ausgehend von der Schulbuchanalyse konzipiert, um die Fähigkeit der Informationsentnahme aus multiplen externen Repräsentationen des atomaren Bereichs zu erheben. Im Hinblick auf die Fähigkeit, Informationen aus externen Repräsentationen zu entnehmen, werden die in Abschnitt 3.5 enthaltenen Beschreibungen zur Repräsentationskompetenz zugrunde gelegt. Demnach umfasst die Fähigkeit, Informationen aus externen Repräsentationen zu entnehmen, Wissen über die ‚Syntax‘ der betreffenden externen Repräsentationen d. h. Wissen über die Art der Kodierung bzw. Verschlüsselung von Informationen durch die Merkmale der externen Repräsentation sowie das Fokussieren aufgabenrelevanter Informationen (Ainsworth, 2008a; Rau, 2017). Dies befähigt die geforderten Informationen zu identifizieren und die relevanten Informationen bzw. Wissen zu entnehmen und zu generieren.

Die mittels der Schulbuchanalyse ermittelten fünf externen Repräsentationsformen wurden im Repräsentationstest genutzt, um basierend auf den Inhalten der Fachwissensitems zum Thema der Säuren, Basen und Neutralisation zu visualisieren. Die Verteilung der externen Repräsentationen auf ein Item des Fachwissenstests unterliegt den Bedingungen, dass zu jedem Unterthema die Anzahl der externen Repräsentationen möglichst gleich gehalten wird und sowohl schwere als auch leichte Items mithilfe der unterschiedlichen Kombinationen zweier externer Repräsentationen dargestellt werden. Die Inhalte

6 Empirische Untersuchung zur Informationsentnahme und lernerorientierten Merkmalsvalidierung

von jedem einzelnen Fachwissensitem wurden mithilfe von zwei externen Repräsentationen visualisiert, um den Einfluss der Inhalte auf die Schwierigkeit eines Repräsentationsitems zu kontrollieren und somit die Vergleichbarkeit der Repräsentationsitems zu gewährleisten.

Tabelle 8. Verteilung der externen Repräsentationen des atomaren Bereichs auf die Fachwissensitems

ER Item	Wortgleichung	Ionenschreibweise	Strukturformel	Kalottenmodell	Summenformel
S6	X	X			
S1(l)		X	X		
S7(s)			X	X	
S3				X	X
S4	X				X
S5(s)	X	X			
S2(l)		X	X		
S8			X	X	
B5(s)				X	X
B3	X				X
B1(l)	X	X			
B8		X	X		
B6			X	X	
B7(s)				X	X
B2(l)	X				X
B4	X	X			
N4(s)		X	X		
N8			X	X	
N6(s)				X	X
N9	X				X
N1(l)	X	X			
N2		X	X		
N7			X	X	
N3				X	X

In der ersten Spalte der Tabelle 8 sind die Namen der ursprünglichen Items aus dem Fachwissenstests bspw. S6 (S = Säure, B = Base, N = Neutralisation) vermerkt und in der ersten Zeile die möglichen Repräsentationen zur Visualisierung des atomaren Bereichs. Die Kreuze signalisieren die Repräsentation, auf dessen Grundlage eine Reaktion für die Iteminhalte des Fachwissenstests visualisiert wird. Die Itemschwierigkeiten sind aus den Pilotierungsergebnissen des Fachwissenstests entlehnt und werden in der Tabelle mit (l) und (s) gekennzeichnet.

Im Hinblick auf die Formulierung des Itemstammes der Repräsentationsitems wird das gleiche Schema zugrunde gelegt. Die Items sind entsprechend des Fachwissenstests im Itemformat *multiple-choice* und *single-select* konzipiert und enthalten Visualisierungen mithilfe der externen Repräsentationen sowie ein gebundenes Antwortformat mit vier möglichen Antworten, von der eine zutrifft. Um zu gewährleisten, dass die Proband*innen zur Lösung des Items die Visualisierung des atomaren Bereichs zur Informationsentnahme nutzen, werden Informationen bezüglich der beteiligten Moleküle bzw. Ionen in

der visualisierten Reaktion nach dem Schema ‚Welche Aussage trifft auf folgende Reaktion zu?‘ oder angefangenen Sätzen in folgender Form ‚In der folgenden Reaktion reagiert...‘ erfragt.

Der hohe Grad an inhaltlicher als auch formaler Gleichhaltung der Fachwissens- und Re-

S2 Eine Säure ist nach der Definition von Brønsted ein...

- ☐ ... Protonenakzeptor.
- ☐ ... Protonendonator.
- ☐ ... Elektronenpaarakzeptor.
- ☐ ... Elektronenpaardonator.

I2S In der folgenden Reaktion reagiert Essigsäure im wässrigen Medium nach Brønsted als...

$$\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$$

- ☐ ... Protonenakzeptor.
- ☐ ... Protonendonator.
- ☐ ... Elektronenpaarakzeptor.
- ☐ ... Elektronenpaardonator.

L2S In der folgenden Reaktion reagiert Essigsäure im wässrigen Medium nach Brønsted als...

- ☐ ... Protonenakzeptor.
- ☐ ... Protonendonator.
- ☐ ... Elektronenpaarakzeptor.
- ☐ ... Elektronenpaardonator.

Abbildung 20. Beispiel für zwei Repräsentationsitems, die auf dem gleichen Fachwissensitem basieren

präsentationsitems wird bewusst angestrebt, um zu vermeiden, dass die Vergleichbarkeit der Konstrukte durch verschiedene Inhalte oder Itemformate beeinflusst bzw. eingeschränkt wird.

Insgesamt werden für den Repräsentationstest 48 Repräsentationsitems konzipiert. Diesbezüglich liegen zu den externen Repräsentationen der Ionenschreibweise, der Strukturformel sowie dem Kalottenmodell jeweils zehn Items vor, während mithilfe der Summenformel und Wortgleichung jeweils neun Items konzipiert wurden. Die Itemnamen aus dem Fachwissenstest werden mit dem Anfangsbuchstaben der jeweiligen externen Repräsentation ergänzt, so weist bspw. der Itemname LS2 darauf hin, dass das Fachwissensitem S2 (S = Unterthema Säure) mithilfe der Lewisformel visualisiert wurde.

6.2.2.3 Konstruktion der Testhefte

Für den Repräsentationstest liegen 48 Items vor, die nach der Methode des *balanced incomplete block designs* zu vier unterschiedlichen Testheften kombiniert werden (Gonzalez & Rutkowski, 2010). Tabelle 12.

Zunächst wird der Itempool auf vier Blöcke à 12 Items verteilt. Die Verteilung der Items

auf die Blöcke erfolgt unter den Prinzipien, dass jeder Block vier Items zu den drei Unterthemen Säuren, Basen und Neutralisation enthält und die Anzahl der verschiedenen externen Repräsentationen annähernd gleich gehalten wird.

Tabelle 9. Verteilung der Repräsentationsitems auf die vier Blöcke

		Block			
		Block I	Block II	Block III	Block IV
Items		LS2	IS2	LS1	IS1
		IS5	WS5	LS7	KS7
		WS4	SS4	KS8	LS8
		SS3	KS3	WS6	IS6
		SB7	KB7	SB5	KB5
		IB1	WB1	WB2	SB2
		KB6	LB6	SB3	WB3
		WB4	IB4	IB8	LB8
		IN4	LN4	SN6	KN6
		KN8	LN8	IN1	WN1
	LN2	IN2	KN3	SN3	
	WN9	SN9	KN5	LN5	
Anzahl ER	2 Kalottenmodell	2 Kalottenmodell	3 Kalottenmodell	3 Kalottenmodell	
	3 Ionengleichung	3 Ionengleichung	2 Ionengleichung	2 Ionengleichung	
	2 Summenformel	2 Summenformel	3 Summenformel	2 Summenformel	
	2 Lewisformel	3 Lewisformel	2 Lewisformel	3 Lewisformel	
	3 Wortgleichung	2 Wortgleichung	2 Wortgleichung	2 Wortgleichung	

Die Gleichhaltung der Itemanzahl in den Testheften in Bezug auf die enthaltenen Unterthemen sowie den Repräsentationsformen wurde angestrebt, um zu vermeiden, dass eine ungleiche Verteilung der Unterthemen oder der Repräsentationsformen einen Einfluss auf den Schwierigkeitsgrad nehmen und zu Unterschieden zwischen den Testheften führt. Des Weiteren beinhaltet kein Block die zwei Repräsentationsitems, die auf das gleiche Item aus dem Fachwissenstest beruhen. Mit der Trennung der zwei Items, die auf dem gleichen Fachwissensitem basieren, sollte sichergestellt werden, dass das Antwortverhalten nicht durch das Bearbeiten eines vorangegangenen Repräsentationsitems, mit den gleichen Inhalten, beeinflusst wird. Zudem fokussiert der Repräsentationstest die Informationsentnahme. Das Zusammenfügen der Repräsentationsitems mit gleichen Inhalten könnte dazu führen, dass die Lernenden die Repräsentationen beim Bearbeiten vergleichen und die Translationsfähigkeit implizit angesprochen wird.

Jeweils zwei Blöcke werden zu einem Testheft zusammengeführt. Hierbei werden nicht alle theoretisch möglichen Kombinationen genutzt, da jeweils zwei der vier Blöcke die gleichen Items aus dem Fachwissenstest, allerdings durch unterschiedliche Repräsentationen visualisiert, beinhalten. Die Zusammenführung der zwei Blöcke, die auf den gleichen Items aus dem Fachwissenstest beruhen (Block I und II und III und IV) zu einem Testheft wird somit vermieden.

Tabelle 10. Kombination der Blöcke zu vier Testheften

	Block			
	1	2	3	4
TH1	X		X	
TH2	X			X
TH3		X	X	
TH4		X		X

Zudem erfolgt die Ergänzung der vier Testhefte durch zwei Ankeritems. Testheft I und II werden mit der Aufgabe N2I aus Block II erweitert, während Testheft III und IV mit der Aufgabe B6K aus dem Block I erweitert werden. Jedes der vier Testhefte enthält somit 25 Repräsentationsitems.

6.2.3 Semantisches Differential

Das Semantische Differential wird mit der Intention entwickelt, basierend auf den theoretischen Ausführungen und Annahmen zu konkreten und abstrakten externen Repräsentationen die Beurteilung der Teilnehmenden bezüglich der in dem Repräsentationstest verwendeten multiplen externen Repräsentationen des atomaren Bereichs zu erfassen. Hierbei wird die Beurteilung der Lernenden im Hinblick auf die strukturellen Merkmale von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen sowie die Eignung, um Informationen auf ihrer Grundlage zu generieren bzw. aus ihnen zu entnehmen, vorgenommen.

Für die Erfassung der Beurteilung der Lernenden in Bezug auf die im Repräsentationstest genutzten multiplen externen Repräsentationen des atomaren Bereichs und ihre Eigenschaften wurde die Methodik des Semantischen Differentials herangezogen. Bei dem Semantischen Differential, auch als Polaritätsprofil oder Eindrucksdifferential bekannt, handelt es sich um ein Skalierungsverfahren nach Osgood (1964), das zur Ermittlung der konnotativen und denotativen Bedeutung von Begriffen oder Einstellungen gegenüber Untersuchungsobjekten eingesetzt wird. Das assoziative Testverfahren besteht aus einer Liste von Antonymen oder konträren umschreibenden Aussagen, die mit einer bipolaren siebenstufigen Likert-Skala verbunden werden und anhand derer die Beurteilung der Proband*innen zu Untersuchungsobjekten ermittelt wird (Gonzales, Tan & Morrow-Howell, 2010; Osgood, 1964). Die Wahl des Verfahrens für die Erfassung der Beurteilung fiel zugunsten des Semantischen Differentials aus, da anhand von Indikatoren in Form gegensätzlicher Attribute die theoretisch postulierten Merkmale von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen operationalisiert und validiert werden können. Mithilfe des Semantischen Differentials kann folglich überprüft werden, ob die Lernenden die postulierten Merkmale von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen theoriekonform beurteilen. Darüber hinaus zeichnet sich anhand der Beurteilung für die Merkmale eine Beziehung bzw. ein Zusammenhang ab, sodass sich für die konkreten

und abstrakten externen Repräsentationen mithilfe der beurteilten Merkmale ein Profil ergibt. Des Weiteren ermöglicht das Verfahren unterschiedliche externe Repräsentationen als zu beurteilenden Stimuli zu variieren und dennoch die gleichen Attribute zur Beurteilung vorzulegen. Durch die Ausrichtung der Verfahren als Skalierungsverfahren wird eine direkte Gegenüberstellung und eine Beschreibung der zu beurteilenden Objekte, in diesem Fall der als konkret und abstrakt angenommenen externen Repräsentationen, möglich.

Aus zahlreichen Evaluationen der Methodik geht eine universell auftretende Dimensionsstruktur des Semantischen Differentials hervor (Bortz & Döring, 2013; Osgood, 1964). Demnach gehen aus einer faktoranalytischen Auswertung eines Semantischen Differentials folgende drei Dimensionen hervor: *Evaluation* (Bewertung z. B. angenehm – unangenehm), *Potency* (Macht/ Potenz, z. B. stark – schwach), *Activity* (Aktivität/ Erregung, z. B. erregend – beruhigend) (Bortz & Döring, 2013; Gonzales et al., 2010; Osgood, 1964). Diese für das Semantische Differential evaluierten und typischen Dimensionen werden auch als EPA-Struktur bezeichnet und treten vorzugsweise bei der affektiven Beurteilung also der Beurteilung konnotativer Eigenschaften auf (Osgood, 1964). Neben den konnotativen Eigenschaften können mithilfe des Semantischen Differentials zusätzlich objektbezogene Eigenschaften, also die denotative Komponente, erfasst werden. Da im Rahmen dieser Arbeit die Beurteilung von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen in Bezug auf die Eignung für die Informationsentnahme sowie die strukturellen Ähnlichkeitsbeziehungen, und somit kognitive und objektbezogene Eigenschaften, erhoben werden, ist davon auszugehen, dass die EPA-Struktur nicht vollständig adressiert wird bzw. sich abzeichnet. Im Fokus stehen die Dimensionen *Evaluation* also die beurteilten Eigenschaften in Bezug auf die Eignung für die Informationsentnahme sowie *Potency* und somit den immanenten objektbezogenen Eigenschaften, die sich auf die Ähnlichkeitsbeziehung mit dem Referenzbereich beschränken.

Theoretisch werden konkrete und abstrakte externe Repräsentationen als sich differenzierende aber ineinander übergreifende Kategorien angenommen, sodass eine Operationalisierung der in Abschnitt 2.4.4 gegebenen Definition vorgenommen und zehn Antonyme als Indikatoren für die Urteilsskala des Semantische Differentials abgeleitet wurden. Ausgehend von den theoretischen Annahmen wurden neben attributiven Adjektiven und umschreibenden Aussagen betreffend die strukturellen Ähnlichkeitsbeziehungen zum Referenzbereich und der zu beurteilenden Schwierigkeit der Informationsentnahme formuliert. In der folgenden Tabelle sind die Indikatoren und die deduktiv gebildeten Kategorien zusammengefasst, die im nachstehenden Abschnitt näher erläutert werden.

Tabelle 11. Indikatoren für die Merkmalsvalidierung von konkreten und abstrakten Repräsentationen

Deduktive Kategorie: Ähnlichkeitsbeziehung	
Indikatoren	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül – geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
	bildet die Form eines Atoms/ Moleküls ab – bildet die Form eines Atoms/ Moleküls nicht ab
Deduktive Kategorie: Schwierigkeit zur Informationsentnahme	
Indikatoren	Original ist gut vorstellbar – Original ist nicht gut vorstellbar
	einfach – kompliziert
	leicht Information zu entnehmen – schwer Informationen zu entnehmen
	verständlich – nicht verständlich
	informativ – nicht informativ
	beschreibend – erklärend

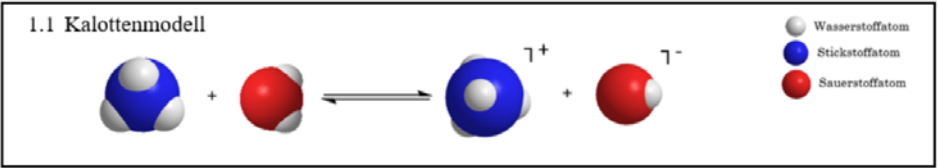
Konkrete externe Repräsentationen grenzen sich laut der theoretischen Beschreibungen durch eine hohe Ähnlichkeitsbeziehung zum Referenzobjekt von den abstrakten externen Repräsentationen ab, die keine direkte Ähnlichkeitsbeziehung zum Referenzobjekt aufweisen. Ausgehend von diesen Annahmen wurden die folgenden deduktiv abgeleiteten Indikatoren in das Semantische Differential aufgenommen: hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül – geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom Molekül, bildet die Form eines Atoms/ Moleküls ab – bildet die Form eines Atoms/ Moleküls nicht ab. Im Zusammenhang mit den mentalen Modellen postuliert Schnotz (2001), dass die Modellkonstruktion ausgehend von abstrakten externen Repräsentationen zu einer verzerrten Abbildung des Referenzobjektes im mentalen Modell führen kann und zunächst in eine konkrete mentale Form überführt werde. Im Gegensatz dazu fordere die Verarbeitung konkreter externer Repräsentationen lediglich die Überführung in eine analoge Form und bilde das Referenzobjekt detaillierter ab. Basierend auf den Annahmen wurden Merkmale aufgenommen, die die Vorstellbarkeit des Referenzobjektes ausgehend von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen beinhaltet (siehe Tab. 11): Original ist gut vorstellbar – Original ist nicht gut vorstellbar, einfach – kompliziert. Für die Erfassung der beurteilten Informationsentnahme aus konkreten und abstrakten externen Repräsentationen wurden die theoretischen Beschreibungen berücksichtigt, die implizieren, dass Informationen aus konkreten externen Repräsentationen direkt abgelesen werden können und diese vollständige Informationen über spezifische Aspekte des Referenzobjekts beinhalten, wodurch ihnen eine größere Ausdrucksmöglichkeit zugeschrieben werde. Dahingegen werden durch abstrakte externe Repräsentationen nur ein Teilausschnitt dieser Informationen dargestellt. Durch das Wegfallen einiger (aufgabenrelevanter) Informationen repräsentieren die konkreten externen Repräsentationen

laut Schnotz (2001) dennoch das Referenzobjekt und erlauben Rückschlüsse wohingegen abstrakte externe Repräsentationen hierdurch ihre Repräsentationsfunktion gänzlich verlieren. Für die Merkmalsvalidierung wurden dementsprechend weitere Indikatoren für die Kategorie der Informationsentnahme abgeleitet (siehe Tab. 11).

Sowohl Schnotz (2001) als auch Gilbert (2004) postulieren, dass konkrete externe Repräsentationen mehr Informationen enthalten, die jedoch nicht alle für das Bewältigen einer Aufgabe relevant sein können. Insbesondere Lernende mit geringen Fähigkeiten falle die Selektion relevanter Informationen insbesondere aus den konkreten externen Repräsentationen schwer, sodass von den aufgabenirrelevanten Informationen eine ablenkende Wirkung ausgehe. Hiervon ausgehend werden die dichotomen Paraphrasierungen enthält irrelevante Informationen – enthält nur die wichtigsten Informationen aufgenommen. Zusätzlich wird die Bekanntheit der multiplen externen Repräsentationen durch die Merkmale bekannt – unbekannt berücksichtigt, da das Wissen über die externen Repräsentationen und Entschlüsselung der ‚Syntax‘ die Lernerperspektive und Beurteilung beeinflussen können.

Statt einer siebenstufigen wird eine sechsstufige bipolare Likert-Skala genutzt. Folgende Abbildung enthält einen exemplarischen Ausschnitt aus dem entwickelten Semantischen Differential zur Verdeutlichung des Prinzips, nach dem das Testinstrument entwickelt wird.

1.1 Kalottenmodell



Wasserstoffatom
Stickstoffatom
Sauerstoffatom

leicht Informationen zu entnehmen ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ schwer Informationen zu entnehmen

geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül

enthält nur die wichtigsten Informationen ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ enthält überflüssige Informationen

Abbildung 21. Exemplarische Items zur lernerorientierten Merkmalsvalidierung von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen

Die Merkmalszuordnung bezüglich der fünf im Repräsentationstest genutzten externen Repräsentationsformen des atomaren Bereichs werden hierbei unabhängig voneinander mithilfe von separaten Items erfasst. Hierfür wird zu Beginn die zu beurteilende externe Repräsentationsform als Stimuli präsentiert. Insgesamt wird pro externe Repräsentationsform des atomaren Bereichs die Items des Semantischen Differentials anhand von drei Beispielen eingesetzt. Diesbezüglich werden die durch die externen Repräsentationen zu visualisierenden Inhalte basierend auf den folgenden drei Reaktionen variiert: Reaktion von Ammoniak mit Wasser, Reaktion von Natronlauge mit Salzsäure sowie der Reaktion von Natriumhydrogencarbonat und Salzsäure. Die wiederholte Erfassung der Merkmalszuordnung anhand von drei Beispielen hat zur Folge, dass im Sinne eines

psychometrisch tragbaren Testinstruments jedes Merkmal mithilfe von drei Beispielen gemessen wird. Des Weiteren ermöglicht das wiederholte Messen der Beurteilung anhand variierender Inhalte die Analyse über den Zusammenhang zwischen dem Urteil über die externe Repräsentation und den durch sie zu visualisierenden Inhalten.

Somit umfasst das Testinstrument insgesamt 15 Mal die Items des Semantischen Differentials zur Erfassung der Beurteilung der fünf externen Repräsentationsformen des atomaren Bereichs (fünf externe Repräsentationsformen à drei Inhalte).

6.3 Stichprobenbeschreibung

Für die Studie wurde eine Stichprobe angestrebt, die eine möglichst hohe Heterogenität in Bezug auf das chemische Fachwissen abbildet. Zudem sollte die Stichprobe im Rahmen des schulischen Chemieunterrichts Erfahrungen bzw. Wissen zum Themenbereich der Säuren und Basen erlangt haben und die externen Repräsentationen des atomaren Bereichs nicht gänzlich unbekannt sein. Aufgrund der Kriterien wurde eine allgemeine Chemievorlesung ausgewählt, die in unterschiedlichen Studiengängen integriert ist und laut Studienordnungen im ersten Semester absolviert wird. Um Einflüsse durch die Vorlesungsinhalte zu vermeiden, wurde die Erhebung in der dritten Vorlesungswoche durchgeführt und somit bevor das Thema der Säuren und Basen als Vorlesungsinhalte aufgegriffen wurde. Man kann daher davon ausgehen, dass das Vorwissen der Teilnehmenden auf die schulischen Chemiekurse zurückzuführen ist.

An der Untersuchung nahmen insgesamt 317 Studierende der Universität Paderborn teil, die im Rahmen der Vorlesung ‚Allgemeine Chemie‘ in den Wintersemestern 2017/2018 und 2019/2020 rekrutiert wurden. Innerhalb der Vorlesung werden grundlegende Inhalte für chemiebezogene Studiengänge vermittelt und ist laut der Studienordnungen Chemie Bachelor of Science, Lehramtsstudiengänge etc. im ersten Semester der Bachelorstudiengänge zu verorten. Die Teilnahme erfolgte auf freiwilliger Basis und unter anonymisierten Bedingungen, sodass die Teilnehmenden zu Beginn einen Code nach einem vorgegebenen Schema generieren, um die einzelnen Testteile eines Testsets zusammenführen zu können.

Die Teilnehmenden wurden aus den statistischen Analysen ausgeschlossen, wenn ein unvollständiges Testset vorlag. Dies kann zum einen darauf zurückzuführen sein, dass aufgrund fehlender oder falscher Codes die Testteile einer Person nicht zusammengeführt werden konnten, zum anderen auf den vorzeitigen Abbruch der Teilnahme. Darüber hinaus erfolgte ein Ausschluss der Teilnehmenden, die auf der Grundlage von den ermittelten Personenparametern im Fachwissenstest als Ausreißer identifiziert wurden. Als Ausreißer gelten alle Teilnehmenden, deren Standardabweichungswert des Personenparameters $SD > 2.5$ entspricht (Field, 2005). Im Rahmen der Stichprobe aus dem Wintersemester 2017/2018 nahmen zwei Auslandsstudierende teil, die aufgrund sprachlicher Mängel aus der Analyse ausgeschlossen wurden und in der drop-out Quote unter ‚andere Gründen‘ aufgeführt sind.

Tabelle 12. Stichprobenumfang und drop-out Quote der ersten Studie

Jahr	Ausgangsstichprobe <i>N</i>	Drop-out			Endgültige Stichprobe <i>N</i> (%)
		Unvollständiges Testset <i>n</i> (%)	Ausreißer <i>n</i> (%)	Andere <i>n</i> (%)	
2017	145	7	6	2	130
2019	172	4	4	-	164
Σ	317	13 (3.5)	10 (3.2)	2 (0.6)	294 (92.7)

Insgesamt stehen für die endgültige Auswertung 294 Teilnehmende zur Verfügung, wobei 130 auf die Datenerhebung im Wintersemester 2017/18 und 164 im Wintersemester 2019/ 2020 zurückzuführen sind.

Das Durchschnittsalter der Teilnehmenden lag bei $M = 20.0$ ($SD = 2.65$) in einer Spannweite von $17 \leq M \leq 35$ Jahren. Mit 55.4 % gab über die Hälfte der Teilnehmenden ihr Geschlecht mit männlich an, 42.9 % mit weiblich und 1.4 % gaben ihr Geschlecht mit divers an.

Neben diesen allgemeinen Daten wurden Informationen bezüglich der schulischen Chemiefahrungen sowie der Studiendauer und dem Studiengang erhoben.

Die Studiendauer wurde in Form der Hochschul- und Fachsemester erhoben. Demnach befanden sich die Teilnehmenden durchschnittlich im $M = 1.77$ ($SD = 1.98$) Hochschulssemester und im $M = 1.3$ ($SD = 1.11$) Fachsemester. Der prozentuale Anteil der Teilnehmenden in den Studiengängen ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 13. Übersicht über die Studiengänge der Stichprobe

Studiengang	<i>N</i>	%
Chemie BSc.	69	23.5
Ernährungslehre B.Ed. GyGe	54	18.4
Chemie B.Ed. GyGe	47	16.0
Physik (Variante: Naturwissenschaften/ Technik) BSc.	47	16.0
CIW BSc.	28	9.5
Chemie B.Ed. HRSGe	21	7.1
Chemie B.Ed. BK	11	3.7
Ernährungslehre B.Ed. BK	11	3.7
Informatik (Nebenfach Chemie) BSc.	3	1.0
Keine Angabe	3	1.0
Σ	294	(100)

BSc. = Bachelor of Science, B.Ed. = Bachelor of Education

Die Belegung des Faches Chemie in der Schule wurde anhand von drei Optionen ermittelt. Diesbezüglich konnten die Teilnehmenden angeben, ob sie schulformunabhängig nur bis zum Ende der Sekundarstufe I Chemieunterricht hatten oder im Sekundarbereich II Chemie als Grund- oder Leistungskurs. 38.4 % der Teilnehmenden gaben an, dass sie einen Chemie Grundkurs, 21.4 % einen Leistungskurs und 34.7 % nur bis zum Ende der Sek I belegt haben. Im Hinblick auf die schulischen Chemiefahrungen machten 5.4 % keine Angaben.

6.4 Probabilistische Testtheorie

Da nicht alle Proband*innen den gesamten Itempool des Repräsentationstests zur Bearbeitung erhielten, besteht die Notwendigkeit für die Datenauswertung und Erfassung der Konstrukte neben der klassischen Testtheorie die probabilistische Testtheorie heranzuziehen. Für die Vergleichbarkeit der zu erfassenden Konstrukte *Informationsentnahme aus multiplen externen Repräsentationen* und *Fachwissen* wird der Fachwissentest ebenfalls mit der probabilistischen Testtheorie ausgewertet.

Darüber hinaus eignet sich die probabilistische Testtheorie insbesondere für die Entwicklung und Validierung von Testinstrumenten zur Erfassung von theoretisch angenommenen Fähigkeiten. Fähigkeiten werden theoretisch als latente Konstrukte beschrieben (siehe Abschnitt 3.4), die operationalisiert werden und mithilfe von Indikatoren erfasst werden können, was konform mit den theoretischen Annahmen der probabilistischen Testtheorie ist. Mithilfe unterschiedlicher Analysen lässt sich das Testinstrument im Hinblick auf psychometrische Qualität und die Güte überprüfen (Neumann, 2014). Des Weiteren kann ermittelt werden, inwiefern die zwei eingesetzten Testinstrumente die angenommenen zwei Fähigkeiten abbilden.

Im Gegensatz zur klassischen Testtheorie wird in der probabilistischen Testtheorie, *Item-Response-Theory (IRT)*, das Antwortverhalten nicht als (messfehlerbehafteter) Ausprägungsgrad eines Merkmals angesehen, sondern das zu untersuchende Merkmal als latentes Konstrukt aufgefasst. Mithilfe von manifesten Merkmalen (Antwortverhalten) als Indikatoren wird auf das latente Konstrukt geschlossen bzw. der Ausprägungsgrad des latenten Konstrukts geschätzt (Bond & Fox, 2007; Boone, Staver & Yale, 2014; Bortz & Döring, 2013). Die IRT basiert somit auf einer probabilistischen Beziehung zwischen geschätzten Personen- und Itemparametern, um die Lösungswahrscheinlichkeit für ein Item in Abhängigkeit zu Personenfähigkeiten ausdrücken zu können. Moosbrugger und Kelava (2012) betonen, dass die probabilistische Testtheorie nicht als eine mit der klassischen Testtheorie unvereinbare Alternative aufzufassen sei, sondern viel mehr eine Ergänzung darstelle.

Mathematisch wird der Zusammenhang zwischen den Personenparametern und Aufgabenlösungswahrscheinlichkeit durch eine logistische Funktion ausgedrückt, die besagt, dass die Wahrscheinlichkeit ein Item richtig zu lösen mit zunehmender Personenfähigkeit steigt (Bond & Fox, 2007; Moosbrugger & Kelava, 2012; Neumann, 2014). Ein häufig verwendetes Testmodell ist das dichotome logistische Rasch-Modell, das in dieser Arbeit ebenfalls genutzt wird. Im Folgenden werden die für diese Arbeit relevanten Aspekte des Rasch-Modells fokussiert. Besonderes Interesse gilt der:

1. Itemfit-Statistik: Passung zwischen Item und dem zugrundeliegenden Modell
2. Personenfit-Statistik: Passung zwischen Personen- und Itemparametern

3. Modellfit-Statistik: Passung zwischen dem Datensatz und den angenommenen Modellen

Eine ausführliche Einführungen in die probabilistische Testtheorie und das Raschmodell lassen sich bei Boone et al. (2014), Bond und Fox (2007), Rost (2004) und Moosbrugger und Kelava (2012) wiederfinden. Für die Datenanalyse auf der Grundlage des Rasch-Modells wurde in dieser Arbeit das Programm ConQuest® verwendet.

6.4.1 Rasch-Modell

Das von dem Mathematiker Georg Rasch entwickelte logistische Modell findet Anwendung für die Analyse von Testinstrumenten mit dichotomen Antwortformaten. Allgemein lässt es sich als 1-parametrisches logistisches Modell für die Lösungswahrscheinlichkeit dichotomer Items beschreiben, das folgende Parameter einbezieht: die Fähigkeit (θ_s) einer Person s (θ_s = Personenparameter) und die Schwierigkeit (δ_i) ein Item (i) zu lösen (Itemparameter = δ_i). Dem Rasch-Modell liegt die Annahme zugrunde, dass eine Person mit einer Fähigkeit größer als die Itemschwierigkeit das Item mit einer hohen Wahrscheinlichkeit, während eine Person mit einer Fähigkeit, die kleiner als die Itemschwierigkeit ist, das Item mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit lösen wird (Bortz & Döring, 2013; Moosbrugger & Kelava, 2012; Rost, 2004). Die Wahrscheinlichkeit ($P(X_{is}=1)$) ein Item zu lösen, lässt sich somit über die Differenz $\theta_s - \delta_i$ definieren.

Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person s mit der Fähigkeit θ_s ein Item i mit einer gewissen Schwierigkeit δ_i richtig löst, wird über die dem Rasch-Modell zugrundeliegenden Gleichung bestimmt:

$$P(X_{is}=1)=\frac{\exp(\theta_s-\delta_i)}{1+\exp(\theta_s-\delta_i)}$$

Formel 1. Modellgleichung des Rasch-Modells

Dieser Zusammenhang lässt sich mithilfe einer Itemcharakteristik in Form logistischer Funktion (*Item Characteristic Curve ICC*) visualisieren. Für alle Items, die dem Modell entsprechen, wird die logistische Funktion angenommen, sodass sie den gleichen Funktionsverlauf aufweisen und sich lediglich bezüglich der Itemschwierigkeit unterscheiden (Bond & Fox, 2007; Embretson & Reise, 2000). Die Bezeichnung 1-parametrisches Raschmodell ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass sie die ICCs der Items lediglich bezüglich der Itemparameter unterscheiden und sich in Abhängigkeit zu der Itemschwierigkeit auf der x-Achse verschieben (Bond & Fox, 2007).

Auf der y-Achse ist die Lösungswahrscheinlichkeit aufgetragen während die Itemschwierigkeit und Personenfähigkeit auf der x-Achse skaliert werden. Die Skalierung der Personen- als auch Itemparameter erfolgt auf einer gemeinsamen Logits-Skala, sodass sie in direkter Beziehung zueinander gebracht und in einer Einheit angegeben werden. Logitswerte, die sich im negativen Bereich befinden signalisieren ein leichtes Item und eine

niedrige Personenfähigkeit, während positive Logitswerte auf eine hohe Itemschwierigkeit und Personenfähigkeiten deuten.

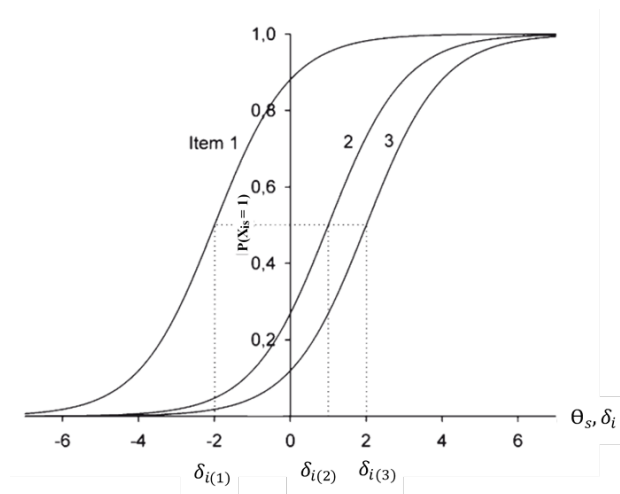


Abbildung 22. ICCs dreier Items mit unterschiedlichen Itemschwierigkeiten (adaptiert von Moosbrugger & Kelava, 2012, S. 238)

Beide Parameter können theoretisch einen unendlichen Wert annehmen. In dem o-givenförmigen Kurvenverlauf ist die psychologisch plausible Annahme immanent, dass die Linearität zwischen Lösungswahrscheinlichkeit und latenter Variable im mittleren Bereich des Kurvenverlaufs vorzufinden ist, während sich die Kurve asymptotisch im oberen Bereich der 1 und im unteren der 0 nähert (Bortz & Döring, 2013; Embretson & Reise, 2000). Unter Einbezug der angeführten Gleichung lässt sich die Lösungswahrscheinlichkeit der einzelnen Items bestimmen. Nehmen Personen- und Itemschwierigkeit den gleichen Wert an, resultiert eine Differenz der beiden unabhängigen Variablen von 0 und für das Item errechnet sich eine 50%-ige Wahrscheinlichkeit, mit der das Item richtig gelöst wird, was der Ratewahrscheinlichkeit entspricht:

$$(\theta_v = \delta_i)$$

$$P(X_{is}=1/\theta_s, \delta_i) = \frac{\exp(0)}{1+\exp(0)} = 0,5$$

Gleichzeitig lässt sich berechnen, dass mit zunehmendem Wert, mit dem die Personenfähigkeit die Schwierigkeit des Items übersteigt, die Wahrscheinlichkeit, dass die Person das Item richtig löst, höher ist. Wird beispielsweise für eine Person ein Wert für die Fähigkeit von $\theta_s = 2$ und eine Schwierigkeit des Items von $\delta_i = -1$ angenommen so ergibt sich folgende Wahrscheinlichkeit, dass das Item richtig gelöst wird:

$$(\theta_s > \delta_i)$$

$$P(X_{is}=1/\theta_s, \delta_i) = \frac{\exp(2-(-1))}{1+\exp(2-(-1))} = 0,95$$

Die Kurven, die tendenziell weiter rechts auf der x-Achse liegen, entsprechen einem schwierigeren Item, während eine links liegende eine geringe Schwierigkeit des Items signalisiert. Der mit der Fähigkeitsausprägung auf einer Skala liegende Itemparameter beschreibt die benötigte Fähigkeitsausprägung, um das Item mit einer 50% Wahrscheinlichkeit zu lösen.

Für die Gültigkeit des Rasch-Modells wird die lokale stochastische Unabhängigkeit vorausgesetzt. Demnach darf die Lösewahrscheinlichkeit eines Items nicht von einem anderen Item in Abhängigkeit stehen, sodass die Daten zunächst auf Raschkonformität überprüft werden sollten (Moosbrugger & Kelava, 2012).

Neben der stochastischen Unabhängigkeit liegt die Stärke des Rasch-Modells in der ‚spezifischen Objektivität‘ über die die Eignung des Modells für die sogenannten Multi-Matrix-Designs begründet ist, innerhalb dessen die Teilnehmenden nicht die gleichen Items bearbeiten. Die Personenfähigkeiten werden hierbei nicht ausgehend von spezifischen Items errechnet, sondern über die Gesamtanzahl der Items, die sie zur Bearbeitung erhielten (Neumann, 2014). Folglich wird auch die Differenz zwischen der Fähigkeiten von Person s und Person p über die Anzahl der Items, die Person s (N_{sp}) und Person p (N_{ps}) erhielten, errechnet und nicht über spezifische Items (Moosbrugger & Kelava, 2012; Neumann, 2014):

$$\theta_s - \theta_p = \log N_{sp} - \log N_{ps}$$

Auch die spezifische Objektivität ist bei Verletzungen der Raschkonformität von Daten und Stichproben nicht mehr gegeben, sodass auch hier die Passung der Items- und Personenparameter mit dem Rasch-Modell eine Überprüfung voraussetzen.

Da in dieser Studie die Konzipierung des Repräsentationstests entsprechend des Multi-Matrix-Designs erfolgt, werden die Daten mit dem Rasch-Modell ausgewertet und zu Beginn eine Überprüfung der Daten und Items vorgenommen. Hierfür werden im Folgenden ein Überblick über die in dieser Arbeit genutzten Kennwerte gegeben.

6.4.2 Kennwerte der Modellpassung

Im Rahmen des Rasch-Modells sollte zunächst überprüft werden, inwieweit ein Item das latente Konstrukt misst und somit eine Passung mit dem Rasch-Modell aufweist. Hierfür wird die Itemfit-Statistik für jedes einzelne Item mit Hilfe des *Infit-Mean-Square Wertes* (*wMNSQ*), der auch als *Weighted-Means-Square-Wert* bezeichnet wird, und des standardisierten *t-Wertes* beurteilt (Boone et al., 2014).

Mit den Prüfgrößen wird die Übereinstimmung zwischen dem tatsächlichen Verlauf der Itemschwierigkeit (ICC) mit dem erwarteten Verlauf angegeben (Moosbrugger & Kelava, 2012; Wilson, 2005). Der Erwartungswert des *wMNSQ-Wertes* liegt bei 1 und gibt eine

perfekte Übereinstimmung an (Wilson, 2005). Liegt der *wMNSQ* Wert über 1 bedeutet dies, dass mehr Varianz zwischen dem empirisch errechneten und dem Modell zugrundeliegenden Verlauf festzustellen ist. Ein Wert kleiner 1 deutet auf eine geringere Varianz hin.

Im Hinblick auf den vorgeschlagenen Grenzwert für den *wMNSQ*-Wert besteht eine andauernde Diskussion in der Literatur und eine Uneinigkeit darüber, ob die Grenzen in Abhängigkeit zur Stichprobe gesetzt werden sollten (Wang & Chen, 2016; Wilson, 2005). Zur Auswertung der vorliegenden Studie wird die stichprobengrößenunabhängige Spannweite von .75-1.33 nach Wilson (2005) verwendet.

Der *t*-Wert ist standardisiert und annähernd normalverteilt und wird durch eine Transformation des *Infit-Mean Squares* für jedes Item errechnet und ist gleichbedeutend zu der Trennschärfe eines Items (Rost, 2004). Die *t*-Statistik wird als ein statistischer Signifikanztest angesehen und gilt als weiteres Gütekriterium des Itemfits. Mit dem *t*-Wert wird die statistisch signifikante Abweichung bzw. Passung zwischen erwarteten und beobachteten Häufigkeiten angegeben. Hierbei liegt der Erwartungswert bei 0 bei einer angenommenen Standardabweichung von 1. Unter Einbezug der Signifikanzniveaus sollte der *t*-Werte nicht außerhalb der Spanne von $-1.96 \leq t \leq 1.96$ liegen, da andernfalls das Item signifikant vom Modell abweicht. Die gerundeten Grenzwerte von $-2 \leq t \leq 2$ werden in der Literatur zur Vereinfachung vorgeschlagen und auch im Rahmen der Testauswertung genutzt (Bond & Fox, 2007; Boone et al., 2014; Wilson, 2005). Ein *t*-Wert von $t > 2$ weist auf einen *Underfit* des Items hin während $t < -2$ einen *Overfit* beschreibt. Ein Item, das einen *Overfit* aufweist, bildet demnach das Konstrukt zu gut ab und wird laut Literatur akzeptiert während ein *Underfit* auf einen schlechten Beitrag zur Qualität des Rasch-Modells hinweist und überdacht werden sollte.

Zur Identifikation ungeeigneter bzw. nicht modellkonformer Items sollten beide Werte geprüft werden und ein Item einer Überarbeitung unterzogen werden bzw. überdacht werden, wenn sowohl der *t*- als auch *MNSQ*- Wert keine ausreichenden Werte erreichen (Neumann, 2014).

Eine weitere Prüfgröße, die für die Beurteilung der Passung bzw. den Ausschluss eines Items zusätzlich herangezogen werden kann, ist die klassische Trennschärfe, die ein Kriterium der klassischen Testtheorie ist. Basierend auf dem Trennschärfewert eines Items lässt sich beschreiben, inwieweit mithilfe des Items die niedrigen und hohen Fähigkeiten differenziert gemessen werden (Wilson, 2005). Ein hoher positiver Trennschärfekoeffizient ist diesbezüglich erstrebenswert. Bortz und Döring (2013) und Bühner (2011) schlagen einen Mindestwert von .3 für eine mittelmäßige und unbedenkliche Trennschärfe vor. Für den Endgültigen Ausschluss eines Items sollte eine inhaltsvalide Überprüfung vorgenommen werden und die Spannbreite der Itemschwierigkeiten in Betracht gezogen werden. Zu Bedenken sei, dass die Trennschärfe von der Itemschwierigkeit beein-

flusst wird und bspw. eine hohe Itemschwierigkeit einen niedrigen Trennschärfekoeffizienten bedingt (Bortz & Döring, 2013).

6.4.3 Testgütekriterien

Anhand zweier Werte lässt sich mithilfe des Rasch-Modells die Reliabilität der Messung als Teil der Modellgüte feststellen. Das Gütekriterium der Reliabilität wird als die Messgenauigkeit eines standardisierten Testinstruments definiert und durch den Reliabilitätskoeffizienten als Qualitätsindikator angegeben (Bortz & Döring, 2013; Moosbrugger & Kelava, 2012). Die Bestimmung der internen Konsistenz kann auf der Basis des Rasch-Modells mithilfe der ‚Itemreliabilität‘ und ‚Personenreliabilität‘ vorgenommen werden (Wilson, 2005). Die Personenreliabilität gibt den Grad der Genauigkeit an, mit der die Personen mithilfe des Testinstrument nach ihren Fähigkeiten angeordnet bzw. die Personenparameter geschätzt werden. Für die Berechnung der Personenreliabilität stehen verschiedene Schätzverfahren zur Verfügung. Die *Weighted-Likelihood-Estimate-Methode (WLE)* hat sich als gängiges Verfahren etabliert (Rost, 2004).

Analog zur Personenreliabilität wird mit dem Itemreliabilitätskoeffizienten die Genauigkeit der errechneten Itemschwierigkeiten angegeben (Wilson, 2005). Die Wertgrenze beider Reliabilitätsangaben liegt zwischen 0 und 1 und die Interpretation der Werte mit dem Cronbachs α aus der klassischen Testtheorie gleichzusetzen (Bortz & Döring, 2013; Moosbrugger & Kelava, 2012). Aus der Literatur gehen unterschiedliche Interpretationsrichtlinien für den Reliabilitätskoeffizienten hervor. Bühner (2011) bezeichnet Reliabilitätskoeffizienten ab .7 als akzeptable, .8 als gut und .9 als exzellent.

Ein weiteres numerisches Maß für die Beurteilung der Testgüte bzw. der Passung zwischen geschätzten Itemschwierigkeiten und Personenfähigkeiten bietet die Iteminformationsfunktion (*target*). Der Wert der Iteminformation gibt an, wie gut die Itemschwierigkeiten mit den geschätzten Personenfähigkeiten übereinstimmen (Khadka et al., 2016). Liegt die Differenz zwischen der mittleren Itemschwierigkeit und Personenfähigkeit bei 0 weist dies auf eine sehr gute und ein Wert > 1 auf eine schlechte Passung zwischen Item- und Personenparametern hin (Boone et al., 2014; Khadka et al., 2016). Zusätzlich zu dem Personenreliabilitätskoeffizienten kann die visualisierte Testinformationsfunktion (*latent trait function*) für die Beurteilung der Messgenauigkeit bezüglich der Personenparameter herangezogen werden (Boone et al., 2014; Rost, 2004). Die graphisch visualisierte Iteminformationsfunktion hat bei einer idealen Passung zwischen den beiden Parametern ihr Maximum entsprechend der Normalverteilung nahe 0 und zeigt mit zunehmender Abweichung vom Nullpunkt einen sinkenden Informationsgehalt.

6.4.4 Mehrdimensionales Raschmodell

Ein weiteres Maß für die Beurteilung der Modellpassung ist die Überprüfung der angenommenen Dimensionen, die dem Konstrukt zugrunde liegen. Ermöglicht wird somit die Vergleichbarkeit und Passung von konkurrierenden (ein- und mehrdimensionalen) Modellen auf einen Datensatz (Rost, 2004). Folglich kann die Konstruktvalidität der Testinstrumente beurteilt werden, indem geprüft wird, ob die Items ein oder mehrere Konstrukte bzw. Dimensionen messen und sich voneinander abgrenzen lassen (Bond & Fox, 2007; Rost, 2004).

Für die Analyse der Passung infrage kommender Modelle kann zum einen auf den Likelihoodquotiententest, zum anderen auf die Informationskriterien zurückgegriffen werden. Rost (2004) nennt für die Durchführung des Likelihoodquotiententest die Voraussetzungen, dass die zu untersuchenden und angenommenen Modelle auf einen Datensatz basieren müssen und eine hierarchische Beziehung zwischen den Modellen angenommen werden kann. Darüber hinaus sollte die Gültigkeit des allgemeinen Modells im Rahmen einer Analyse bereits geprüft und bestätigt worden sein.

Allen Verfahren ist das Nutzen der Likelihood-Funktion gemein, dessen Wert als Maß zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeit, dass ein Modell passt, herangezogen wird. Dieser Wert kann allerdings nicht absolut bewertet werden, sondern muss im Vergleich zu dem Wert eines anderen Modells gesetzt werden. Der jeweils höhere Wert der Likelihood-Funktion weist auf das bessere Modell hin. Das für die Datenauswertung genutzte Programm ConQuest® gibt den logarithmierten Wert der Likelihood-Funktion an, der als Final Deviance bezeichnet wird. Die Umwandlung der Likelihood-Funktion in die Final Deviance erfolgt durch das folgende Prinzip:

$$Dev = -2\ln L$$

Formel 2. Umformung der Likelihood-Funktion in Deviance (Field, Miles & Field, 2014, S. 316)

Um nun die Deviance für den Vergleich der Modellgüte konkurrierender Modelle heranzuziehen, muss durch die Umwandlung bedacht werden, dass das Modell mit der geringeren Deviance am besten zu den Daten passt. Um die Signifikanz der Modellpassung zu überprüfen, wird der Likelihoodquotiententest mit anschließendem Chi-Quadrat-Test durchgeführt (Rost, 2004). Zur Berechnung des Likelihoodquotiententest, werden die Werte beider Modelle für folgende Formel benötigt, innerhalb der die Likelihood-Funktion bereits durch die Deviance ersetzt wurde (Rost, 2004):

$$\Delta Dev = Dev_1 - Dev_2$$

Das Ergebnis wird mithilfe der χ^2 -Verteilung auf Signifikanz überprüft. Für diese Berechnung wird die Anzahl der Freiheitsgrade pro Modell benötigt, die ConQuest® als *number of estimated parameter* angibt. Mithilfe dieser Angaben kann das Ergebnis des Likelihoodquotiententestes auf Signifikanz geprüft werden.

Zusätzlich können die eingangs erwähnten Informationskriterien für den Modellvergleich genutzt werden. Insbesondere bei fehlender hierarchischen Beziehung zwischen den angenommenen Modellen sollte die Überprüfung des Modells mittels informationstheoretischen Kriterien präferiert werden (Rost, 2004). Die Beurteilung der Modellgüte anhand der Informationskriterien ist ähnlich zu der über die Deviance mittels Vergleiche möglich. Fehlende literaturbasierte Grenzwerte der Informationskriterien für die Überprüfung der Passung eines infrage kommenden Modells und fehlende Signifikanztests führen dazu, dass die Informationskriterien für jedes infrage kommende Modell separat berechnet und miteinander verglichen werden müssen. Auch hier weisen die Modelle mit einem niedrigeren Wert auf eine bessere Passung hin als die mit einem relativ höheren Wert. Für die Berechnung der Informationskriterien werden die Stichprobengröße, die Anzahl der geschätzten Parameter sowie die Deviance ($Dev = -2\ln$) einbezogen. Mithilfe folgender Gleichungen lassen sich die drei wichtigsten informationstheoretischen Kriterien bestimmen:

$$AIC = -2 \ln L + 2n_p$$

$$BIC = -2 \ln L + (\ln N) * n_p$$

$$CAIC = -2 \ln L + [(\ln N) * 2n_p] + n_p$$

Formel 3. Formeln der Prüfgrößen AIC, BIC und CAIC (Rost, 2004, S. 242–344)

Wie aus den Formeln hervorgeht, erhalten die Modellparameter in den Informationskriterien unterschiedliche Gewichtungen. Der *Consistent Akaike Information Criterion (CAIC)* sollte bei einer kleineren Stichprobe präferiert werden. Für die Berechnung der Modellpassung durch den *Akaike Information Criterion (AIC)* wird die Stichprobengröße vernachlässigt. Das *Bayesian Information Criterion (BIC)* sollte laut Bühner (2011) in jedem Fall zur Beurteilung der Qualität der konkurrierenden Modelle genutzt werden, da sowohl die Stichprobe als auch die Anzahl der geschätzten Parameter berücksichtigt werden.

6.5 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt wird zunächst ein Überblick über die Vorgehensweise bei der Datenaufbereitung und Datenanalyse gegeben. Anschließend erfolgt die Wiedergabe der Ergebnisse im Hinblick auf die Testinstrumente und ihre Güte sowie ihrer Zusammenhänge untereinander. Im letzten Abschnitt erfolgt mit Rückbezug zu den Forschungsfragen und den Hypothesen bezüglich des ersten Forschungsprojektes eine zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse.

6.5.1 Vorgehen bei der Datenaufbereitung und Datenanalyse

Für die statistische Auswertung erfolgte zunächst die Organisation des mit den drei Testteilen erhobenen Datensatzes in dem Statistikprogramm SPSS (IBM SPSS Statistics 25). Hierzu werden die Rohdaten zunächst als Variablen in einer Datenmatrix eingegeben, benannt und beschriftet. Fehlende Werte werden mit einem numerischen Ausdruck kenntlich gemacht, sodass sie prägnant von systemdefinierten Fehlwerten unterschieden werden. Insbesondere in Bezug auf den im *balanced incomplete block design* konzipierten Repräsentationstest ist dies von besonderer Relevanz, da hier bedingt durch das Testinstrument ‚fehlende‘ Werte für Proband*innen entstanden sind. Diese durch das Testdesign entstandenen ‚fehlenden‘ Werte sind nicht auf das Auslassen der Items durch die Proband*innen zurückzuführen, sondern dadurch bedingt, dass nicht der gesamte Itempool jedem Proband*in zur Bearbeitung vorgelegt wurde. Die durch das Testdesign bedingten fehlenden Werte werden als ‚systemdefiniert fehlend‘ in der Datenmatrix hinterlegt. Die Datenaufbereitung für den Repräsentations- und Fachwissenstest erfolgt nach dem gleichen Verfahren. Die in der Datenmatrix hinterlegten Rohdaten werden in einen dichotomen Datensatz umcodiert (1 für die richtige Antwort, 0 für falsche/ fehlende Antworten). Die als systemdefiniert fehlenden Werte aus dem Repräsentationstest werden hierbei nicht in 0 umcodiert, sondern weiterhin als systemdefiniert fehlend hinterlegt. Bezüglich der ordinalskalierten Daten des Semantischen Differentials erfolgte eine Umpolung zweier Items.

Für die Auswertung des Fachwissens- und Repräsentationstest auf der Basis des Rasch-Modells wird der dichotome Datensatz mithilfe der programmintegrierten Funktion als Textdatei exportiert und die Ergebnisse (Personenfähigkeiten, Itemkennwerte) für bspw. varianzanalytische Verfahren in SPSS importiert. Die auf dem Rasch-Modell basierenden Analysen werden mit der Software ConQuest® durchgeführt. Hierfür wird der Datensatz als Textdatei aus SPSS exportiert.

Für die statistischen Mittelwertvergleiche mittels parametrischer Testverfahren werden eine Normalverteilung sowie Varianzhomogenität von intervallskalierten Daten vorausgesetzt (Field, 2005). Die Überprüfung der Normalverteilung wird für jedes Testinstru-

ment durchgeführt. Bei einer Stichprobengröße der Grundgesamtheit von $N = \geq 100$ Proband*innen kann eine Verletzung der Normalverteilung als sekundär betrachtet werden und mit den parametrischen Verfahren fortgefahren werden (Vaus, 2002). Basiert die Auswertung auf der Gesamtstichprobe von $N = 294$ oder Substichproben mit $n \geq 100$ wird trotz Verletzung der Normalverteilung auf parametrische Testverfahren zurückgegriffen.

Für die Überprüfung der Varianzhomogenität wird der Levene-Test verwendet, der bei gegebener Varianzhomogenität nicht signifikant ausfällt, sodass mit der Analyse fortgefahren werden kann (Field, 2005). Bezüglich der Mittelwertvergleiche von einer Gesamtstichprobe ≤ 100 sollte in jedem Fall für die Überprüfung der Varianzhomogenität der Levene-Test herangezogen werden und bei nicht erfüllter Varianzhomogenität auf voraussetzungsfreie Verfahren zurückgegriffen werden. Im Anhang befindet sich eine Tabelle über die Überprüfung der Voraussetzungen.

Für Mittelwertvergleiche in Bezug auf die Items des Fachwissens- und Repräsentationstests und ihren entsprechenden Parametern (z. B. Itemschwierigkeiten) werden die Daten zunächst im Hinblick auf das Erfüllen der Voraussetzungen für die Testverfahren überprüft. Sofern die Voraussetzungen für die parametrischen Testverfahren nicht erfüllt waren, wurde auf nicht parametrische Testverfahren zurückgegriffen. Eine Tabelle mit den Kennwerten der Überprüfung befindet sich im Anhang.

6.5.2 Güte der Testinstrumente

Die Überprüfung der Güte der Testinstrumente basiert auf unterschiedlichen Kriterien zur Reliabilität, Objektivität sowie Validität der quantitativen Studien. Für die Prüfung der internen Konsistenz der Skalen werden die in Abschnitt 6.3 angeführten Kriterien und Richtwerte zugrunde gelegt.

Für eine im psychometrischen Sinne tragbare Qualität eines Testinstruments ist das Gütekriterium der Validität ein unverzichtbarer Faktor. Die American Educational Research Association [AERA] (2014) beschreibt innerhalb der Standards zur Testkonstruktion Validität als „*the most fundamental consideration in developing and evaluating tests*“ (AERA, 2014, S. 9). Demnach sollte für die Testkonstruktion eine separate Sicherung der Inhaltsvalidität vorgenommen werden, da bspw. eine gute interne Konsistenz des Testinstruments nicht gewährleistet, dass das gemessene Konstrukt die erwünschten Inhalte und keine weiteren misst (AERA, 2014; Bortz & Döring, 2013). Validität wird im Allgemeinen als Kriterium dafür beschrieben, dass ein Test wirklich das misst, was er messen soll und somit Rückschlüsse auf die Ausprägung des Merkmals von einzelnen Personen auf der Grundlage der Ergebnisse zulässig sind (Bortz & Döring, 2013; Kane, 2016; Schaper, 2014). Validität „bezieht sich daher nicht auf ein Testverfahren ‚an sich‘,

sondern auf Aussagen und Interpretationen, die auf der Basis von Ergebnissen aus diesem Verfahren vorgenommen werden“ (Schaper, 2014, S. 23). Für die Plausibilität der Rückschlüsse und Interpretation auf der Grundlage der Testergebnisse sollten evidenzbasiert und theoretisch fundierte Argumente angeführt werden. Dieses Verständnis von Validität wird spezifischer als *argument based approach* bezeichnet (Schaper, 2014).

6.5.2.1 Fachwissen

Pilotierung der Fachwissensitems

Für die Ermittlung der Testlänge sowie der Itemparameter wurden die Tesinstrumente pilotiert. Da ausgehend von dem Fachwissenstest die Entwicklung der Items des Repräsentationstests erfolgte, wurde dieser vor der Konzipierung des Repräsentationstests bereits im Rahmen einer ersten Pilotierung separat in Hinblick auf die Testgüte überprüft. Ziel der ersten Pilotierung war es zu vermeiden, dass sich die Auswirkungen eines ungeeigneten Items auf den Repräsentationstest übertragen. Die erste Pilotierung wurde mithilfe einer Stichprobe ($N = 32$) durchgeführt, die Teilnehmende aus dem Studiengang des Sachunterrichts umfasst. Die Teilnehmenden belegten im Rahmen des Studiums die für ihren Studiengang angebotenen Chemieveranstaltungen, sodass grundlegendes Wissen über den Inhaltsbereich der Säuren und Basen vorausgesetzt werden konnte. Die Items wurden bezüglich der *wMNSQ* und *t*-Werte analysiert und die Reliabilitäten des gesamten Testinstruments ermittelt. Die Auswertung des ersten Testentwurfs mit 33 Items mit dem Rasch-Modell ergab folgende Itemfit-Statistik sowie Modellmerkmale:

Tabelle 14. Übersicht über die Modellparameter des Fachwissenstests in der ersten Pilotierung ($N_{\text{Items}} = 33$)

Modellmerkmal	
Aufgabenreliabilität (EAP)	.81
Personenreliabilität	.78
Infit-Mean-Square-Wert	
Min (0.75)	0.72
Max (1.33)	1.33
t-Wert	
Min (- 2)	- 1.5
Max (2)	2.1
Itemschwierigkeit	
Min	- 2.52
Max	1.89

Trotz der geringen Stichprobengröße zeigen sowohl die Aufgabenreliabilität- als auch Personenreliabilität zufriedenstellende bis gute Koeffizienten auf. Zur übersichtlichen Visualisierung der Itemfit-Statistik wurde der *wMNSQ*-Wert gegen die *t*-Wert aufgeführt und die zulässige Spannweite der Werte markiert.

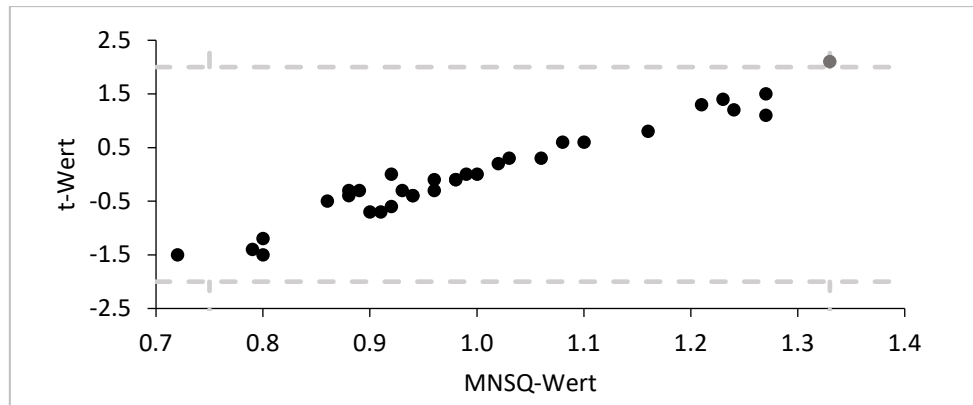


Abbildung 23. Gegenüberstellung der t - und $wMNSQ$ - Werte der Fachwissensitems ($N_{\text{Items}} = 33$)

Aus der Abbildung kann entnommen werden, dass ein Item ($N5$, *grau hinterlegt*) einen *Underfit* ($t = 2.1$ und $wMNSQ = 1.33$) sowohl in Bezug auf den t - also auch $wMNSQ$ -Wert aufweist und für die zweite Pilotierung und Haupterhebung ausgeschlossen wird. Somit reduziert sich die Itemanzahl für den Fachwissenstest auf 32.

Im Rahmen einer zweiten Pilotierung erfolgte eine erneute Überprüfung des überarbeiteten Fachwissenstests im Zusammenhang mit dem von der ersten Pilotierung des Fachwissenstests ausgehenden Repräsentationstestes. Die Pilotierung erfolgte mithilfe von 20 Teilnehmenden, die im Rahmen einer Veranstaltung zur Vorbereitung auf das Chemiestudium rekrutiert wurden.

Tabelle 15. Übersicht über die Modellparameter de Fachwissenstests in der zweiten Pilotierung ($N_{\text{Items}} = 32$)

Modellmerkmal	
Aufgabenreliabilität (EAP)	.96
Personenreliabilität	.89
Infit-Mean-Square-Wert	
Min (0.75)	0.64
Max (1.33)	1.87
t-Wert	
Min (- 2)	- 1.8
Max (2)	3.2
Itemschwierigkeit	
Min	- 2.12
Max	1.8

Ein Item (B5) weist in der zweiten Pilotierung sowohl einen schlechten $wMNSQ$ (1.87) als auch t -Wert (3.2) und somit einen *Underfit* auf. Eine genauere Analyse möglicher Ursachen führte zur Überarbeitung hinsichtlich der Distraktoren. Da das Item erst in der zweiten Pilotierung problematische Werte aufwies und es zudem einer Überarbeitung unterzogen wurde, wurde das Item im Testinstrument beibehalten. Insgesamt lässt sich eine gute Varianz bezüglich der Itemschwierigkeiten der Items erkennen, sodass sowohl Items mit einer höheren und geringeren Schwierigkeit vorhanden sind.

Testgüte Haupterhebung

Der Fachwissenstest in der Haupterhebung umfasste 32 Items mit jeweils 8 zu den Unterthemen Säuren, Basen, Neutralisation und dem pH-Wert. Im ersten Schritt wurde die Passung der Items zu einem eindimensionalen Rasch-Modell mittels der Analyse von Itemparametern auf der Grundlage der Gesamtstichprobe $N = 294$ vorgenommen.

Für die Identifizierung problematischer Items wurden die t - und $wMNSQ$ Werte von jedem Item unter Einbezug der in Abschnitt 6.2 aufgeführten cut-off-Werte ausgewertet. Für eine übersichtliche Darstellung wurden die t - und $wMNSQ$ -Werte graphisch gegenübergestellt und analysiert.

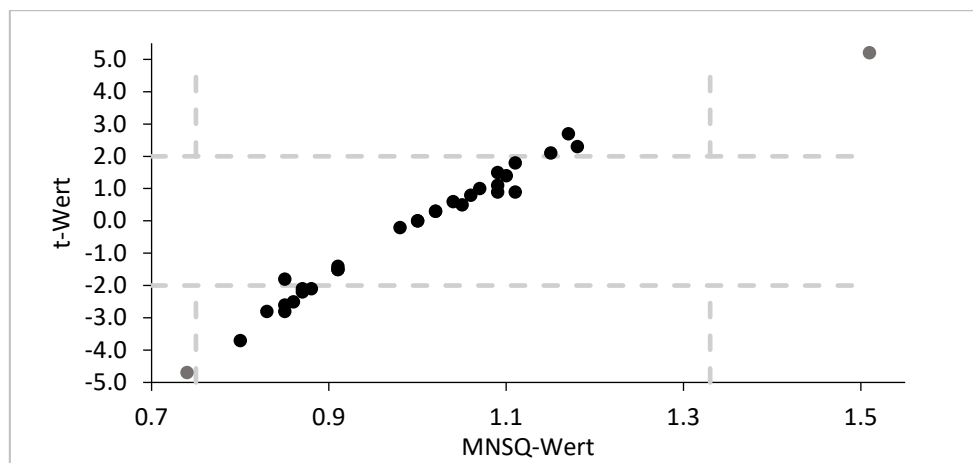


Abbildung 24. Gegenüberstellung der t - und $wMNSQ$ -Werte der Fachwissensitems ($N_{\text{Items}} = 32$)

Aus der Abbildung geht hervor, dass zwei Items (B7 & N2, grau hinterlegt) mit Werten von 1.5 und .74 einen $wMNSQ$ -Wert außerhalb der cut-off-Grenzen aufweisen. Zudem liegen ihre t -Werte mit 5.2 und -4.7 ebenfalls über der Spannweite und deuten somit auf eine ungeeignete Modellpassung der Items hin, sodass ein Ausschluss dieser Items vorgenommen wurde. Alle weiteren 30 Items haben zwar einen $wMNSQ$ -Wert im akzeptablen Bereich, allerdings liegen ihre t -Werte > 2 vor, die ebenfalls einen *Underfit* signalisierten (Item P2 & S5), sodass auch diese ausgeschlossen wurden.

Alle übrigen 28 Items, die einen $wMNSQ$ -Wert im gesetzten Bereich aufwiesen sowie einen t -Wert in der Grenze und < -2 (also auch solche mit einem *Overfit*) wurden für die weiteren Analysen beibehalten.

Die Aufgabenreliabilität weist mit einem Koeffizienten von .88 und die Personenreliabilität mit .85 eine gute interne Konsistenz sowie Erfassung der Personenfähigkeiten bezüglich des Fachwissens auf.

In folgender Tabelle sind die nach Item-Ausschluss ermittelten Modellparameter für die 28 Fachwissensitems zusammengefasst:

Tabelle 16. Übersicht über die Modellmerkmale des Fachwissenstests in der Haupterhebung ($N_{\text{Items}} = 28$)

Modellmerkmal	
Aufgabenreliabilität (EAP)	.88
Personenreliabilität	.85
Infit-Mean-Square-Wert	
Min (0.75)	0.82
Max (1.33)	1.16
t-Wert	
Min (- 2)	- 3.2
Max (2)	2.4
Itemschwierigkeit	
Min	- 1.01
Max	2.55

Die mittlere Personenfähigkeit des Fachwissens liegt bei $M = - 0.057$ ($SD = 1.4$) und die durchschnittliche Itemschwierigkeit bei $M = 0.73$ ($SD = 0.87$). Wird entsprechend der Iteminformationsfunktion die Differenz zwischen den beiden Parametern ermittelt, lässt der ermittelte Wert von 0.67 auf eine gute Passung zwischen der ermittelten Itemschwierigkeiten und Personenfähigkeiten schließen (Boone et al., 2014; Khadka et al., 2016).

6.5.2.2 Repräsentationstest

Pilotierung der Repräsentationstests

Im Rahmen der Pilotierung wurde das Testheft I, das die Blöcke I und III beinhaltet, im Hinblick auf die Testgüte überprüft. Aufgrund der geringen Stichprobengröße $N = 20$ konnten lediglich zwei der vier Blöcke pilotiert werden. Diesbezüglich wurden erneut die Item-Statistik und Modellmerkmale ausgewertet. Sowohl für den t - als auch $wMNSQ$ -Wert gelten die bereits gesetzten Grenzwerte. Folgende Tabelle enthält eine Übersicht über die Ergebnisse der Berechnungen mithilfe des eindimensionalen Raschmodells:

Tabelle 17. Übersicht über die Modellmerkmale der Repräsentationsitems in der Pilotierung ($N_{\text{Items}} = 25$)

Modellmerkmal	
Aufgabenreliabilität (EAP)	.93
Personenreliabilität	.86
Infit-Mean-Square-Wert	
Min (0.75)	0.64
Max (1.33)	1.55
t-Wert	
Min (- 2)	- 1.2
Max (2)	1.7
Itemschwierigkeit	
Min	- 2.25
Max	1.95

Wie aus der Übersicht entnommen werden kann, liegt der standardisierte t -Wert mit -1.2-1.7 für die pilotierten Items im annehmbaren Bereich. Der $wMNSQ$ -Wert weist für zwei Items auf eine schlechte Modellpassung hin (0.64 und 1.52), da diese außerhalb der gesetzten Grenzwerte liegen. Da anders als die $wMNSQ$ -Werte die t -Werte dieser Items nicht außerhalb der Spannweite liegen, wurden die Items einer Überprüfung unterzogen aber nicht aus dem Test entfernt. Des Weiteren ist die EAP Reliabilität mit .86 und die Personenreliabilität mit .78 als gut zu bewerten.

Testgüte Haupterhebung

Die Qualität des Testinstruments zur Erfassung der Informationsentnahme aus multiplexen externen Repräsentationen wurde ebenfalls mit dem eindimensionalen Rasch-Modell überprüft. Auch für die Beurteilung der Modellgüte des Repräsentationstests gelten die in Abschnitt 6.4 angeführten Richtwerte.

Für die Datenauswertung kann auf das Antwortverhalten der Gesamtstichprobe $N = 294$ zurückgegriffen werden. Die Repräsentationsitems $N_{Item} = 48$, die auf vier unterschiedliche Testhefte verteilt wurden, werden hierfür in einem Datensatz zusammengefügt. Im ersten Schritt erfolgte die Überprüfung der Anzahl der bearbeiteten vier Testhefte sowie die Anzahl der vorliegenden Antworten. Insgesamt wurden die Testhefte I und III von $n_{Stichprobe} = 72$ und Testhefte II und IV $n_{Stichprobe} = 75$ Proband*innen bearbeitet, sodass zusammengefasst werden kann, dass von jedem Testheft annähernd die gleiche Anzahl an Ergebnissen für die Analyse herangezogen werden konnten. Da jeder Block in mindestens zwei der vier Testheften mit einem anderen Block kombiniert und die Testhefte zu gleichem Anteil an die Proband*innen verteilt wurden, liegen zu jedem Repräsentationsitem 144 – 150 Antworten vor. Für die zwei Ankeritems (IN2 & KB6), die in allen vier Testheften implementiert sind, liegen insgesamt die Ergebnisse aller Proband*innen ($N_{Stichprobe} = 294$) vor.

Die Analyse der Modellpassung der Repräsentationsitems erfolgt anhand der $wMNSQ$ -

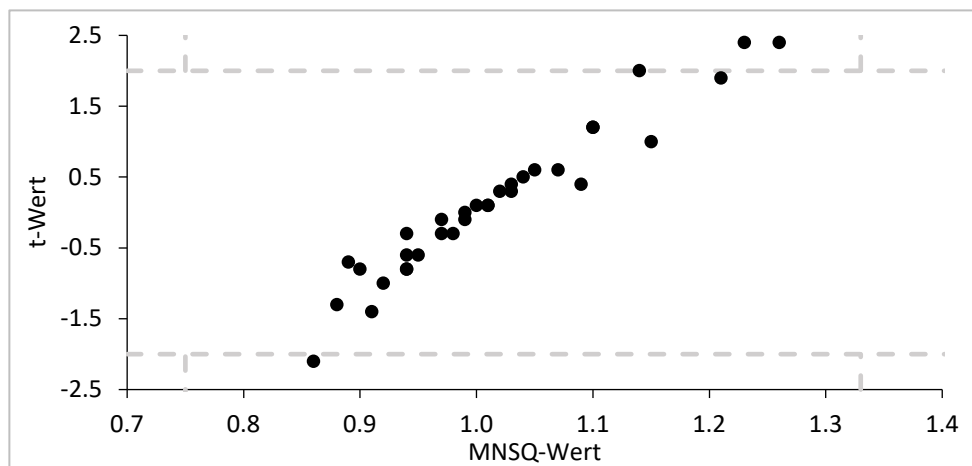


Abbildung 25. Gegenüberstellung der t - und $wMNSQ$ -Werte der Repräsentationsitems ($N_{Items} = 48$)

und entsprechenden standardisierten t -Werte der einzelnen Items. Für die Identifizierung von Items mit einer fehlenden bzw. problematischen Modellkonformität wird auf das Kriterium zurückgegriffen, dass ein Item ausgeschlossen wird, wenn sowohl sein t - als auch $wMNSQ$ -Wert außerhalb der Grenzwerte liegen.

Wie aus der graphischen Gegenüberstellung der Prüfgrößen hervorgeht, weist keines der Repräsentationsitems einen t - und gleichzeitig $wMNSQ$ -Wert außerhalb der Grenzsparren auf, sodass alle Items für weitere Analysen beibehalten werden. Alle $wMNSQ$ -Werte liegen in einer Spannbreite von 0.83 – 1.26, jedoch lassen sich von den Grenzwerten abweichende t -Werte feststellen. Eine isolierte Betrachtung der t -Werte ergibt, dass diese bei zwei Items SB7 und WS5 einem Wert > 2 einnehmen und somit einen *Underfit* signalisieren. Im Hinblick auf zwei Repräsentationsitems liegt mit einem t -Wert < -2 ein als unproblematisch aufgefasster *Overfit* vor. Die Modellmerkmale der Raschanalyse sind in Tabelle 18 zusammengefasst.

Tabelle 18. Modellmerkmale der Repräsentationsitems in der Haupterhebung ($N_{\text{Items}} = 48$)

Modellmerkmal	
Aufgabenreliabilität (EAP)	.83
Personenreliabilität	.78
Infit-Mean-Square-Wert	
Min (0.75)	0.83
Max (1.33)	1.26
t -Wert	
Min (- 2)	- 2.3
Max (2)	2.4
Itemschwierigkeit	
Min	- 0.8
Max	2.95

Die interne Konsistenz des Repräsentationstests ist mit einem Koeffizienten der Aufgabenreliabilität von .83 als gut und die Genauigkeit der Erfassung der Personenfähigkeiten ist mit einem Wert von .78 als akzeptabel zu beurteilen. Die Differenz zwischen den Mittelwerten der Itemschwierigkeit und der Personenfähigkeit liegt bei einem Wert von 1.01, der sich gerade noch in einem akzeptablen Bereich befindet. Der erhöhte Wert für die Passung zwischen Item- und Personenparametern spiegelt sich zudem in der genannten Personenreliabilität wider.

Für die Analyse der Itemparameter des Repräsentationstests getrennt nach den Substichproben der zwei Datenerhebungszeiträumen wurden für jede der Stichproben die Raschanalysen separat durchgeführt und die Modellmerkmale überprüft.

Tabelle 19. Modellmerkmale für das eindimensionale Rasch-Modell getrennt nach den Stichproben

Modellmerkmal	Stichprobe WS 17/18 <i>N</i> = 130	Stichprobe WS 19/20 <i>N</i> = 164
Aufgabenreliabilität (EAP)	.81	.81
Personenreliabilität	.78	.76
Infit-Mean-Square-Wert		
Min (0.75)	.82	.79
Max (1.33)	1.2	1.24
t-Wert		
Min (-2)	-2.3	-1.7
Max (2)	2.4	1.8
Itemschwierigkeit		
Min	-2.16	-0.73
Max	1.91	3.36

Für die Stichproben zeigen sich zufriedenstellende bis gute Reliabilitätskoeffizienten und keine Items bei denen der *WMNSQ* und *t*-Wert außerhalb der Spannweiten liegen.

6.5.2.3 Semantisches Differential

Testgüte

Das Semantische Differential wurde ergänzend zum Datenerhebungszeitpunkt im WS 2019/2020 eingesetzt. Die Analyse des Semantischen Differentials bezieht sich somit auf den zweiten Datenerhebungszeitraum mit einem Stichprobenumfang von $N_{\text{Stichprobe}} = 164$ Studierende. Ein Ausschluss aus der statistischen Auswertung erfolgte, wenn:

- einzelne Items des Semantischen Differentials unvollständig ausgefüllt wurden und
- ein Antwortmuster zu erkennen war, das die Glaubwürdigkeit des Antwortverhaltens infrage stellte. Dies war der Fall, wenn bspw. über die Items hinweg das gleiche Kästchen angekreuzt wurde.

Insgesamt wurden 34 Studierende ausgeschlossen, von denen 3 ein eindeutiges Antwortmuster und 31 unvollständig ausgefüllte Items aufwiesen, sodass insgesamt von 130 Teilnehmenden das Semantische Differential in die Analyse einfließen konnten. Die Auswertung des Semantischen Differentials basiert zusammenfassend somit auf 19 500 Urteilen (10 x 15 x 130).

Für die Aufklärung der Testinstrumentstruktur und der Qualität des Semantischen Differentials wurden zu Beginn faktoranalytische Auswertungsmethoden über die Mittelwerte der einzelnen Items verwendet. Hierzu wurde eine explorative Faktorenanalyse (Hauptkomponentenanalyse mit Varimax-Rotation) durchgeführt.

Die Stichprobeneignung für die Durchführung der Hauptkomponentenanalyse wurde mit dem Maß des Kaiser-Meyer-Olkin-Tests (KMO) überprüft. Mit einem Wert von

KMO = .86 ist die Stichprobeneignung nach Field (2005) als sehr gut zu interpretieren. Zusätzlich wird die Durchführung der Hauptkomponentenanalyse mit den Ergebnissen des Bartlett-Tests auf Sphärizität ($\chi^2(45) = 879.12, p < .001$) bestätigt.

Es können zwei Faktoren entsprechend des Kaiser-Kriteriums mit einem Eigenwert > 1 extrahiert werden (Field, 2005). Die aufgeklärte Gesamtvarianz der Kombination aus den zwei Faktoren liegt bei 64,87 %. Die Ergebnisse der rotierten Komponentenmatrix sowie der Eigenkriterien und der Varianzaufklärung sind in Tabelle 20 zusammenfassend dargestellt. Nach Field (2005) liegt eine substantielle Faktorladung bei einem Wert $> .40$ vor. Stevens (2002) schlägt eine Interpretation der Faktorladung in Abhängigkeit zur Stichprobengröße vor und empfiehlt bei einer Stichprobengröße von 100 – 200 Proband*innen eine zulässige Faktorladung von $> .512$. Unter Berücksichtigung der eigenen Stichprobengröße ($N = 130$) erfolgt eine Orientierung an dem vorgeschlagenen Richtwert nach Stevens (2002). Faktorladung $< .512$ werden demnach als nicht essentiell aufgefasst und die entsprechenden Items aus der Auswertung ausgeschlossen (Stevens, 2002).

Tabelle 20. Ergebnisse der Komponentenanalyse mit Varimax-Rotation der Items aus dem Semantischen Differential

Item	Komponente	
	1	2
Verständlichkeit	.919	.244
Komplexität	.913	.222
Bekanntheit	.872	.038
Informationsentnahme	.847	.250
Informationsgehalt	.684	.186
Informationsrelevanz	.648	-.010
Form	-.041	.871
Molekülähnlichkeit	.083	.768
Vorstellbarkeit	.456	.743
Funktion	.241	.256
Eigenwert	4.87	1.62
Erklärte Varianz (%)	48.69	16.21

Aus der Komponentenanalyse geht hervor, dass sechs Items mit einer Faktorladung $> .512$ auf der ersten Komponente laden. Diese Items beinhalten Merkmale, die im Zusammenhang mit der beurteilten Schwierigkeit der Informationsentnahme stehen. Auf dem Faktor zwei haben drei Items eine Faktorladung $> .512$. Diese Items umfassen die attributiven Gegensätze betreffend die strukturellen Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen externe Repräsentation und dem Referenzobjekt und der Vorstellbarkeit des Originals. Das Item bezüglich der Funktionen (beschreibend – erklärend) lädt auf keinen der zwei extrahierten Faktoren, sodass das Item aus den folgenden Analysen ausgeschlossen wird.

6 Empirische Untersuchung zur Informationsentnahme und lernerorientierten Merkmalsvalidierung

Tabelle 21. Übersicht über die Skalen zu Erfassung der Merkmalszuordnung

Skala	Itemanzahl	Reliabilität (α)
Informationsentnahme	6	.91
Ähnlichkeitsbeziehung	3	.75

Die interne Konsistenz der Skalen ist mit Reliabilitätskoeffizienten von .91 als exzellent und .75 akzeptable anzusehen. Für die Analyse der Merkmalsbeurteilung von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen werden für jede Attribute der Skalen Mittelwerte der entsprechenden Gruppen von externen Repräsentationen berechnet und die Skalen auf interne Konsistenz überprüft. Die Reliabilitätskoeffizienten für die Skalen getrennt nach den Kategorien der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen weisen zufriedenstellende bis sehr gute Werte auf.

Tabelle 22. Übersicht über die interne Konsistenz der Subskalen getrennt nach konkret und abstrakt

Skala	Itemanzahl	Reliabilität (α)	
		Konkret	Abstrakt
Informationsentnahme	6	.91	.89
Ähnlichkeitsbeziehung	3	.78	.83

Auf der Grundlage der Faktorenanalyse wurden für die zwei Faktoren Beurteilung der Schwierigkeit der Informationsentnahme und Ähnlichkeitsbeziehung mit dem Modell Summenskalen berechnet. Hierfür wurden die Mittelwerte der Items, die einem Faktor zuzuordnen sind, getrennt für die Kategorien der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen als Variable angelegt.

6.5.3 Überprüfung der Dimensionen

Zur Überprüfung der aufgestellten Hypothesen und im Sinne der Konstruktvalidität erfolgt zunächst die Überprüfung der dem Fachwissens- und Repräsentationstest zugrundeliegenden Strukturen durch eine Modellüberprüfung. Ziel der Modellüberprüfung war die Aufklärung der hinter den Testteilen liegenden Dimensionen und der Frage, ob sich die Fähigkeiten bezüglich des Fachwissens und der Informationsentnahme aus multiplen externen Repräsentationen separat erfassen lassen und als zwei Konstrukte gedeutet werden können. Theoretisch kommen zwei Modelle infrage. Das eindimensionale Modell würde implizieren, dass die Skalen des Fachwissens- und Repräsentationstests sich nicht voneinander trennen lassen und somit eine Dimension bzw. ein Konstrukt abbilden. Basierend auf dieser Annahme erfolgt die Überprüfung des eindimensionalen Modells. Darüber hinaus wäre ein zweidimensionales Modell denkbar. Diesbezüglich würden sich die zwei theoretisch angenommenen Fähigkeiten der Informationsentnahme und des Fachwissens mit den zwei separaten Testinstrumenten erfassen lassen und somit zwei separate Dimensionen darstellen.

Für die Überprüfung der potentiellen Modelle erfolgt eine Auswertung mithilfe des mehrdimensionalen Rasch-Modells (siehe Abschnitt 6.4). Die Modellpassung wird basierend auf den in Abschnitt 6.4 angeführten Prüfgrößen beurteilt und u. a. die informationstheoretischen Kriterien herangezogen.

Im ersten Durchgang wird die Überprüfung der konkurrierenden Modelle mithilfe aller Items aus dem Fachwissenstest $N_{\text{Items}} = 28$ und aus dem Repräsentationstest $N_{\text{Item}} = 48$ durchgeführt. Folgende Tabelle enthält die wesentlichen Prüfgrößen der Modellanalysen.

Tabelle 23. Modellvergleich für die Fachwissens- und Repräsentationsitems

Modell	Dimension	EAP R.	WLE R.	Geschätzte Parameter	Deviance	AIC	BIC	CAIC
1	1	.9	.91	77	16137.76344	16291.76	16575.4	17090.03
2	1	.89	.86	79	15970.36376	16128.36	16419.37	16947.37
	2	.85	.79					

*R. = Reliability

Über die Dimensionen hinweg liegen die Werte der EAP und WLE Reliabilität im guten bis sehr guten Bereich. Werden die Prüfgrößen der Deviance sowie der AIC, BIC und CAIC verglichen, so wird deutlich, dass die Werte des zweidimensionalen Modells niedriger sind als die des eindimensionalen. Folglich lässt sich schließen, dass das zweidimensionale Modell dem eindimensionalen zu bevorzugen ist und eine bessere Passung aufweist. Ein Chi-Quadrat-Test wird zusätzlich durchgeführt, um die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Differenzen der erfassten Modellparameter (Deviance und ge-

schätzten Parametern) zu überprüfen. Der Chi-Quadrat-Test führt zu einem hochsignifikanten Ergebnis ($p < .001$), was die bessere Modellpassung des zweidimensionalen Modells zusätzlich bestätigt. Die von ConQuest® errechnete Korrelation zwischen den zwei Konstrukten weist mit einem Wert von $r = .83$ ($p < .001$) dennoch auf einen starken Zusammenhang hin.

Um auszuschließen, dass das Ergebnis dadurch beeinflusst wird, dass im Fachwissens-test Items zum Unterthema pH-Wert enthalten sind, die nicht als Grundlage für den Repräsentationstest genutzt wurden, wird die Berechnung ohne die Fachwissensitems zum Unterthema pH-Wert erneut durchgeführt. Hierfür werden aus dem Datensatz die Items zum Unterthema pH-Wert $n_{\text{Items}} = 6$ für die Überprüfung ausgeschlossen und die Passung der konkurrierenden Modelle nach dem gleichen Verfahren erneut durchgeführt. In Tabelle 24 sind die Ergebnisse der Überprüfung der Modellpassung mit dem reduzierten Itemsatz zusammengefasst.

Tabelle 24. Überprüfung des Modellvergleichs für die Fachwissens- (ohne pH-Items) und Repräsentationsitems

Modell	Dimension	EAP R.	WLE R.	Geschätzte Parameter	Deviance	AIC	BIC	CAIC
1	1	.9	.89	71	14277.95449	14419.95	14681.49	15156.02
2	1	.9	.82	73	14118.85975	14264.86	14533.76	15021.66
	2	.86	.78					

*R. = Reliability

Auch hier verweisen die niedrigeren Werte der ermittelten Modellparameter und informationstheoretischen Kriterien des zweidimensionalen Modells auf eine höhere Passung und somit auf zwei Konstrukte. Die Unterschiede bezüglich der Differenzen zwischen den ermittelten Modellparametern werden erneut mittels des Chi-Quadrat-Tests bezüglich des Signifikanzniveaus überprüft. Erneut fällt deutlich das Signifikanzniveau $p < .001$ auf eine bessere Passung des zweidimensionalen Modells hin. Konsequenterweise können die Informationsentnahme aus externen Repräsentationen des atomaren Bereichs sowie das zugrundeliegende Fachwissen als zwei separate Konstrukte aufgefasst und als solche in den folgenden Analysen einbezogen werden.

6.5.4 Fachwissenstest

Aus der Analyse der Itemschwierigkeiten geht eine Itemverteilung in dem Schwierigkeitsspektrum von -1 bis 2.5 Logits hervor. Der Bereich unterhalb von -1 Logits ist dahingegen unterrepräsentiert d. h. es liegen zu wenige Items mit entsprechenden Schwierigkeiten für die geringeren Personenfähigkeiten vor. Insgesamt weisen die Items mit einer durchschnittlichen Itemschwierigkeit von $M = 0.73$ ($SD = 0.87$) einen tendenziell hohen Schwierigkeitsgrad auf.

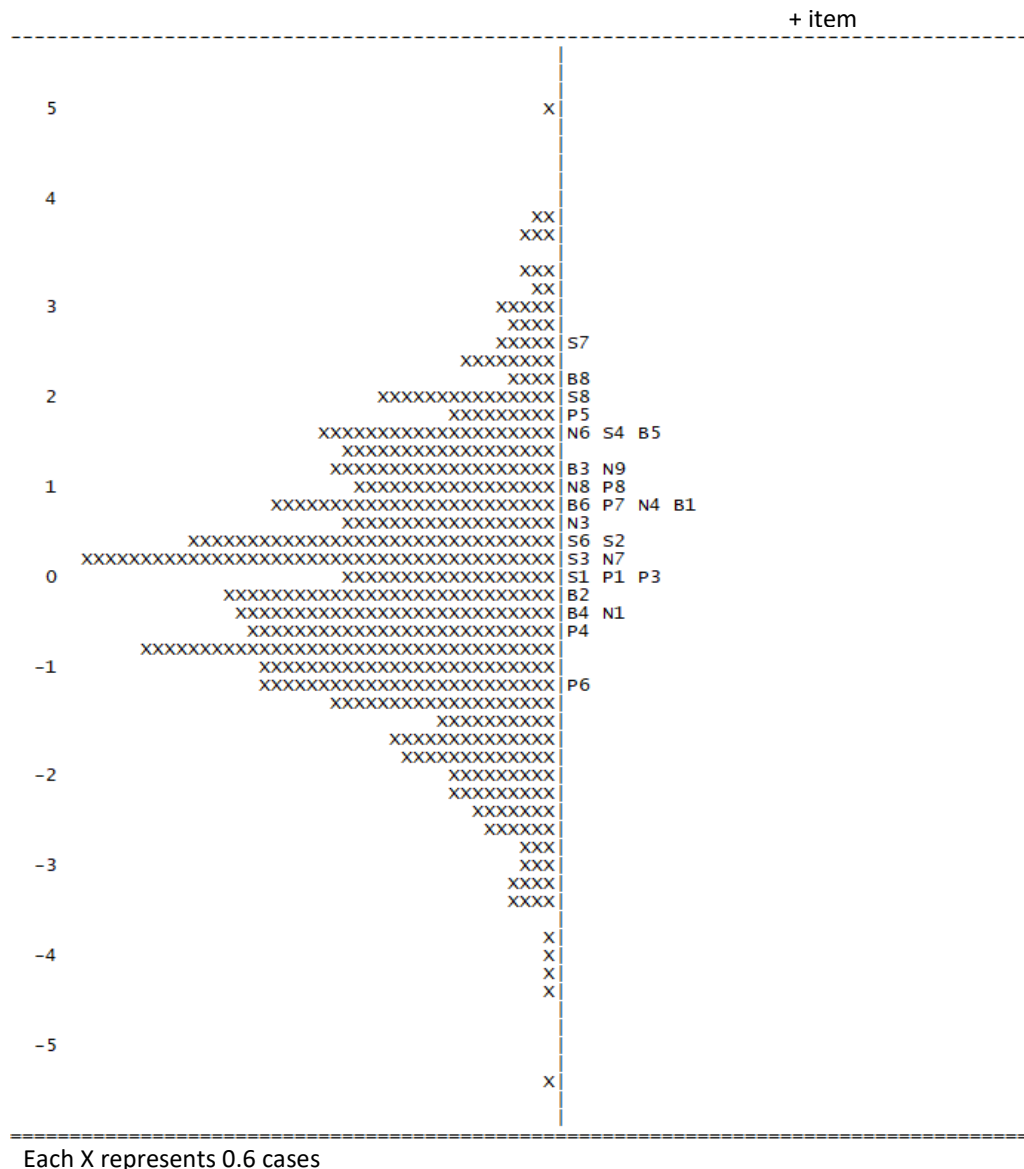


Abbildung 26. Wright Map - Verteilung der Fachwissensitems aus der Haupterhebung $N_{\text{Items}} = 28$
(S = Säuren, B = Basen, N = Neutralisation, P = pH-Wert)

Mit Rückbezug zum Repräsentationstest wird überprüft, ob die zu visualisierenden Inhalte bereits im Hinblick auf die drei Unterthemen Unterschiede im Fachwissenstest aufweisen. Ein Mittelwertvergleich der Itemschwierigkeiten weist deskriptiv eine höhere mittlere Schwierigkeit für die Items zum Thema Säuren ($M = 1.02$, $SD = 1.02$) auf. Aus

der Varianzanalyse geht hervor, dass die Mittelwertdifferenz zwischen den Items betreffend die Unterthemen Säuren ($M = 1.02$, $SD = 1.02$), pH-Wert ($M = .3$, $SD = 0.97$), Basen ($M = .87$, $SD = 0.86$) und Neutralisation ($M = .72$, $SD = 0.63$) nicht signifikant sind ($F(3, 24) = 0.87$, *n.s.*).

Die ermittelten Personenfähigkeiten aus dem Fachwissenstest korrelieren hochsignifikant mit der Art und Dauer des Chemiekurses ($r_{sp} = .63$, $p < .001$, $N = 278$). Eine Varianzanalyse zeigt, dass die Mittelwertunterschiede der Personenfähigkeiten der Teilnehmenden, die einen Leistungskurs ($M = 1.15$, $SD = 1.02$), Grundkurs ($M = 0.23$, $SD = 1.29$) und Chemieunterricht nur bis zur Ender der Sekundarstufe I ($M = -1.04$, $SD = 1.06$) hatten, signifikant ausfallen ($F(2, 275) = 74.86$, $p < .001$, $\eta^2 = .35$). Nach der errechneten Effektstärke von $f = .73$ handelt es sich nach Cohen (1988) um einen starken Effekt. Alle Mittelwertunterschiede zwischen den Gruppen sind auf einem Niveau von $p < .001$ hoch signifikant.

Entsprechende Mittelwertvergleiche in Bezug auf die erhobenen Studiengänge zeigen auch hier, dass signifikante Unterschiede bezüglich der Personenfähigkeiten im Fachwissen vorliegen ($F(8, 282) = 11.56$, $p < .001$, $\eta^2 = .25$).

Tabelle 25. Mittlere Personenfähigkeiten im Fachwissen nach den Studiengängen

Studiengang	<i>n</i>	<i>M</i> (<i>SD</i>)
Chemie BSc.	69	0.84 (1.24)
CIW BSc.	28	0.47 (1.15)
Chemie B.Ed. BK	11	0.36 (1.95)
Chemie B.Ed. GyGe	47	0.22 (1.33)
Informatik (Nebenfach Chemie) BSc.	3	-0.22 (1.74)
Chemie B.Ed. HRSGe	21	-0.39 (0.94)
Physik (Variante: Naturwissenschaften/ Technik) BSc.	47	-0.44 (1.34)
Ernährungslehre B.Ed. GyGe	54	-1.0 (1.05)
Ernährungslehre B.Ed. BK	11	-1.38 (0.82)

Durchgeführte post-hoc Tests (Bonferroni) zeigen, dass sich insbesondere der Mittelwert der Gruppe Chemie B.Sc. ($M = 0.84$, $SD = 1.24$) von den Mittelwerten der Gruppen Ernährungslehre B.Ed. GyGe ($M = -1.0$, $SD = 1.05$), Ernährungslehre B. Ed BK ($M = -1.38$, $SD = 0.82$) sowie Physik (Variante Naturwissenschaften/ Technik BSc.) ($M = -0.44$, $SD = 1.34$) signifikant unterscheidet.

Da aus der Literatur Unterschiede bezüglich Lernenden mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen insbesondere in Bezug auf das Fachwissen und den Umgang mit Repräsentationen hervorgehen, wird basierend auf den Personenfähigkeiten im Fachwissen die Gesamtstichprobe in künstliche Gruppen differenziert. Ziel sind Extremgruppevergleiche zwischen den Lernenden mit hohen und niedrigen Fähigkeitsausprägungen in Bezug auf die Informationsentnahme und Beurteilung von multiplen externen Repräsentationen. Die Bildung der Gruppen erfolgt mithilfe der im Statistikprogramm IBM SPSS implementierten Funktion des Trennens der Gesamtstichprobe in drei gleiche

Gruppen. Für die Extremgruppenvergleiche wird jeweils das Drittel mit den höchsten Personenfähigkeiten ($n = 100$) und den geringen Personenfähigkeiten ($n = 92$) zu zwei getrennten Gruppen zusammengefasst und für Vergleiche herangezogen.

6.5.5 Repräsentationstest: Informationsentnahme aus externen Repräsentationen

Die mittlere Schwierigkeit der Repräsentationsitems liegt bei $M = 1.02$ ($SD = 0.87$) und lässt darauf zurückschließen, dass die Repräsentationsitems im Durchschnitt eine hohe Schwierigkeit für die Teilnehmenden aufweisen. Die Spannweite der Itemschwierigkeiten umfasst dabei Werte von -0.8 bis 2.95 Logits. Aus der Wright Map geht hervor, dass für Personenfähigkeiten < -0.8 Logits Repräsentationsitems mit entsprechendem Schwierigkeitsgrad fehlen und von Bodeneffekten auszugehen ist.

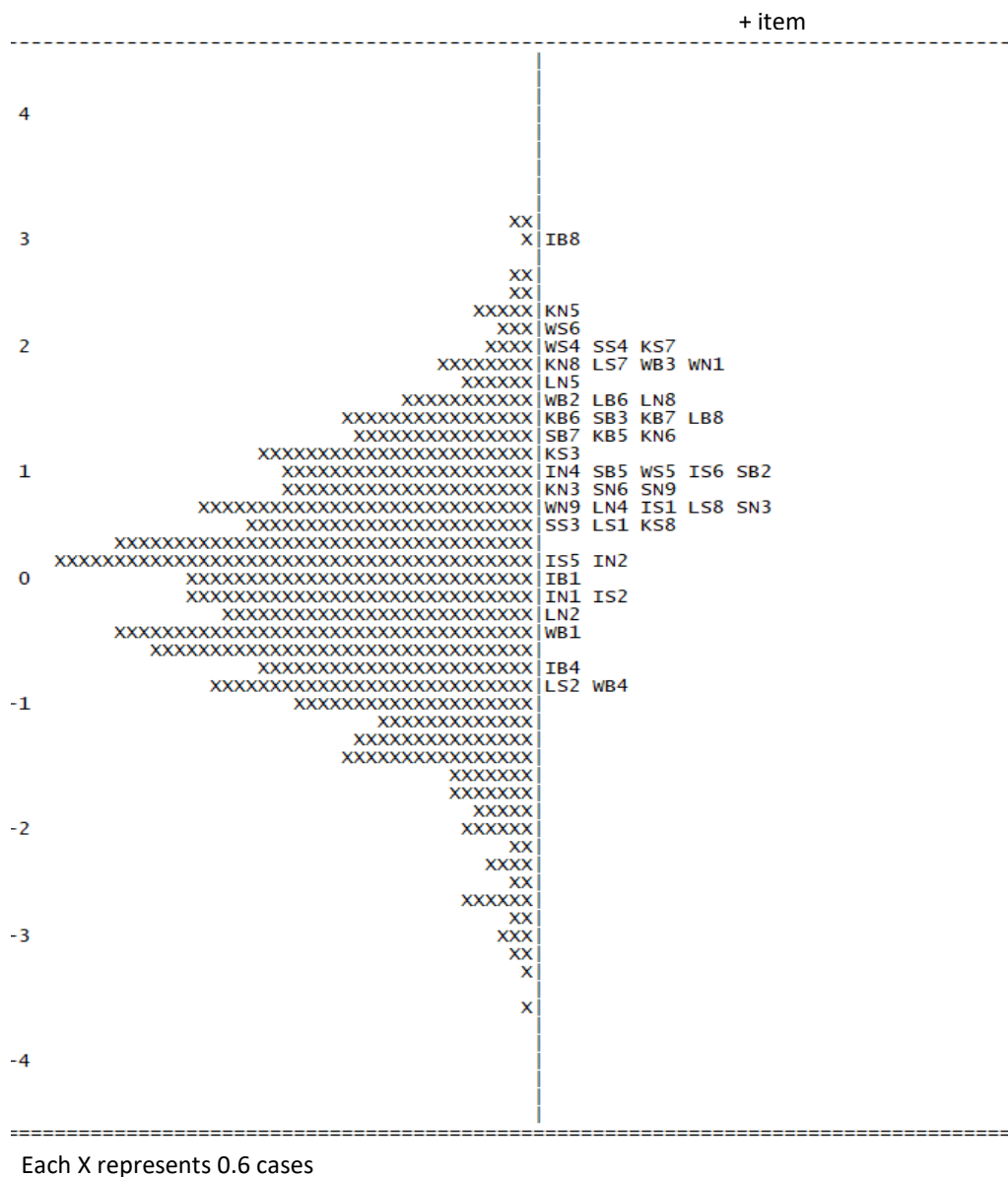


Abbildung 27. Wright Map – Verteilung der Repräsentationsitems $N_{\text{Items}} = 48$

Um zu analysieren, inwieweit die zugrundeliegenden Fachinhalte einen Einfluss auf die Itemschwierigkeiten nehmen, werden die mittleren Itemschwierigkeiten der Items, denen das gleiche Unterthema (Säuren, Basen und Neutralisation) immanent ist, zu einer Gruppe zusammengefasst und verglichen. Zu jedem Unterthema liegen jeweils $n_{\text{items}} = 16$ Repräsentationsitems vor. Aus den Ergebnissen der einfaktoriellen Varianzanalyse geht hervor, dass die Mittelwertdifferenzen zwischen den Items zu den Unterthemen Säuren ($M = 1.01$, $SD = 0.88$), Basen ($M = 1.04$, $SD = 1.01$) und Neutralisation ($M = 1.02$, $SD = 0.77$) statistisch nicht signifikant sind ($F(2, 45) = 0.07$, *n. s.*). Die Ergebnisse sind somit vergleichbar mit den Itemschwierigkeiten der Fachwissensitems in Abhängigkeit zu den Unterthemen (siehe Abschnitt 6.5.4).

Für die Vergleiche der Repräsentationsitems und ihren Schwierigkeiten im Zusammenhang mit den fünf verschiedenen externen Repräsentationsformen werden die Repräsentationsitems entsprechend der enthaltenen Repräsentationsform zu fünf Gruppen zusammengefasst.

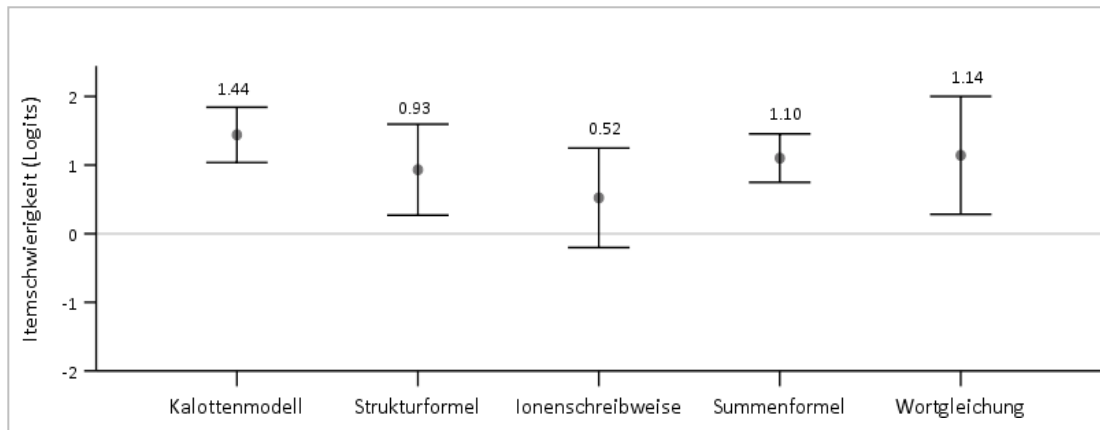


Abbildung 28. Mittelwerte der Repräsentationsitems getrennt nach den externen Repräsentationsformen

Deskriptiv haben die Repräsentationsitems, die das Kalottenmodell enthalten mit einem Mittelwert von $M = 1.44$ ($SD = 0.56$) die höchste mittlere Itemschwierigkeit, während die Repräsentationsitems mit Ionenschreibweisen mit einem Wert von $M = 0.52$ ($SD = 1.01$) die geringste mittlere Itemschwierigkeit aufweisen.

Die Items, die Wörter zur Visualisierung des atomaren Bereichs enthalten, zeigen mit einer durchschnittlichen Itemschwierigkeit von $M = 1.14$ ($SD = 1.12$) den zweithöchsten Schwierigkeitsgrad auf, während die Items mit einer Strukturformel $M = 0.93$ ($SD = 0.93$) nach der Ionenschreibweise eine der geringsten durchschnittlichen Itemschwierigkeiten haben. Die Mittelwertunterschiede zwischen den einzelnen Repräsentationsformen fallen statistisch jedoch nicht signifikant aus ($F(4, 43) = 1.54$, *n. s.*). Die Verteilung der mittleren Itemschwierigkeiten lassen keine einheitlichen Tendenzen für die Schwierigkeiten der Informationsentnahme für die Kategorien der konkreten (Kalottenmodell und Struk-

turformel) und abstrakten (Ionenschreibweise, Summenformel und Wortgleichung) externen Repräsentationen des atomaren Bereichs erkennen. Deskriptiv weisen die Items, denen konkrete externe Repräsentationsformen immanent sind, mit einer mittleren Itemschwierigkeit von $M = 1.19$ ($SD = 0.79$) einen höheren Schwierigkeitsgrad auf als die Items, die abstrakte enthalten ($M = 0.91$, $SD = 0.93$).

Zur Validierung der Ergebnisse werden die mittleren Itemschwierigkeiten für die Gruppen der externen Repräsentationen getrennt nach den Stichproben aus den Erhebungszeiträumen WS 19/20 ($N = 164$) und 17/18 ($N = 130$) berechnet und graphisch gegenübergestellt.

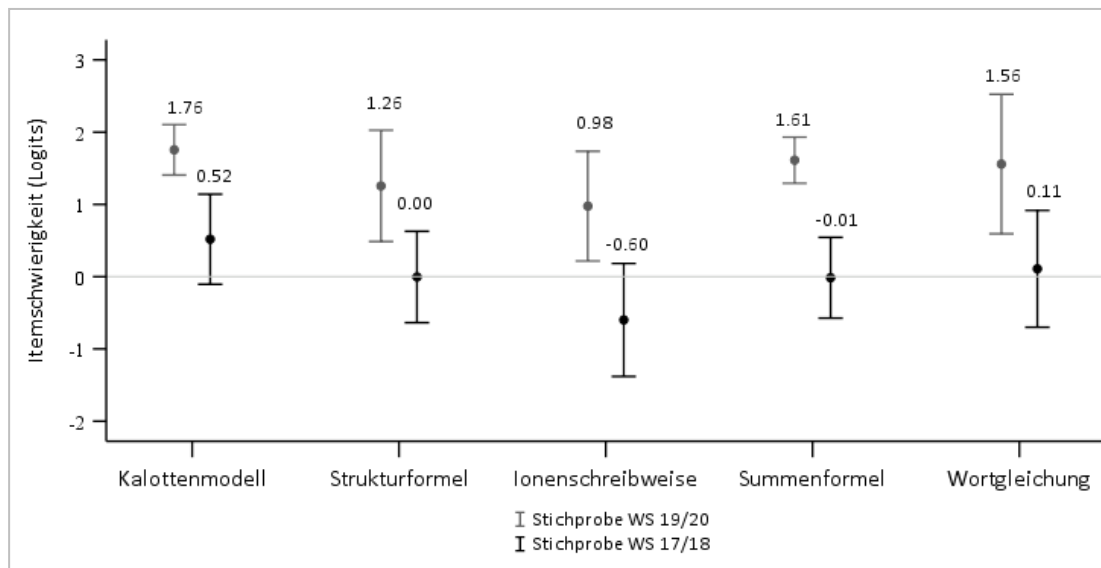


Abbildung 29. Mittlere Itemschwierigkeiten der Repräsentationsitems getrennt nach den Gruppen und Stichproben WS 17/18 und WS 19/20

Die wiederholten Analysen mit den zwei getrennten Datensätzen zeigen ein ähnliches Verhältnis bezüglich der Mittelwerte der Repräsentationsitems getrennt nach den fünf Repräsentationsformen. Aus Abbildung 29 geht hervor, dass die Itemschwierigkeiten für die Stichprobe WS 17/18 ($M = 0.0$, $SD = .97$) allgemein höher ausfallen als für die Stichprobe WS 19/20 ($M = 1.43$, $SD = 0.93$), allerdings zeichnet sich ein ähnliches Muster bezüglich des Verhältnisses der Itemschwierigkeiten zwischen den Repräsentationsformen ab. So zeigt sich auch hier die Tendenz einer höheren mittleren Itemschwierigkeit für die Items, die eine Visualisierung mit dem Kalottenmodell enthalten, wohingegen die Ionenschreibweise erneut den geringsten Mittelwert hat.

Die ermittelten Personenfähigkeiten korrelieren wie die Fähigkeiten im Fachwissenstest mit der Art und Dauer des Chemieunterrichts hoch signifikant ($r_{sp} = .45$, $p < .001$, $N = 278$). Gruppenvergleiche zeigen, dass die Teilnehmenden, die einen Leistungskurs ($M = 0.83$, $SD = 1.25$) belegten, eine höhere Personenfähigkeit aufweisen als Teilnehmende, die einen Grundkurs ($M = 0.18$, $SD = 1.24$) oder Chemieunterricht nur in der Sekundarstufe I ($M = -0.70$, $SD = 1.18$) hatten. Die Mittelwertdifferenzen zwischen allen

Gruppen fallen statistisch signifikant aus ($F(2, 275) = 33.49, p < .001, \eta^2 = .20$). Die Effektstärke $f = 0.5$ zeigt wie bereits beim Fachwissen einen starken Effekt.

Zusammenhang mit dem Fachwissen

Die mittlere Schwierigkeit der Repräsentationsitems ($M = 1.02, SD = 0.87$) ist deskriptiv höher als die der Fachwissensitems ($M = 0.73, SD = 0.87$). Aus den Ergebnissen der Mittelwertsvergleiche geht hervor, dass die Unterschiede jedoch nicht signifikant ausfallen ($t(74) = -1.43, n. s.$).

Mithilfe des Fachwissens- und des Repräsentationstests ermittelten Personenfähigkeiten korrelieren jedoch stark positiv miteinander ($r = .69, p < .001$). Aufgrund des großen Zusammenhanges zwischen der Fähigkeit im Fachwissen und der Fähigkeit Informationen aus multiplen externen Repräsentationen des atomaren Bereichs zu entnehmen, wird eine einfache lineare Regression für die Beschreibung des Zusammenhanges durchgeführt.

Aus der Literatur und insbesondere der empirischen Studien mit dem Schwerpunkt auf externen Repräsentationen im Zusammenhang mit Experten-Novizen geht hervor, dass Personen mit niedrigem Fachwissen größere Schwierigkeiten im Umgang mit externen Repräsentationen aufweisen als Personen mit hohem Fachwissen (Kozma & Russell, 2005). Darüber hinaus geht aus den Beschreibungen von naturwissenschaftlichen externen Repräsentationen hervor, dass externe Repräsentationen modelliertes Fachwissen implizieren. Aufgrund dessen wird vermutet, dass eine ausgeprägte Personenfähigkeit im Fachwissen einen positiven Effekt auf die Personenfähigkeiten im Hinblick auf die Informationsentnahme hat.

Für die Durchführung einer Regressionsanalyse sollte zu Beginn eine Überprüfung der Voraussetzungen erfolgen. Zulässig für die Analyse sind intervallskalierte bzw. metrische Variablen. Sowohl bei den Personenfähigkeiten im Fachwissens- als auch Repräsentationstest handelt es sich um metrisch skalierte Daten, sodass eine Überführung in Dummy Variablen nicht notwendig ist (Backhaus, Erichson, Plinke & Weiber, 2016). Zusätzlich zu der Datenskalisierung werden die Prämissen der Regressionsanalyse anhand der Kriterien der Multikollinearität, Autokorrelation (Unabhängigkeit der Fehlerwerte), Normalverteilung der Residualwerte, Linearität des Zusammenhanges sowie der Homoskedastizität geprüft. Für eine ausführliche Darstellungen der Voraussetzungen für Regressionsanalysen wird an dieser Stelle auf Backhaus et al. (2016) verwiesen.

Die Überprüfung des Kriteriums der Multikollinearität basiert auf der Kollinearitätsstatistik. Die zur Überprüfung herangezogenen Werte der Toleranz ($T > 0.1$) und der Variance Inflation Factor ($VIF < 10$) bestätigen, dass keine Multikollinearität zwischen den beiden Variablen anzunehmen ist. Sowohl die Normalverteilung als auch die Linearität

werden einer visuellen Überprüfung u. a. anhand eines P-P Diagramms der Residualwerten unterzogen. Diesbezüglich lassen sich kleinere Verletzungen der Voraussetzung erkennen. Der Durbin-Watson Test zur Überprüfung der Autokorrelation zeigt mit einem Wert von $d = 1.83$, dass diese Voraussetzung als gegeben aufgefasst werden kann (Field, 2005). Visuelle Überprüfungen der Homoskedastizität Annahmen zeigen auch hier leichte Prämissenverletzungen. Die Analysen der Voraussetzungen zeigt, dass neben kleineren Verletzungen die Annahmen überwiegend gegeben sind. Aufgrund der Vielzahl der Voraussetzungen wird die Durchführbarkeit der Regression durch kleinere Verletzungen nicht eingeschränkt. Backhaus et al. (2016) betonen die Unempfindlichkeit der Regressionsanalyse gegenüber kleineren Verletzungen der Prämissen.

Des Weiteren sollte für die Fortführung der Analyse das gesamte Regressionsmodell signifikant ausfallen. Bei bestehender Signifikanz ist davon auszugehen, dass das Modell zu einer Varianzaufklärung der abhängigen Variable (Personenfähigkeit Repräsentationstest) beiträgt. Die entsprechende statistische Auswertung für das vorliegende Modell zeigt, dass das Gesamtmodell einen signifikanten Beitrag zur Varianzaufklärung leistet ($F(1, 292) = 264.22, p < .001$).

Der Analyse nach trägt die Personenfähigkeit im Fachwissen zur signifikanten Aufklärung der Varianz bezüglich der Personenfähigkeiten in der Informationsentnahme aus multiplen externen Repräsentationen bei ($t = 16.26, p = .001$). Steigt die Personenfähigkeit im Fachwissen um eine Einheit an, so nimmt die Personenfähigkeit bezüglich der Informationsentnahme um 0.63 Einheiten zu. Insgesamt können 47.5 % der Varianz der Personenfähigkeit aus multiplen externen Repräsentationen Informationen zu entnehmen über die Personenfähigkeiten im Fachwissen aufgeklärt werden. Die Varianzaufklärung entspricht mit einer Effektstärke von $f = .95$ einem starken Effekt (Cohen, 1988).

6.5.6 Lernerorientierte Merkmalsvalidierung

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich wie bereits in Abschnitt 6.3. aufgeführt auf die Stichprobe aus dem Datenerhebungszeitraum im WS 19/20. Insgesamt kann für die Auswertung auf die vollständig ausgefüllten Testinstrumente von $N = 130$ Teilnehmenden zurückgegriffen werden.

Für die deskriptive Beschreibung der Ergebnisse des semantischen Differentials und der damit einhergehenden Merkmalszuordnung der Attribute zu den Kategorien der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen werden die Mittelwerte der Kategorien für die einzelnen Attribute bzw. Umschreibungen mithilfe eines Polaritätsprofils visualisiert (Bortz & Döring, 2013; Osgood, 1964). Die dichotomen Attribute des Faktors

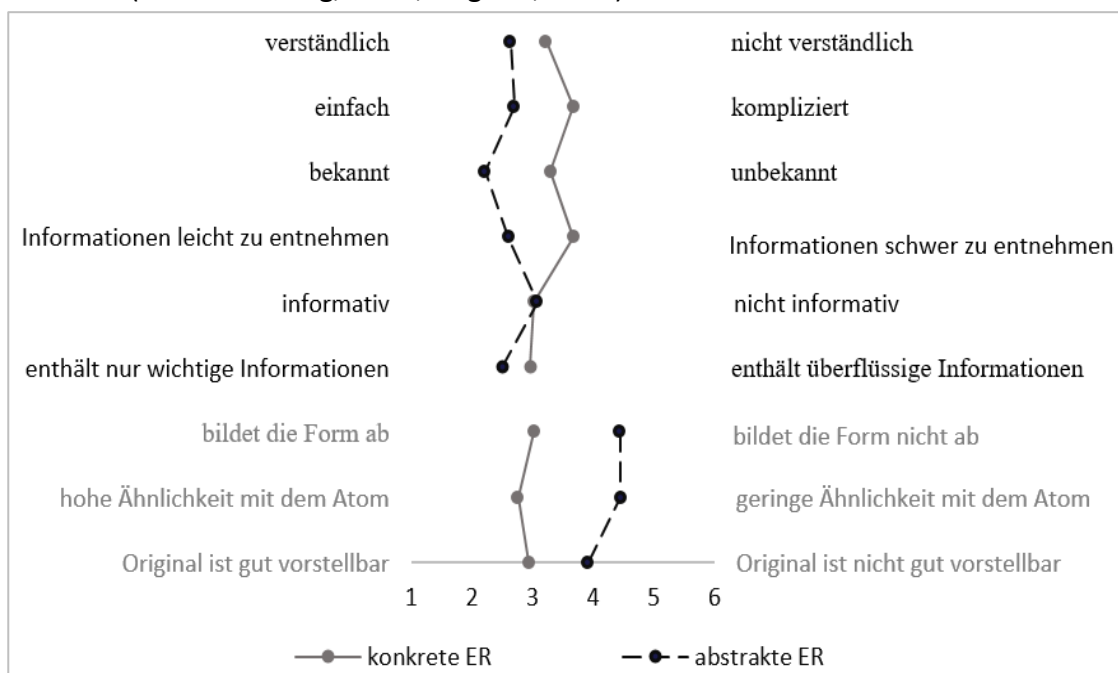


Abbildung 30. Polaritätsprofil für die konkreten und abstrakten externen Repräsentationen

beurteilten Schwierigkeit der Informationsentnahme (schwarz) und der Ähnlichkeitsbeziehung (grau) sind im Polaritätsprofil farblich unterschiedlich hinterlegt.

Aus den Mittelwerten der einzelnen Attribute lässt sich deskriptiv erkennen, dass die Teilnehmenden die Informationsentnahme aus abstrakten externen Repräsentationen als leichter sowie verständlicher charakterisieren bzw. beurteilen. Die Beurteilung der Attributpaare in Bezug auf die Schwierigkeit der Informationsentnahme fällt folglich entgegen der theoretischen Annahmen aus. Die strukturellen und förmlichen Ähnlichkeiten zwischen der externen Repräsentation und dem Referenzobjekt schätzen sie ebenso wie die Vorstellbarkeit des Originals dahingegen jedoch für die konkreten externen Repräsentationen höher ein. Die Unterschiede für die Mittelwerte der einzelnen dichotomen Attributpaare fallen zwischen den Kategorien der konkreten und abstrakten externen

Repräsentationen bis auf eine Ausnahme statistisch signifikant aus, sodass die Kategorien anhand der Attribute differenziert beschrieben werden können.

Tabelle 26. Mittelwertvergleiche für die einzelnen Attribute des Semantischen Differentials

Attribut	Konkrete ER	Abstrakte ER	T-Test	Signifikanz
	M (SD)			
Verständlichkeit	3.23 (1.16)	2.64 (1.1)	t(258) = 4.19,	p < .001
Komplexität	3.68 (1.11)	2.7 (1.13)	t(258) = 7.06,	p < .001
Bekanntheit	3.3 (1.24)	2.22 (1.24)	t(258) = 6.99,	p < .001
Informationsentnahme	3.68 (1.07)	2.61 (0.99)	t(258) = 8.34,	p < .001
Informationsgehalt	3.03 (1.0)	3.08 (0.76)	t(258) = -0.45,	p > .05
Informationsrelevanz	2.96 (0.8)	2.5 (0.76)	t(258) = 4.6,	p < .001
Formähnlichkeit	2.76 (0.89)	4.44 (1.05)	t(258) = -13.89,	p < .001
Strukturähnlichkeit	2.79 (0.90)	4.45 (0.76)	t(258) = -15.97,	p < .001
Vorstellbarkeit	2.94 (1.06)	3.92 (0.98)	t(257) = -7.8,	p < .001

Sowohl aus dem Polaritätsprofil als auch den Mittelwertvergleichen geht hervor, dass der beurteilte Informationsgehalt zwischen den konkreten und abstrakten externen Repräsentationen sich sowohl deskriptiv als auch statistisch nicht voneinander unterscheidet ($t(258) = -0.45$, $p > .05$). Es geht somit nicht hervor, welche der Kategorien der externen Repräsentationen vorwiegend als informativ beurteilt wird und somit die benötigten Informationen für die Bewältigung der Aufgaben und der mentalen Modellkonstruktion ausreichend darstellt.

Für eine zusammenfassende Darstellung der Beurteilung werden die Mittelwerte der aus der faktoranalytischen Auswertung hervorgehenden zwei Skalen (beurteilte Schwierigkeit der Informationsentnahme und Ähnlichkeitsbeziehung zum Modell) für die Kategorien der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen gebildet. Aus den Ergebnissen der Mittelwertvergleiche mithilfe eines t -Tests für unabhängige Stichproben

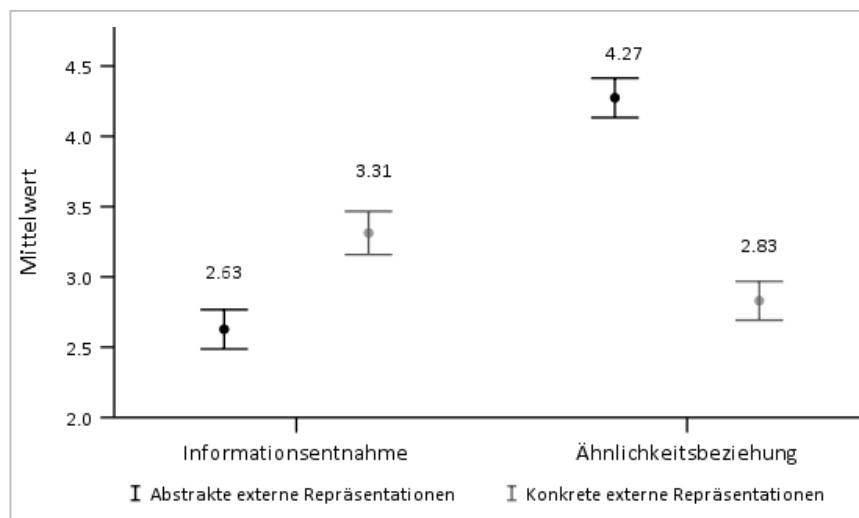


Abbildung 31. Mittelwerte der Skalen für die Kategorien konkret und abstrakt

geht hervor, dass die Unterschiede bezüglich der Mittelwerte der Skala Schwierigkeit

der Informationsentnahme zwischen den abstrakten und konkreten externen Repräsentationen statistisch signifikant sind ($t(258) = 6.51, p < .001$). Nach Cohen (1988) ist ausgehend von der berechnete Effektstärke $d = .38$ von einem mittleren Effekt auszugehen. Die Informationsentnahme wird insgesamt für die abstrakten externen Repräsentationen ($M = 2.63, SD = 0.81$) als einfacher beurteilt als für die konkreten externen Repräsentationen ($M = 3.31, SD = 0.89$).

Auch die Mittelwertdifferenzen in Bezug auf die beurteilte Ähnlichkeit mit dem Modell fallen mit einem starken Effekt statistisch signifikant aus ($t(258) = -14.5, p < .001, d = .67$). Die Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen den konkreten externen Repräsentationen ($M = 2.83, SD = 0.79$) und dem Referenzobjekt werden theoriekonform in einem höheren Grad als gegeben aufgefasst als bei den abstrakten externen Repräsentationen ($M = 4.27, SD = 0.81$).

Insgesamt wurde die Beurteilung der Teilnehmenden für jede einzelne externe Repräsentation mithilfe des Semantischen Differentials und variierenden Inhalten als Stimuli drei Mal erhoben. Um zu analysieren, inwieweit Mittelwertunterschiede in Bezug auf die zwei Skalen Schwierigkeit der Informationsentnahme und Ähnlichkeitsbeziehung im Zusammenhang mit den zu visualisierenden Inhalten bestehen, werden separat die Mittelwerte der drei Reaktionen auf Unterschiede überprüft. Hierzu werden die Mittelwerte der Skalen für jede der drei Reaktionen getrennt nach den Kategorien der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen gebildet und verglichen.

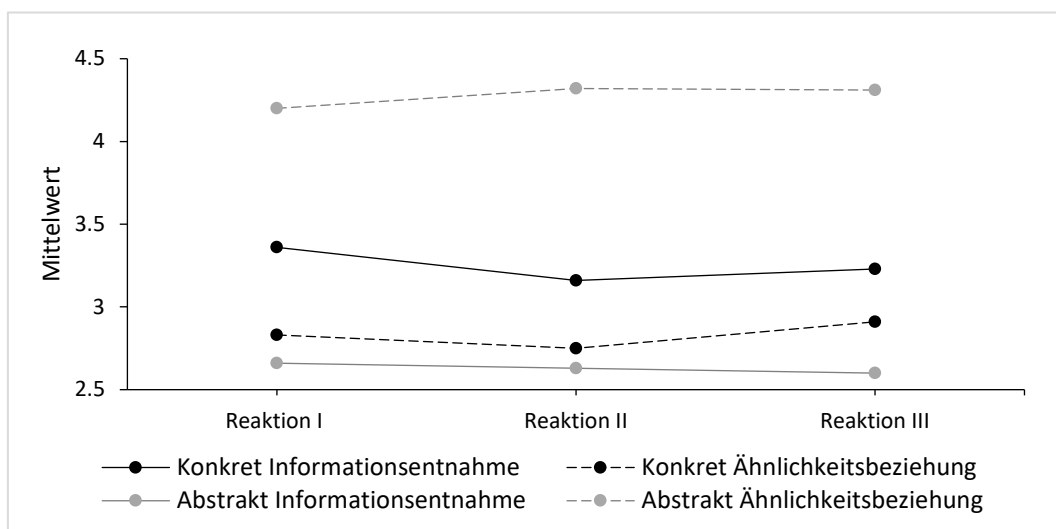


Abbildung 32. Mittelwerte der Skalen für die zugrundeliegenden Inhalte

Die Ergebnisse der Varianzanalysen zeigen, dass sich die Mittelwerte der Skalen der Kategorien konkrete und abstrakte externe Repräsentationen innerhalb einer Reaktion statistisch nicht signifikant unterscheiden.

So unterscheiden sich bspw. die Mittelwerte der beurteilten Schwierigkeit der Informationsentnahme zur Reaktion I ($M = 3.36, SD = 0.92$), Reaktion II ($M = 3.16, SD = 0.93$) und

Reaktion III ($M = 3.25$, $SD = 0.94$) für die konkreten externen Repräsentationen statistisch nicht signifikant voneinander ($F(2, 387) = 1.30$, $n.s.$). Unabhängig von den zu visualisierenden Inhalten durch die externe Repräsentation ist folglich eine kohärente Beurteilung der externen Repräsentationen festzustellen, die nicht durch die Inhalte beeinflusst wird. Ausgehend von den Ergebnissen kann auf eine gute Konstruktvalidität des Semantischen Differentials geschlossen werden.

Mithilfe von Korrelationsanalyse wird überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen der Beurteilung der Schwierigkeit der Informationsentnahme und der Ähnlichkeit zum Modell besteht. Die Ergebnisse lassen darauf zurückschließen, dass die Subskalen der konkreten externen Repräsentationen signifikant korrelieren und somit ein Zusammenhang zwischen der beurteilten Schwierigkeit der Informationsentnahme sowie ihrer Ähnlichkeit mit dem Modell festzustellen ist ($r = .67$, $p < .001$). Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass je höher die Ähnlichkeit mit dem Modell ist, desto geringer wird die Eignung der Informationsentnahme beurteilt. Dahingegen resultiert kein statistischer Zusammenhang zwischen den Mittelwerten der Skalen für die abstrakten externen Repräsentationen.

Basierend auf den Ergebnissen der Experten und Novizen Forschung werden im Folgenden die Unterschiede zwischen den Teilnehmenden mit hohem und niedrigem Fachwissen in Bezug auf die Beurteilung der unterschiedlichen externen Repräsentationen analysiert.

In einem ersten Schritt wird analysiert, inwieweit die Skalen Ähnlichkeitsbeziehung und Schwierigkeit der Informationsentnahme für die konkreten und abstrakten externen Repräsentationen getrennt nach den Gruppen einen Zusammenhang aufweisen. Sowohl für die Gruppe mit den niedrigen Fachwissensfähigkeiten ($r = .24$, $n. s.$) als auch die mit hohen Fachwissensfähigkeiten ($r = .04$, $n. s.$) liegen keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den zwei Skalen vor. Die Skalen Ähnlichkeitsbeziehung und Schwierigkeit der Informationsentnahme korrelieren dahingegen sowohl für die Gruppe mit niedrigen Fachwissensfähigkeiten ($r = .59$, $p < .001$) als auch mit hohen Fachwissensfähigkeiten ($r = .39$, $p < .01$). Allerdings lässt sich anhand der Korrelationskoeffizienten und der Signifikanzniveaus erkennen, dass der Effekt bei der Gruppe mit niedrigen Fachwissensfähigkeiten stark ausfällt und für die Gruppe mit hohen Fachwissensfähigkeiten als mittel zu interpretieren ist. Die Ergebnisse liefern Hinweise, dass insgesamt für die Gruppe mit starken Fachwissensfähigkeiten die Schwierigkeit der Informationsentnahme zu einem geringeren Grad von der Ähnlichkeitsbeziehung der externen Repräsentation im Zusammenhang steht. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass bereits ein stabiles mentales Modell vorliegt.

Ein *t*-Test für unabhängige Stichproben zeigt in Bezug auf die Schwierigkeit der Informationsentnahme aus konkreten externen Repräsentationen zeigen, dass die Unterschiede

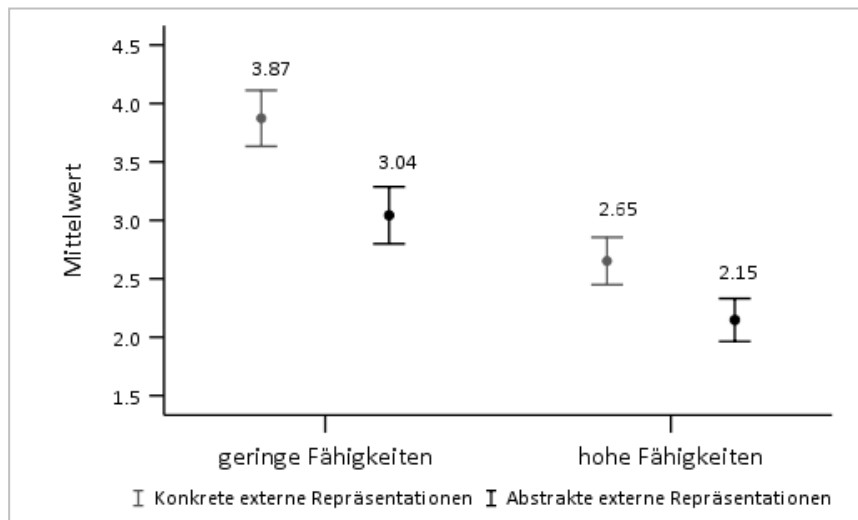


Abbildung 33. Mittelwerte der Skalen für die Kategorien konkret und abstrakt getrennt nach Gruppen

zwischen den Personen mit hohen ($n = 45$) und niedrigen Personenfähigkeiten ($n = 48$) signifikant sind ($t(91) = 7.78, p < .001$). Diesbezüglich lässt sich den Mittelwerten der Gruppen entnehmen, dass die Personen mit niedrigen Personenfähigkeiten mit einem Mittelwert von $M = 3.87$ ($SD = 0.82$) die Schwierigkeit der Informationsentnahme aus konkreten externen Repräsentationen höher beurteilen als Personen mit hohen Fähigkeiten ($M = 2.65, SD = 0.68$). Entsprechend des errechnen Koeffizienten $d = .63$ kann der Effekt als stark interpretiert werden. Zusätzlich lässt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen in Bezug auf die beurteilte Schwierigkeit der Informationsentnahme aus den abstrakten externen Repräsentationen feststellen ($t(91) = 5.85, p < .001, d = .52$). Auch im Hinblick auf die Schwierigkeit der Informationsentnahme aus abstrakten externen Repräsentationen weist der Mittelwert ($M = 3.04, SD = 0.84$) der Personen mit niedrigem Fachwissen darauf hin, dass die Schwierigkeit der Informationsentnahme aus den abstrakten externen Repräsentationen höher beurteilt wird als von Teilnehmenden mit hohem Fachwissen ($M = 2.15, SD = 0.61$).

Insgesamt kann auch der Gruppenvergleiche in Bezug auf die beurteilte Schwierigkeit der Informationsentnahme aus konkreten und abstrakten externen Repräsentationen bei beiden Gruppen die Tendenz entnommen werden, dass die Informationsentnahme aus den konkreten externen Repräsentationen als schwieriger beurteilt wird als aus den abstrakten.

In Bezug auf die beurteilte Ähnlichkeit der abstrakten externen Repräsentationen mit dem Modell unterscheiden sich die Mittelwerte der Gruppen mit hohem ($M = 4.43, SD = 0.83$) und niedrigem Fachwissen ($M = 4.28, SD = 0.83$) statistisch nicht signifikant voneinander. Dahingegen fallen die Mittelwertunterschiede zwischen den Gruppen in

Bezug auf die Ähnlichkeitsbeziehung sowie Vorstellbarkeit für die konkreten externen Repräsentationen statistisch signifikant aus ($t(91) = 7.17, p < .001$). Laut der Literaturwerte der Effektstärken weist der Wert $d = .60$ auf einen starken Effekt hin (Cohen, 1988). Die Gruppe mit hohen Personenfähigkeiten schätzen die Ähnlichkeitsbeziehungen zum Referenzobjekt und die Vorstellbarkeit des Originals mit einem Mittelwert von ($M = 2.28, SD = 0.58$) bei den konkreten externen Repräsentationen höher ein als die Personen mit niedrigem Fachwissen ($M = 3.24, SD = 0.7$). Die Ergebnisse zeigen, dass Personen mit hohen Fachwissensfähigkeiten die Schwierigkeit der Informationsentnahme für konkrete externe Repräsentationen geringer einstufen als Proband*innen mit niedrigen Fähigkeiten und gleichzeitig die Ähnlichkeit und Vorstellbarkeit des Originals für die konkreten externen Repräsentationen höher beurteilen.

6.6 Zusammenfassende Diskussion

Ziel des ersten Teilprojektes war die Analyse der Informationsentnahme aus konkreten und abstrakten externen Repräsentationen des atomaren Bereichs und ihres Zusammenhangs mit dem Fachwissen. Im Folgenden Abschnitt werden mit Rückbezug zu den in Abschnitt 5 formulierten Fragestellungen und Hypothesen die resultierenden Ergebnisse diskutiert. Dem ersten Teilprojekt liegen folgende Forschungsfragen und Hypothesen zugrunde:

F1: Inwiefern können Lernende Informationen aus konkreten und abstrakten multiplen externen Repräsentationen entnehmen?

F2: Wie werden die theoretisch postulierten Merkmale von ausgewählten konkreten und abstrakten externen Repräsentationen des atomaren Bereichs in Bezug auf die Ähnlichkeitsbeziehung und die Schwierigkeit der Informationsentnahme von Lernenden beurteilt?

F3: Inwiefern steht das Fachwissen mit der Fähigkeit der Informationsentnahme aus multiplen externen Repräsentationen sowie der Beurteilung von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen im Zusammenhang?

Im Rahmen der Studie wird die in der Repräsentationskompetenz genannte Teilfähigkeit der Informationsentnahme sowie die lernerorientierte Merkmalsvalidierung in Bezug auf die externen Repräsentationen fokussiert. Zudem werden diese in Beziehung mit dem Fachwissen gesetzt. Mithilfe von entwickelten und validierten Testinstrumenten wurde im Rahmen einer quantitativen Querschnittstudie zu zwei Erhebungszeitpunkten die Repräsentationskompetenz der Informationsentnahme in Abgrenzung zum Fachwissen erhoben. Zu einem Messzeitpunkt wurden die Ergebnisse aus dem Repräsentationstest mithilfe der beurteilten Schwierigkeit der Informationsentnahme validiert (externe Validierung) und zum anderen wurden die Ergebnisse in Bezug auf die Modellpassung und den Itemschwierigkeiten mithilfe der zwei Stichproben zu unterschiedlichen Messzeitpunkten überprüft (Replikation).

Da insbesondere aus der Experten-Novizen Forschung Ergebnisse und Annahmen über die Repräsentationskompetenz im Zusammenhang mit dem Fachwissen hervorgehen, werden sowohl die Ergebnisse bezüglich der Repräsentationsfähigkeit als auch der Merkmalsvalidierung der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen aus Lernaltersicht zunächst separat im Zusammenhang mit dem Fachwissen betrachtet. Aufgrund dessen wird zunächst die Forschungsfrage F1 sowie der in F3 aufgegriffene Zusammenhang zwischen dem Fachwissen und der Repräsentationsfähigkeit diskutiert.

Aus den Forschungsergebnissen bezüglich der Lerneffekte und der Informationsentnahme aus konkreten und abstrakten externen Repräsentationen gehen teilweise sich

widersprechende Ergebnisse hervor, sodass für die Forschungsfrage F1 unter Hinzunahme der theoretischen Annahme folgende Hypothese aufgestellt wurde:

H1: Die als konkret angenommenen externen Repräsentationen begünstigen die Informationsentnahme aus externen Repräsentationen des atomaren Bereichs.

Bezüglich F3 und dem immanenten Zusammenhang zwischen der Fähigkeit, Informationen aus multiplen externen Repräsentationen zu entnehmen, sowie dem Fachwissen wurden folgende Hypothesen abgeleitet.

H2: Die Fähigkeit Informationen aus multiplen externen Repräsentationen zu entnehmen, lässt sich als separates Konstrukt vom Fachwissen messen, weist jedoch einen großen Zusammenhang mit dieser auf.

H3: Ein ausgeprägtes Fachwissen begünstigt die Fähigkeit Informationen aus multiplen externen Repräsentationen zu entnehmen.

Hypothese H1 kann auf der Grundlage der aus dem Repräsentationstest resultierenden Ergebnisse nicht für die externen Repräsentationen des atomaren Bereichs verifiziert werden. Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Mittelwertunterschiede oder eindeutigen Tendenzen zwischen den Itemschwierigkeiten der als konkret und abstrakt kategorisierten externen Repräsentationen. Deskriptiv zeigen die Items, die das Kalottenmodell enthalten, die höchste und die Ionenschreibweise die niedrigste durchschnittliche Itemschwierigkeit auf. Auch die berechneten mittleren Itemschwierigkeiten für die konkreten und abstrakten externen Repräsentationen zeigen tendenziell, dass die Items mit den als konkret angenommenen externen Repräsentationen durchschnittlich eine höhere Itemschwierigkeit aufweisen als die abstrakten. Eine wiederholte Überprüfung der Hypothese und der Ergebnisse erfolgte anhand von Analysen auf der Grundlage der zwei getrennten Stichproben. Allerdings zeigen die Ergebnisse auch für die getrennten Stichproben ähnliche Tendenzen in Bezug auf die Itemschwierigkeiten der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen, sodass die Hypothese H1 verworfen wird. Obgleich die Unterschiede zwischen den Repräsentationsformen statistisch nicht nachgewiesen werden können, legen die replizierten Ergebnisse und das wiederholte Muster der Itemschwierigkeiten die Vermutung nahe, dass die Schwierigkeit der Informationsentnahme nicht theoriekonform zu beurteilen ist. Von den Ergebnissen ausgehend, bleibt die Frage offen, ob das Muster der Itemschwierigkeiten für die Lernenden mit niedrigen und hohen Fachwissen gleich ausfällt und die Unterschiede zwischen den Itemschwierigkeiten für eine der Gruppen signifikant ausfällt. Zu vermuten bleibt, dass die Unterschiede zwischen den Repräsentationen mit zunehmenden Fähigkeiten geringer ausfallen und für die Gruppen mit niedrigen Fähigkeiten größer werden.

Im Rahmen von F3 wird das Forschungsanliegen bezüglich des Zusammenhangs zwischen der Repräsentationskompetenz der Informationsentnahme und dem Fachwissen angestrebt. Aus der Theorie geht hervor, dass die Repräsentationsfähigkeiten von dem Fachwissen abzugrenzen sei und als separate Fähigkeiten beschrieben werden, die unabhängig vom Fachwissen ebenfalls einer Förderung bedürfen (Ainsworth, 2006; Kozma & Russell, 2005). Für die Analyse des Zusammenhanges zwischen den zwei angenommenen Konstrukten Fachwissen und Informationsentnahme aus externen Repräsentationen erfolgt die Überprüfung bzw. Passung des eindimensionalen und zweidimensionalen Modells mithilfe der Raschanalyse. Die Passung der konkurrierenden Modelle wurde durchgeführt, um die hinter den zwei angenommenen Konstrukten liegende Struktur zu analysieren und die Frage zu beantworten, ob mit den Testinstrumenten zwei separate Konstrukte oder ein Konstrukt gemessen werden. Die Ergebnisse der Analyse fallen zugunsten des angenommenen zweidimensionalen Modells aus. Darüber hinaus zeigen sowohl die Konstrukte an sich als auch die ermittelten Personenfähigkeiten in Bezug auf die zwei Konstrukte einen starken Zusammenhang. Die Hypothese H2 kann somit verifiziert werden. Bezüglich des Fachwissens und der Fähigkeit der Informationsentnahme aus multiplen externen Repräsentationen, die als Teilfähigkeit der Repräsentationskompetenz aufgefasst wird, kann ein starker Zusammenhang festgestellt werden, dennoch können sowohl die Konstrukte als auch die damit einhergehenden Personenfähigkeiten als zwei separate Dimensionen gedeutet werden. Folglich weisen die Ergebnisse darauf hin, dass die Repräsentationsfähigkeit eine vom Fachwissen unabhängige Kompetenz, wie sie von diSessa (2004), Kozma und Russell (2005) und Ainsworth (2008a) differenziert postuliert und dargestellt wird, handelt (siehe Abschnitt 3.6). Aus weiteren Ergebnissen geht hervor, dass das Fachwissen zwar einen Großteil, jedoch nicht die Gesamtvarianz der Repräsentationsfähigkeit aufklärt. Im Hinblick auf die Struktur und Teilfähigkeiten der Repräsentationskompetenz wird angenommen, dass das Wissen über die externe Repräsentation sowie ihrer „Syntax“ d. h. die Art und Weise der Verschlüsselung von Informationen durch die externen Repräsentationen eine grundlegende Voraussetzung für die Informationsentnahme aus externen Repräsentationen sei (Ainsworth, 2008a). Ausgehend von den formulierten Teilfähigkeiten der Repräsentationskompetenz und der angenommenen Zusammenhänge zwischen diesen, kann die Vermutung aufgestellt werden, dass ein weiterer Teil der Varianz durch das Wissen über die Syntax der fünf Repräsentationsformen aufgeklärt werden könnte.

Für die Überprüfung von H3 wurden ausgehend von den ermittelten Personenfähigkeiten im Fachwissen Gruppenvergleiche in Bezug auf die Fähigkeiten im Repräsentationstest durchgeführt. Die Ergebnisse der Zusammenhangsanalysen bestätigen, dass eine hohe Fachwissensfähigkeit mit einer hohen Fähigkeit bezüglich der Informationsentnahme einhergeht. Diesbezüglich kann statistisch für die Personen mit hohen Fähigkeiten im Fachwissen eine höhere Fähigkeit in der Informationsentnahme nachgewiesen

werden als für die Personen mit niedrigen Fachwissensfähigkeiten. Die formulierte Hypothese und die Ergebnisse zur Experten-Novizen Forschung können somit ausgehend von den Ergebnissen der vorliegenden Studie für die Fähigkeit der Informationsentnahme aus multiplen externen Repräsentationen bestätigt werden. Kozma und Russell (1997) konnten anhand einer qualitativen Studie bereits zeigen, dass ausgebildete Chemiker*innen (Experten) höhere Fähigkeiten gegenüber Studierende (Novizen) aufzeigten, wenn sie eine vorgegebene Repräsentationsform in eine andere überführten.

Für die Analyse der Beurteilung der Merkmale von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen durch die der Proband*innen wurde theoriebasiert ein Semantisches Differential konstruiert, um die Ähnlichkeitsbeziehung zwischen den externen Repräsentationen sowie dem Referenzobjekt als auch der beurteilten Schwierigkeit der Informationsentnahme aus Lernalter zu erfassen. Die in dem Semantischen Differential enthaltenen dichotomen Attributpaare wurden ausgehend von den Ausführungen zu konkreten und abstrakten externen Repräsentationen konstruiert. Aufgrund der derzeitigen Forschungsgrundlage und trotz der aus der Theorie deduktiv hergeleiteten Kategorien erfolgte keine Formulierung von Hypothesen für F2 und den in F3 beinhalteten Zusammenhang zwischen der Merkmalszuordnung durch die Lernenden sowie dem Fachwissen. Aus den Ergebnissen gehen für die Attribute zwei Faktoren hervor. Die Anzahl der extrahierten Faktoren des vorliegenden Semantischen Differentials könnte auf die geringe Itemanzahl zurückzuführen sein. So bleibt die Frage offen, ob bei einer größeren Itemanzahl sich nicht mehr als zwei Faktoren abzeichnen würden. Für das in der Studie genutzte Semantische Differential lassen sich die Items eines Faktors zu der Skala Schwierigkeit der Informationsentnahme und die des zweiten als Ähnlichkeit mit dem Modell zusammenfassen. Die Mittelwertunterschiede zwischen den einzelnen Attributen für die Kategorien der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen sind bis auf eine Ausnahme statistisch signifikant und eignen sich somit gut für die Merkmalszuordnung. Die Mittelwertunterschiede bezüglich der Informationsgehalt fiel zwischen den beiden Kategorien jedoch nicht signifikant aus. Mit Rückbezug zur Theorie könnte das Ergebnis als Hinweis für die Schwierigkeit von Lernenden im Hinblick auf die Differenzierung zwischen (aufgaben-) relevanten und irrelevanten Merkmalen und Informationen einer externen Repräsentation gedeutet werden. Gilbert (2008) postulierte die Schwierigkeit von Lernenden relevante Informationen in einer externen Repräsentationen zu erkennen und zu extrahieren. Die Ergebnisse aus der Studie von Graulich et al. (2019) zeigen im Bereich der organischen Chemie, dass Lernende sich an Oberflächenmerkmalen von Repräsentationen (explizite Eigenschaften) aufhalten und implizite Eigenschaften, die für die Aufgabenbewältigung erschlossen werden müssen, verkennen. Das Item zum Informationsgehalt ist aus den Analysen ausgeschlossen worden, weil die

Beurteilung über die Kategorien der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen hinweg gleich ausfiel und sich somit nicht als differenzierendes Merkmal herausstellte. Zu erwarten war, dass die Lernenden angeben, dass bspw. die Summenformel zu einem geringeren Grad informativ ist als die Strukturformel, da weder die Dissoziation noch die Ladungen aus der Summenformel explizit hervorgehen. Nichtsdestotrotz geht aus der Beurteilung der Lernenden hervor, dass der Informationsgehalt über die Repräsentationsformen hinweg in Bezug auf die zugrundeliegenden Inhalte im Themenbereich der Säuren und Basen gleich sei. Dieses Ergebnis lässt die Vermutung zu, dass die Lernenden Schwierigkeiten haben die durch die Repräsentationsformen visualisierten Informationen im Abgleich mit den für die Aufgabenbewältigung benötigten Informationen und der damit einhergehenden mentalen Modellkonstruktion zu beurteilen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die beurteilte Ähnlichkeitsbeziehung zwischen den konkreten und abstrakten externen Repräsentationen und dem Referenzobjekt als theoriekonform beschrieben werden können. Diese werden für die als konkret zusammengefassten konkreten externen Repräsentationen höher eingeschätzt als für die abstrakten externen Repräsentationen. Der Skala Ähnlichkeitsbeziehung ist die Vorstellbarkeit des Referenzobjektes immanent, die neben der formalen und strukturellen Ähnlichkeitsbeziehung somit ebenfalls für die konkreten externen Repräsentationen als höher angegeben wird als bei den abstrakten externen Repräsentationen. Die Ergebnisse lassen sich in Beziehung mit der von Schnotz (2002) formulierten Annahme, dass ausgehend von konkreten externen Repräsentationen die Bildung eines mentalen Modells von dem Referenzobjekt unterstützender sei als von abstrakten, setzen. Aus den Beurteilungen der Proband*innen lässt sich schlussfolgern, dass eine hohe Ähnlichkeit zwischen der Repräsentation und dem Referenzobjekt im positiven Zusammenhang mit der Vorstellbarkeit des Referenzbereichs steht. Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie bleibt unklar, wie die Proband*innen im Detail das Referenzobjekt beschreiben würden und in welchem Verhältnis diese zu den wissenschaftlichen Erkenntnissen über den atomaren Bereich stehen.

Trotz der als hoch beurteilten Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen den konkreten externen Repräsentationen und dem atomaren Bereich schreiben die Proband*innen den konkreten externen Repräsentationen die Merkmale zu, die auf einen höheren Schwierigkeitsgrad bezüglich der Informationsentnahme hindeuten. Dem gegenüber wird die Informationsentnahme aus den abstrakten externen Repräsentationen als einfacher beurteilt. Die Ergebnisse aus der Skala der beurteilten Schwierigkeit der Informationsentnahme spiegeln sich in dem Muster der Itemschwierigkeiten aus dem Repräsentationstest wider. Die Itemschwierigkeiten deuten wie die Beurteilung der Lernenden darauf hin, dass die Informationsentnahme aus konkreten externen Repräsentationen mit größeren Schwierigkeiten verbunden sei als aus abstrakten.

Zwischen der beurteilten Schwierigkeit der Informationsentnahme und der Ähnlichkeitsbeziehung ist lediglich für die konkreten externen Repräsentationen ein Zusammenhang festzustellen, jedoch nicht für die Skalen in Bezug auf die abstrakten externen Repräsentationen. Somit lässt sich anhand der Beurteilung der Lernenden für die konkreten externen Repräsentationen festhalten, dass je ähnlicher die externe Repräsentationsform mit dem Referenzobjekt ist, desto geringer wird die Eignung zur Informationsentnahme beurteilt.

Vergleiche zwischen den Gruppen mit hohen und niedrigen Personenfähigkeiten im Fachwissen zeigen über die Kategorien der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen hinweg, dass die Gruppe mit niedrigem Fachwissen die Informationsentnahme als schwieriger eingeschätzt hat als die Gruppe mit hohen Fähigkeiten. Die Ergebnisse in Bezug auf die Fachwissensfähigkeiten und der eingeschätzten Informationsentnahme aus den multiplen externen Repräsentationen spiegeln den Zusammenhang zwischen dem Fachwissen und der Fähigkeit der Informationsentnahme wider. Auch diesbezüglich ließ sich wie bereits beschrieben festhalten, dass niedrige Fachwissensfähigkeiten im Zusammenhang mit niedrigen Fähigkeiten im Repräsentationstest stehen. Die Gruppenunterschiede im Hinblick auf die Beurteilungen der Ähnlichkeitsbeziehung können einen Hinweis darauf liefern, dass das Vorhandensein eines stabilen mentalen Modells dazu führt, dass die Unterschiede zwischen den Repräsentationen und den Merkmalen geringer ausfallen. Insgesamt ist festzuhalten, dass sich die lernerorientierte Validierung der Annahmen nach Schnotz in Bezug auf die Informationsentnahme aus konkreten und abstrakten externen Repräsentationen beschränkt. Offen bleibt die Frage, ob im Zusammenhang mit anderen Zwecken die gleichen externen Repräsentationen von den Lernenden anders eingeschätzt werden. Zusammenfassend geht aus den Ergebnissen der Beurteilung hervor, dass die Lernenden die Ähnlichkeitsbeziehung zum Referenzbereich und die Vorstellbarkeit des Originals für die konkreten externen Repräsentationen höher einschätzen als für die abstrakten, dennoch beurteilen sie die Eignung der konkreten externen Repräsentationen für die Informationsentnahme als geringer. Von diesen Ergebnissen und insbesondere aus der Beurteilung der Ähnlichkeitsbeziehung ergibt sich die Frage, inwieweit die Lernenden die konkreten und abstrakten externen Repräsentationen beurteilen, wenn sie Inhalte bzw. Informationen mithilfe einer externen Repräsentation erklären bzw. vermitteln sollen.

7 Empirische Untersuchung zu der Nutzung von externen Repräsentationsformen im Modellierprozess

Basierend auf den Ergebnissen der ersten Studie ergab sich die forschungsleitende Fragestellung für die zweite Untersuchung. Wie bereits erläutert geht aus der Erfassung der lernerorientierten Merkmalsvalidierung der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen hervor, dass die hohe Ähnlichkeitsbeziehung zwischen dem Referenzobjekt und den konkreten externen Repräsentationen von den Teilnehmenden theoriekonform als höher eingeschätzt werden als für die abstrakten. Dessen ungeachtet deuten die Ergebnisse sowohl aus dem Semantischen Differential als auch dem Repräsentationstest auf eine durchschnittlich höhere Schwierigkeit in Bezug auf die Informationsentnahme aus konkreten externen Repräsentationen hin als aus abstrakten, obwohl den konkreten externen Repräsentationen mehr Informationen über das Referenzobjekt immanent sind. Aus externen Repräsentationen Informationen zu entnehmen bzw. anhand dieser zu generieren wird im Rahmen der Repräsentationskompetenz als eine Fähigkeit der deklarativen Facette beschrieben. Innerhalb des zweiten Teilprojekts erfolgte eine Schwerpunktverschiebung von der Fähigkeit der Informationsentnahme aus konkreten und abstrakten externen Repräsentationen zu der Fähigkeit des Erklärens mithilfe von externen Repräsentationen, die als prozedurale Teilfähigkeit beschrieben wird. In diesem Zusammenhang stellte sich primär die Frage, inwieweit Lernende externe Repräsentationsformen des atomaren Bereichs innerhalb von erklärenden Phasen in Modellierprozessen nutzen. Der Fokus des zweiten Teilprojekts liegt somit auf der Teilfähigkeit *Nutzen von Repräsentationen für das Beschreiben und Erklären von beobachteten chemischen Phänomenen*, die der prozeduralen Facette der Repräsentationskompetenz zugeordnet wird (siehe Abschnitt 3.5). Im Zuge dessen erfolgt die Analyse über die Wahl für die zur Auswahl gestellten externen Repräsentationsformen des atomaren Bereichs sowie des Zusammenhangs zwischen der gewählten externen Repräsentationsformen und dem Nutzungsverhalten in erklärenden Phasen.

7.1 Untersuchungsdesign

Für die Analyse der Forschungsfrage, inwieweit die unterschiedlichen externen Repräsentationsformen einen Einfluss auf die Modellierung haben, eignen sich insbesondere experimentelle Designs. Allerdings würde ein kontrolliertes experimentelles Design die Untersuchung der Wahl für eine externe Repräsentation nicht ermöglichen, sodass das Design neben experimentellen Studiendesignanteilen auch Elemente von nicht experimentellen Designs beinhaltet. Aufgrund dessen wird im Folgenden zunächst ein Überblick über unterschiedliche Studiendesigns gegeben, bevor eine Verortung der vorliegenden Studie erfolgt.

Die Spannweite von Untersuchungsdesigns umfasst Formen einer empirischen Beobachtung bis hin zum Experiment unter Laborbedingungen. Während im Rahmen einer Beobachtungsstudie der Fokus auf das Beobachten von Situationen in natürlichen Umgebungen liegt und auf das Eingreifen oder die Manipulation von Variablen durch die Versuchsleitung verzichtet wird, lassen sich experimentelle Designs im Wesentlichen durch zwei Merkmale charakterisieren (Campbell & Stanley, 2015; Shadish, Cook & Campbell, 2002). Experimentelle Designs lassen sich von nicht experimentellen Designs insoweit abgrenzen, als dass eine Manipulation der Versuchsbedingungen und eine Kontrolle störender Einflüsse vorgenommen werden. Ziel ist die Analyse von Zusammenhängen zwischen einer potentiellen Ursache, die als unabhängige Variable bezeichnet wird, und ihren Effekt auf mögliche so genannte abhängigen Variablen (Bortz & Döring, 2013; Shadish et al., 2002). Im Rahmen eines Experiments werden die Versuchspersonen den unterschiedlichen Versuchsbedingungen und somit den Vergleichsgruppen mittels Zufallsaufteilung (Randomisierung) oder Parallelisierung zugeordnet (Shadish et al., 2002). Mit den Kontrolltechniken der Probandenverteilung auf die Vergleichsgruppen werden im Hinblick auf personenbezogene relevante Variablen möglichst äquivalente Vergleichsgruppen angestrebt, sodass keine Unterschiede der Ausprägung, beispielsweise der Variable Intelligenz, zwischen den Vergleichsgruppen besteht.

Quasi-experimentelle Designs entsprechen ebenfalls der Klasse experimenteller Studien, innerhalb der eine Variation bzw. Manipulation der unabhängigen Variable vorgenommen wird, allerdings erfolgt im Unterschied zu den klassischen experimentellen Designs keine Randomisierung der Versuchspersonen auf die Vergleichsgruppen (Campbell & Stanley, 2015; Shadish et al., 2002). In quasi-experimentellen Designs werden die Vergleichsgruppen u. a. durch bereits bestehende bzw. gegebene Merkmale wie das Geschlecht oder Alter gebildet. Um eine Kontrolle potentieller Störgrößen dennoch vorzunehmen und Unterschiede zwischen den Vergleichsgruppen festzustellen, werden mithilfe von Vortests relevante Variablen erfasst, um bei gegebenen Unterschieden diese in weiteren Analysen zu berücksichtigen (Bortz & Döring, 2013; Campbell & Stanley, 2015; Shadish et al., 2002).

Mit dem zweiten Teilprojekt wird der Zusammenhang zwischen einer ausgewählten externen Repräsentationsform und dem Nutzungsverhalten fokussiert, sodass das Teilprojekt entsprechend eines quasi-experimentellen Designs mit einem interierten Prä-Post-Testplan konzipiert wurde. Im Rahmen dessen stellt die gewählte externe Repräsentationsform die unabhängige und das Nutzen der externen Repräsentation in erklärenden Phasen die abhängige Variable dar. Darüber hinaus wird der Einfluss auf die Informationsentnahme sowie das Fachwissen analysiert, die zudem zum Prä-Testzeitpunkt genutzt werden, um mögliche Unterschiede zwischen den entstehenden Gruppen zu analysieren. In dieser Studie erfolgt keine Zuteilung der Versuchspersonen auf die Versuchsbedingungen und somit den Vergleichsgruppen, sondern die Lernenden bestimmen anhand ihrer Wahl für eine externe Repräsentation die Versuchsbedingungen. Die Begründung für diese Entscheidung ist auf das in F4 formulierte Forschungsinteresse an der Wahl der Lernenden für eine konkrete oder abstrakte externe Repräsentation und der angestrebten Berücksichtigung der Lernerperspektive in Bezug auf die konkreten und abstrakten externen Repräsentationen zurückzuführen. Den Lernenden wurden hierbei die Edukte und Produkte der an der Reaktion beteiligten Verbindungen in Form der kon-

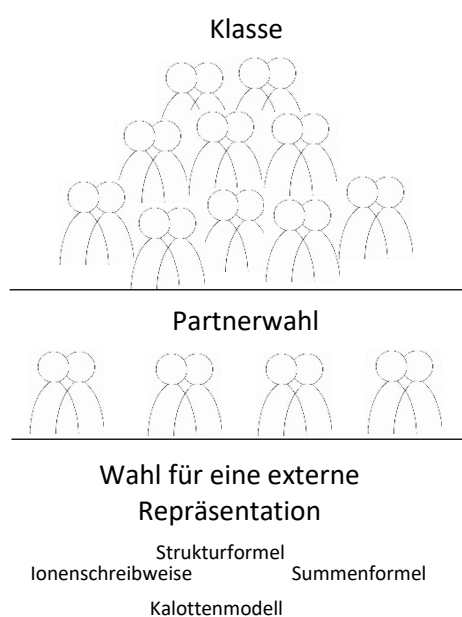


Abbildung 34. Schematische Beschreibung der Gruppenzusammensetzung

kreten externen Repräsentationen ‚Strukturformel‘ und ‚Kalottenmodell‘ sowie der abstrakten ‚Verhältnis- und Ionschreibweise‘ zur Auswahl gestellt. Die Visualisierungen von den Edukten und Produkten der jeweiligen Versuche mithilfe von Wörtern wurden aus dieser Untersuchung ausgeschlossen, da die Videos und das Instruktionsmaterial verbalisierte und schriftliche Repräsentationen des atomaren Bereichs in Form von Wörtern enthielt und das die Erklärung beeinflussen könnte.

Die Untersuchung umfasste eine 45-minütige Intervention mit dem thematischen Schwerpunkt Säuren und Basen. Ausgehend von den theoretischen Ausführungen zu erklärenden Phasen im Chemieunterricht, wurde eine Lernumgebung

initiiert, in der ein chemisches Phänomen beobachtet und anschließend mithilfe einer externen Repräsentation gedeutet und dem*r Partner*in erklärt wurde. In Anlehnung an den Erkenntnisprozess fokussierte die Lernumgebung die Phasen des Beobachtens und Auswertens. Für die Schaffung einer authentischen Erklärsituation arbeiteten die Proband*innen in selbst gewählten Paaren und erhielten zwei unterschiedliche Phänomene in Form von videografierten Versuchen, die sie dem jeweils anderen erklärten.

Diesbezüglich bearbeiteten die Mitglieder*innen eines Paares unterschiedliche Phänomene, sodass innerhalb der Paare die zwei Mitglieder jeweils ein anderes Phänomen vorbereiteten. Um Reihenfolgeeffekte zu verhindern, begann jeweils eine Hälfte der Paare eines Kurses mit dem Springbrunnenversuch während die andere Hälfte mit der Neutralisation begann. Gegenstand beider Videos ist die Thematik der Säuren und Basen sowie ein Protonentransfer, um die Phänomene möglichst ähnlich zu halten und über die Lernenden hinweg die Beobachtung und Erklärung nicht durch fehlerhafte oder unterschiedliche Versuchsdurchführungen innerhalb eines Versuchs zu beeinflussen (siehe Abschnitt 7.4.1). Am Ende des Modellierprozesses wurden die Lernenden gebeten, mündlich ihre Wahl für die Repräsentationsform zu begründen.

7.2 Methodische Vorgehensweise

Die Datenerhebung und –auswertung des zweiten Teilprojektes basiert auf einer Methodentriangulation, die durch die Kombination und Integration von quantitativen und qualitativen Methoden gekennzeichnet ist. Für die Umsetzung der Forderung nach prozessbezogener Forschungsansätze im Hinblick auf die Modellierprozesse sowie eine umfassende Adressierung der Nutzung von externen Repräsentationsformen in der Erklärungsphase wurde auf qualitative Methoden der Screencast-Videografie zurückgegriffen. Screencast-Videografie wird als Forschungsmethode definiert, die eine dynamische und visuelle Form der Untersuchung fokussiert und die Datenerhebung audiovisueller Prozesse durch Bildschirmaufnahmen mit Audiographie ermöglicht (Kawaf, 2019). Für die Methode der Screencast-Videografie ist bisher nur ein rudimentärer Einzug in die naturwissenschaftsdidaktischen Forschungskontexte zu verzeichnen. Auf große Resonanz stößt die Methode für die Gestaltung von Instruktionen (z. B. Erklärvideos) oder in Forschungskontexten des Marketings (Kawaf, 2019). Durch die zunehmende Digitalisierung von Lernprozessen und der damit einhergehenden Forschungsansätze lässt sich der Screencast-Videografie ein enormes Potential für die Datenerfassung zuschreiben (Kawaf, 2019).

Im Fokus der Analyse steht die Nutzung der gewählten externen Repräsentationsform beim Erklären eines chemischen Phänomens, sodass primär die Erfassung des Zusammenhangs zwischen den verbalen Äußerungen der Lernenden und ihren (digital) vorbereiteten Erklärungen fokussiert wurde. Aufgrund der Digitalisierung der Lernumgebung konnte auf eine klassische Videografierung der Lernenden verzichtet werden und durch die Screencast-Videografie analyserelevante Daten erhoben werden. Darüber hinaus bieten die Screencast-Videografie den Vorteil, dass keine weiteren personenbezogenen Daten wie Bildaufnahmen von den Lernenden erfasst werden, die sich für die vorliegende Studie als sekundär beschreiben lassen. Da jeder Lernende mit einem eigenen Tablet arbeitete, wurde die Möglichkeit genutzt, den Bildschirm der Lernenden zu erfassen und gleichzeitig die Äußerungen der Lernenden durch Audiographie aufzuzeichnen, um den Modellierprozess audiovisuell für die Analysen zugänglich zu machen.

In Anlehnung an Creswell (2013) lassen sich *Mixed-Methods* Ansätze mit dem Schwerpunkt auf der Kombination von quantitativen und qualitativen Methoden anhand dreier Strategien differenzieren, die sich bezüglich der Art und Weise der Datenerhebung sowie -auswertung unterscheiden (Creswell & Clark, 2006; Creswell, 2013). Die parallele Strategie ist durch ein gleichzeitiges Ablaufen der quantitativen und qualitativen Datenerhebung und -auswertung charakterisiert. Demgegenüber ist für eine sequenzielle Strategie eine serielle Abfolge der quantitativen und qualitativen Methoden typisch, innerhalb derer die erste Studie einen Einfluss auf die zweite Studie nehmen kann. Die dieser Untersuchung zugrundeliegende Strategie folgt dem integrierten Ansatz. Innerhalb eines integrierten Ansatzes erfolgt eine Integration einer der beiden Methoden

(qualitative oder quantitative) in die jeweils andere Methode, deren Anteile gegenüber der integrierten Methode überwiegen (siehe Abb. 35).

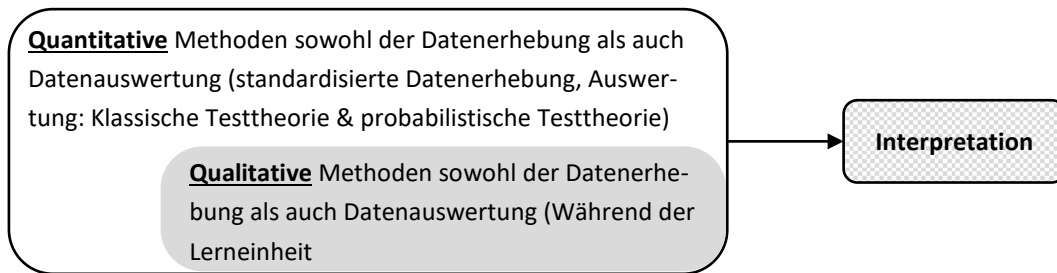


Abbildung 35. Integrierte Strategie eines *Mixed-Methods* Ansatzes (basierend auf Creswell & Clark, 2006)

Im Rahmen der Datenauswertung erfolgt ebenfalls eine integrative Strategie sowie eine Interpretation der Ergebnisse, die auf der Kombination der quantitativ und qualitativ gewonnenen Daten basiert (Creswell & Clark, 2006; Creswell, 2013). Die Verwendung des integrierten *Mixed-Methods* Ansatzes ermöglicht wie eingangs erwähnt eine für die Erfassung von prozeduralen Fähigkeiten als empfohlene qualitative Datenerhebung und -auswertung. Kuckartz (2014) spricht in diesem Zusammenhang von Expansion also einer Ausweitung einer Untersuchung um andere Methoden, die für einen Untersuchungsaspekt eine besonders gute Eignung aufzeigen. Ziel der vorliegenden Studie ist zum einen die Analyse der Nutzung der gewählten externen Repräsentationsform in erklärenden Phasen und zum anderen der Zusammenhang der Nutzung mit weiteren Variablen (z. B. Fachwissen, Informationsentnahme), die u. a. auf einer quantitativen Datenerhebung basieren. Neben der Expansion ist die methodische Vorgehensweise somit mit der Komplementarität begründet d. h. mit dem *Mixed-Methods* Ansatz wird eine Vervollständigung der Ergebnisse und somit der Interpretation angestrebt.

Neben der Verbindung der qualitativen und quantitativen Datenauswertungsmethoden werden neben der klassischen Testtheorie wie bereits im Rahmen des ersten Teilprojektes die probabilistische Testtheorie für den Repräsentations- und Fachwissenstest verwendet. Für das zweite Teilprojekt wurde erneut aufgrund der hohen Itemanzahl nicht die gesamte Auswahl der Repräsentations- als auch Fachwissensitems eingesetzt. Die Auswertung auf der Grundlage des Rasch-Modells ermöglicht trotz der systemdefiniert fehlenden Werte (wie beim *incomplete block design*) Schätzungen der Personenfähigkeiten und Itemschwierigkeiten für die Gesamtanzahl der Items, auch wenn innerhalb des zweiten Teilprojektes nur ein Ausschnitt des gesamten Itempools genutzt wurde (siehe Abschnitt 6.2). Für die Ermöglichung der Schätzungen von Personenfähigkeiten und Itemschwierigkeiten für die gesamten Items eines Konstruktes trotz Bearbeitung einer begrenzten Itemauswahl wird der entsprechende Datensatz aus der ersten Stichprobe als Grundlage für die Einbettung des Datensatzes der Stichprobe des zweiten Teilprojektes genutzt und die geschätzten Item- und Personenparameter für das zweite Teilprojekt für weitere Analysen exportiert. Im Rahmen des zweiten Teilprojektes wurde

sowohl der Repräsentations- als auch Fachwissenstest zu zwei Testzeitpunkten eingesetzt, vor und nach der Intervention. Für die Auswertung wurden diesbezüglich die Daten der zwei Testzeitpunkte separat in den Datensatz der ersten Stichprobe eingebettet und ausgewertet. Dieses Verfahren wurde sowohl für den Repräsentations- als auch Fachwissenstest angewendet, sodass eine geschätzte Personenfähigkeit und die Itemschwierigkeiten für den Repräsentations- und Fachwissenstest jeweils für den Testzeitpunkt vor und nach der Lerneinheit vorliegen.

Die Vorgehensweise ermöglichte darüber hinaus die Validierung der Ergebnisse bezüglich der Dimensionen der Konstrukte und Itemschwierigkeiten der einzelnen Repräsentationen auf der Grundlage einer erweiterten Stichprobe.

7.3 Stichprobenbeschreibung

Insgesamt umfasst die Anfangsstichprobe für die Untersuchung 90 Schüler*innen der Qualifikationsphase I, die von zwei Gymnasien aus dem Raum Paderborn rekrutiert wurden. Diesbezüglich nahm eine Schule mit drei Chemiekursen, davon ein Leistungskurs und zwei Grundkurse, und die andere Schule mit einem Grundkurs teil. Die uneinheitliche Verteilung der Kursanzahlen auf die Schulen ist auf die schulischen Gegebenheiten, insbesondere auf die zur Verfügung stehenden Chemiekurse in der Oberstufe, zurückzuführen. Die Untersuchung und die damit verbundenen Datenerhebungszeitpunkte wurden in den regulären Schulbetrieb integriert und kursweise an den entsprechenden Schulen durchgeführt. Die Teilnahme an der Studie erfolgte freiwillig und unter Zustimmung der Erziehungsberechtigten.

Ein Ausschluss von Lernenden aus der Analyse wurde vorgenommen, wenn sie...

- ...zu einem Zeitpunkt der Datenerhebung abwesend waren (krankheitsbedingt oder aus schulorganisatorischen Gründen) oder
- ... auf der Grundlage der ermittelten Personenfähigkeiten im Fachwissenstest eine Standardabweichung von ± 2.5 aufweisen und somit als Ausreißer identifiziert wurden (Field, 2005).

Tabelle 27. Stichprobenumfang und der Drop-out Quote der zweiten Studie

Kurs	Ausgangsstichprobe <i>N</i>	Drop-out		Endgültige Stichprobe <i>N</i> (%)
		Ausreißer <i>n</i> (%)	mind. eine verpasste Einheit <i>n</i> (%)	
1	22	-	2	20
2	24	-	2	22
3	23	1	4	18
4	21	-	1	20
Σ	90	1 (1.1)	9 (10.0)	80 (88.9)

Für die Auswertung kann somit auf die vollständigen Datensätze (inklusive Prozessdaten) von 80 Lernenden zurückgegriffen werden. Das Durchschnittsalter der Lernenden lag bei $M = 16.7$ ($SD = 0.7$) in einer Spannbreite von $14 \leq M \leq 18$ Jahren. Von den Lernenden gaben 52.5% ihr Geschlecht mit männlich und 47.5% mit weiblich an.

7.4 Lernumgebung

Für die inhaltliche Konzipierung der Lernumgebung wurde der Kernlehrplan Chemie der Sekundarstufe I und II des Landes Nordrhein-Westfalens genutzt (MSB NRW, 2014). Diesbezüglich richtet sich die Lernumgebung explizit an die Sekundarstufe II, sodass die Lernumgebung ebenfalls die im Rahmen der Sekundarstufe I vorgesehenen Inhalte zum Inhaltsfeld der Säuren und Basen impliziert und voraussetzt. Schwerpunktmäßig erfolgt eine inhaltliche Orientierung an dem Inhaltsfeld ‚Säuren, Basen und analytische Verfahren‘ sowie dem Protonentransfer, der dem Basiskonzept Donator-Akzeptor zuzuordnen ist. Für die Lernumgebung wurden ausgehend von dem Kernlehrplan NRW folgende Lernziele formuliert:

Tabelle 28. Ziele für die Lerneinheit

Kompetenzbereich	Lernziele Die Schüler*innen können...
Fachwissen	...die alkalische Reaktion von Lösungen auf das Vorhandensein von Hydroxidionen zurückführen. ...identifizieren Säuren und Basen und beschreiben diese mithilfe des Säure-Base-Konzepts von Brønsted. ...die Neutralisationsreaktion mithilfe des Säure-Base-Konzepts von Brønsted erklären.
Erkenntnisgewinnung	...erläutern das Verfahren einer Säure-Base-Titration mit Endpunktsbestimmung über einen Indikator. ...beobachten und beschreiben chemische Phänomene und Vorgänge und unterscheiden dabei Beobachtung und Erklärung. ...Modelle begründet auswählen und zur Beschreibung und Erklärung chemischer Vorgänge verwenden.
Kommunikation	...stellen eine Säure-Base-Reaktion in einem Funktionsschema dar und erklären daran das Donator-Akzeptor-Prinzip.

Die Lernziele umfassen somit nicht nur das Fachwissen, sondern darüber hinaus Anforderungen aus dem Bereich der Erkenntnisgewinnung sowie der Kommunikationskompetenzen. Die Lernumgebung impliziert zwei videografierte Versuche, denen schwerpunktmäßig ein Protonentransfer zugrunde liegt und die Indikatoren beinhalten, um Reaktionen durch Farbumschläge sinnlich wahrnehmbar zu gestalten. Der Fokus der Lerneinheit besteht auf dem Beobachten eines chemischen Phänomens und dem Deuten sowie dem Erklären des Beobachteten mithilfe von externen Repräsentationen des atomaren Bereichs.

Für die Umsetzung der Lernumgebung der Einheit wurde auf eine digitalisierte Lernum-

gebung zurückgegriffen. Dieses Vorgehen ist zum einen auf methodische und zum anderen auf pragmatische Gründe zurückzuführen. Im Folgenden wird ein Überblick über die Erstellung und Gestaltung der Lernumgebung gegeben.

7.4.1 Digitalisierung der Lernumgebung

Die Entwicklung der digitalen Lernumgebung basiert auf den Programmen Microsoft PowerPoint und OpenBoard. Die OpenSource Software sowie PowerPoint wurden gewählt, um u. a. die digitale Lernumgebung für die Praxis zugänglich zu machen. Für die Grundlage der Lernumgebung dient das Programm Microsoft PowerPoint und die programmintegrierte Verlinkungsfunktion, mit deren Hilfe eine Verbindung unter den Folien sowie zu dem Programm OpenBoard erstellt wurde. Die PowerPoint Präsentation wurde im Präsentationsmodus gespeichert. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine Bedienerfreundlichkeit sowie den Schutz der Lernumgebung vor Änderungen durch die Lernenden. Beim Öffnen der PowerPoint Präsentation erscheint der Navigationsbereich



Abbildung 36. Ausschnitt aus der digitalen Lernumgebung: Menü

bzw. das Menü, über das die Lernenden durch einfaches Antippen der Schaltflächen zu den gewünschten Folien bzw. Inhalten gelangen.

Zu Beginn enthält das Menü Hinweise und Anweisungen zum Umgang mit der Lernumgebung und Schaltflächen, über die die Lernenden durch Antippen zu den entsprechenden Materialien gelangen. Die Materialien bzw. Aufgaben sind im Menü entsprechend der zu absolvierenden Reihenfolge der Lerneinheit nummeriert und angebracht:

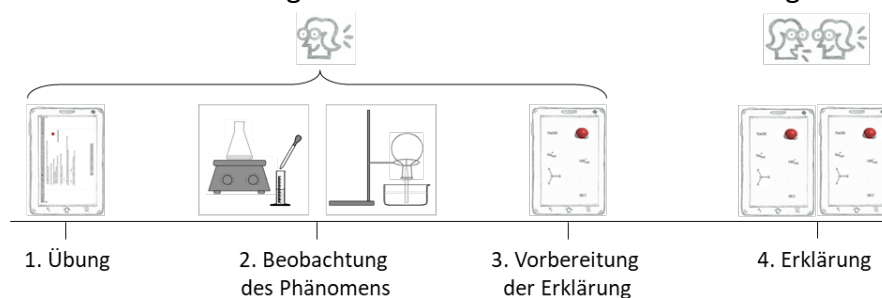


Abbildung 37. Skizze über die Arbeitsphasen der Lerneinheit

7 Empirische Untersuchung zu der Nutzung von externen Repräsentationsformen im Modellierprozess

Sowohl die Übung, das Beobachten des Phänomens als auch die Vorbereitung der Erklärung erfolgt in Einzelarbeit, während die Erklärung in Partnerarbeit stattfindet.

Die Einführung in die Lernumgebung sowie ein sicherer Umgang mit dieser während der lerneinheitsrelevanten Aufgaben werden durch eine Übungsaufgabe unterstützt. Aufgrund dessen beinhaltet die Lernumgebung zu Beginn eine Übungsaufgabe mit dem Programm OpenBoard, das ebenfalls die Grundlage für die Vorbereitung der Erklärung dient. Durch das Antippen der Schaltfläche ‚1. Übung: Umgang mit OpenBoard‘ gelangen die Lernenden zu der entsprechenden Folie. Die Folie zur Übung enthält wie bereits das Menü Anweisungen und Hinweise.



Abbildung 38. Ausschnitt aus der digitalen Lernumgebung: Übung

Alle Folien der Lernumgebung enthalten an der gleichen Stelle die Schaltfläche Menü, über die die Lernenden durch erneutes Antippen zu dem Menü gelangen. Die Folie enthält eine durch die Verlinkungsfunktion hergestellte Verbindung zu einer vorgefertigten OpenBoard Datei, die Aufgaben zum Einüben und Kennenlernen des Programms enthalten. Zu dieser Datei gelangen die Lernenden erneut durch das Antippen der entsprechenden Schaltfläche zu der hinterlegten Übungsaufgabe.

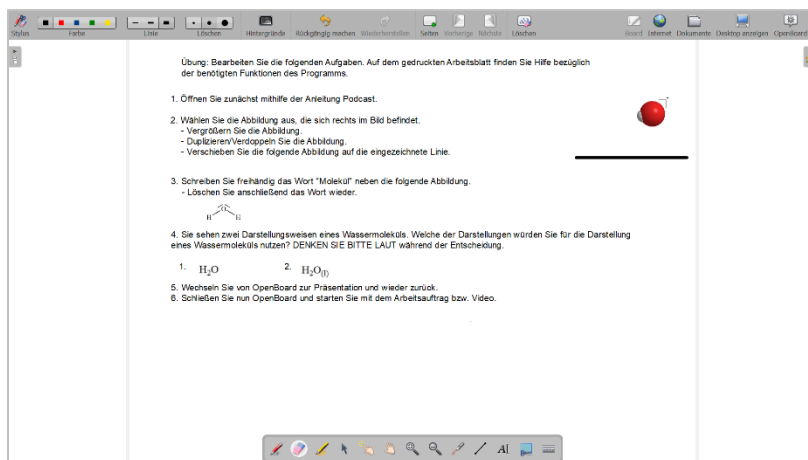


Abbildung 39. Ausschnitt aus der digitalen Lernumgebung: OpenBoard Datei zur Übung

Eine detaillierte Beschreibung der Funktionen des Programms wird in Abschnitt 7.4.3 gegeben. Im Rahmen der Übung werden gezielt Aufgaben gestellt, die das Kennenlernen der wichtigsten Funktionen (Zeichnen, Verschieben, Screencast öffnen) ermöglichen, die die Lernenden für die Vorbereitung der Erklärung ebenfalls nutzen können. Begleitend erhalten die Lernenden in analoger Form eine Übersicht über die Funktionen des Programms, die sie u. a. über die Icons auswählen.

Die Videos sind ebenfalls in der digitalen Lernumgebung eingebettet und werden entsprechend der Reihenfolge als zweiter Punkt bearbeitet. Für das Festhalten von Notizen können die Lernenden über die Schaltfläche ‚Meine Notizen‘ eine in der PowerPoint hin-

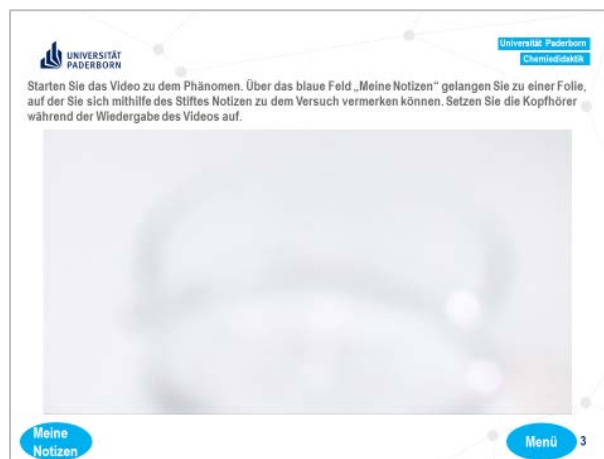


Abbildung 40. Ausschnitt aus der digitalen Lernumgebung: Videos

terlegte Folie nutzen. Für diesen Zweck können sie die Stifte nutzen und zwischen den Folien über die Verlinkungsflächen wechseln.

Für die Schaffung einer lernförderlichen Geräuschkulisse während der Bearbeitung der Videos werden den Lernenden Kopfhörer zur Verfügung gestellt. Die Materialien für die Vorbereitung der Erklärung sind nach dem gleichen Prinzip aufgebaut. Auf diesen Aspekt wird in Abschnitt 7.4.3 näher eingegangen.

Jede digitale Lernumgebung enthält ein Video zu einem Phänomen. Hierfür werden zwei unterschiedliche Phänomene genutzt, nach denen die Stichprobe aufgeteilt wird, damit sich die Paare unterschiedliche Phänomene erklären. Aufgrund dessen werden zwei Vorlagen der Lernumgebungen nach dem gleichen Prinzip erstellt, die Unterschiede im Hinblick auf das eingebettete Video und die hinterlegten OpenBoard Dateien zur Vorbereitung der Erklärung aufweisen. Die für die Vorbereitung der Erklärung bereitgestellten Dateien enthalten auf das Phänomen abgestimmte externe Repräsentationen der beteiligten Stoffe.

Insgesamt enthält jeder Lernende eine Lernumgebung bestehend aus einem Tablet mit den aufgespielten digitalisierten Lernumgebungsdateien, einen Satz Kopfhörer sowie einen Pen für das Tablet.

7.4.2 Videos zu den Phänomenen

Ausgewählt wurden zwei Phänomene, die thematische Ähnlichkeiten aufweisen. Bezüglich der Phänomene handelt es sich zum einen um die Herstellung einer basischen Lösung mit Ammoniakgas und Wasser (Springbrunnen) und zum anderen um die Neutralisationsreaktion von Salzsäure und Natronlauge. Die Versuche wurden ausgewählt, da anhand beider gut der Protonenaustausch anhand relevanter Repräsentationsformen visualisiert werden kann. Die Versuche wurden vorab durch die Versuchsleitung gefilmt und in die Lernumgebung eingebettet, um zu vermeiden, dass abweichende Versuchsdurchführungen bei Schülerexperimenten vermieden werden, die potentiell Einfluss auf die Erklärung nehmen. Des Weiteren ermöglicht die Vorgehensweise das wiederholte Beobachten des Phänomens und insbesondere die Fokussierung der Lerner Aufmerksamkeit auf das Verhalten des Phänomens zu einem bestimmten Zeitpunkt, der im Anschluss gedeutet werden soll.

Für die formalen und inhaltlichen Ähnlichkeiten der Videos wurden vorab Kriterien für das Drehbuch, Storyboard, den Schnitt sowie die Kameraeinstellung verfasst und für beide Videos als verbindliche Rahmung genutzt (siehe Abb. 41). Neben dem Bildmaterial enthalten die Videos auditive Informationen sowie eingeblendete Textsegmente (Stoffnamen), sodass aufgrund der Kombination der multimedialen Informationsdarbietungen für das Design der Videos die Gestaltungsprinzipien multimedialen Lernens berücksichtigt wurden (R. E. Mayer, 2014). Im Folgenden werden die einheitlichen Kriterien zur Gestaltung beider Videos im Zusammenhang mit den Gestaltungsprinzipien multimedialen Lernens erläutert.

Wie in Abbildung 41 ersichtlich liegen beiden Videos eine Segmentierung in den Sinnabschnitten ‚Intro‘, ‚Versuch‘, ‚Vergleich‘ sowie und ‚Aufgabe‘ zugrunde. Die vier Segmente beinhalten weitere differenzierende Bausteine, die inhaltlich (abhängig von dem Versuch), jedoch weder formal noch strukturell zwischen den Videos variieren.

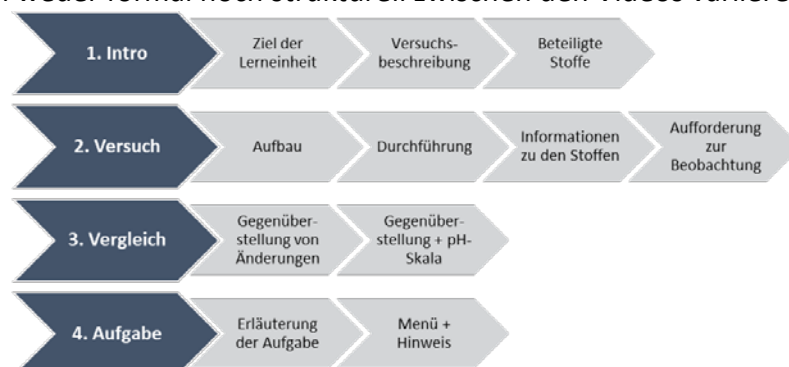


Abbildung 41. Übersicht über die Videosegmente

Das Intro beider Videos wird durch ein versuchsunabhängiges Bild eingeleitet und lediglich begleitet. Hierbei handelt es sich um ein einfaches Bild einer pneumatischen Wanne, in die tropfenweise Wasser gegeben wird. Im Rahmen des Intros erhalten die Lernenden

auditiv zunächst Informationen bezüglich des Ziels der Lerneinheit, eine kurze Versuchsbeschreibung sowie Informationen zu den beteiligten Stoffen. Im Folgenden ist ein Ausschnitt aus dem Drehbuch des Springbrunnenversuchs aufgeführt. Hierbei handelt es sich um die Informationen, die im Rahmen des Intros auditiv gegeben werden. Die kursiv gesetzten Passagen variieren dabei zwischen den Videos, da sie versuchsspezifische Aspekte beinhalten: ‚In diesem Video werden Sie einen Versuch aus dem Themenfeld Säure-Base sehen, den Sie im zweiten Schritt auf der Modellebene erklären sollen. Hierbei handelt es sich um einen Versuch zur Herstellung einer basischen Lösung mithilfe von Ammoniakgas und Wasser. Als Indikator wird Thymolphthalein genutzt, um den pH-Wert visuell zu bestimmen.‘

Mit Rückbezug zu den Gestaltungsprinzipien multimedialer Lernumgebungen erfolgte die Vertonung des Drehbuchs durch die Versuchsleitung und nicht durch eine synthetische Stimme (*Voice Principle*). Sofern sich die Möglichkeit bot, wurden die Lernenden wie bereits im Intro direkt angesprochen (*Personalization Principle*), da entsprechend der multimedialen Annahme eine Vertonung durch eine menschliche Sprechperson eine höhere Motivation sowie Aufmerksamkeit seitens der Lernenden fördere. Zudem wird im gesamten Video das Phänomen bildlich fokussiert und somit die Audiokommentare ohne Einblenden der sprechenden Person vorgenommen. Diese Vorgehensweise wird im Rahmen multimedialer Gestaltungsprinzipien als lern- und aufmerksamkeitstfördernder aufgefasst und als *Image Principle* bezeichnet (R. E. Mayer, 2014).

Das zweite Videosegment ist als Kernstück aufzufassen und umfasst die bildliche Abfolge des Versuchsaufbaus und der Durchführung. Um eine Darbietung überflüssiger Informationen zu vermeiden, werden bezüglich des Aufbaus nur die für den Lernprozess wesentlichen Elemente bildlich dargeboten und vertont (*Coherence Principle*). So werden auf die Darstellung von Vorbereitungsmaßnahmen wie das Zusammenstecken des Stativmaterials oder einer Übersicht über alle benötigten Materialien zu Beginn verzichtet. Im Rahmen des Segments wird die Versuchsdurchführung sukzessiv in der entsprechenden Reihenfolge gezeigt. Begleitend werden durch die Sprecherperson Informationen über die Handlungen während der Versuchsdurchführung gegeben Bsp.: ‚Zunächst wird das Stativmaterial aufgebaut. Anschließend wird eine Pneumatische Wanne vor dem Stativmaterial mittig platziert und 500 mL Wasser in die Pneumatische Wanne gegeben. Im Anschluss daran wird das Wasser mit einigen Tropfen des Indikators Thymolphthalein versetzt.‘

Entsprechend des *Temporal Contiguity Principle* werden während der Durchführung somit Informationen, die für das Verständnis relevant sind, über multiple Sinneskanäle synchron geboten (Bild und Sprache).

Neben den Informationen bezüglich der Versuchsdurchführung werden Informationen zu den Eigenschaften der beteiligten Stoffe gegeben bspw. ‚Ammoniakgas ist ein farbloses,

stechend riechendes und stark ätzendes Gas. Zudem ist Ammoniakgas giftig und verursacht insbesondere bei den Atmungsorganen und den Augen schwere Verletzungen.’ Diese Informationen beschränken sich jedoch auf die phänomenologische Ebene, sodass keine Informationen zu dem molekularen Aufbau der Verbindung o. ä. Informationen betreffend die atomare Ebene dargeboten werden. Die Erklärung des Phänomens auf atomarer Ebene soll von den Lernenden geleistet werden und nicht durch die Informationsdarbietung Inhalte für die Erklärung auf atomarer Ebene vorgegeben werden. Zusätzlich zu den auditiven Informationen zu den Indikatoreigenschaften wird die entsprechende Skala eingeblendet.

Das Lenken der Lernaufmerksamkeit auf Farbumschläge und somit das zu erklärende Phänomen wird auf zwei Arten unterstützt bzw. getriggert. R. E. Mayer (2014) fasst das gezielte Hervorheben relevanter Informationen als *Signaling Principle* zusammen. Für das Hervorheben findet ein Wechsel von der totalen Aufnahme zu einer close-up Einstellung statt, sodass ausschließlich das Phänomen ohne Hintergrund (Labor oder Gerätschaften bspw. Magnetrührer) zu sehen ist. Des Weiteren erfolgt ein Hinweis durch die Sprecherperson ‚Beobachten Sie nun die Farbveränderung, die im Laufe des Versuchs eintritt‘. Während des zu beobachteten Farbumschlags erfolgen keine zusätzlichen textuellen oder auditiven Informationsdarbietungen, um das eigenständige Modellieren anzuregen bzw. anzubahnen.

Das Videosegment ‚Vergleich‘ wurde konzipiert, um die Prozesse der Versuchsbeobachtung für die Lernenden in einem Bild gegenüberzustellen und für einen direkten Vergleich zugänglich zu machen. Diese zusammenfassende Gegenüberstellung hatte zum einen den Zweck des Vergleichens aber auch des Wiederholens inne. Für weitere Informationen wurde nach zeitlicher Distanz die pH-Skala des Indikators zusätzlich zu der Gegenüberstellung eingeblendet.

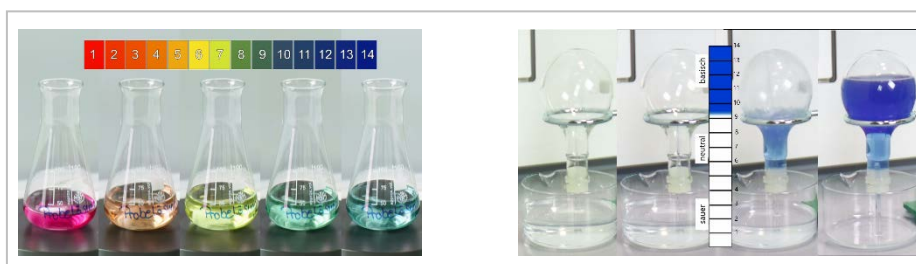


Abbildung 42. Screenshots aus dem Segment Vergleich für beide Versuche

Die Sprechperson leitet in diesem Rahmen lediglich das Segment in beiden Videos folgendermaßen ein ‚Im direkten Vergleich kann die Farbveränderung im Laufe des Versuchs erneut beobachtet werden. Wird für die Farbveränderung die Farbskala des *Thymolphthalein* Indikators hinzugenommen, so kann der pH-Wert der fortlaufenden Reaktion verglichen und abgelesen werden.‘

Die gleichzeitige Präsentation der pH-Skala und der Gegenüberstellung der Farbverän-

derungen wurde gewählt, um einen *Split-Attention Effekt* d. h. eine geteilte Aufmerksamkeit, die durch die separate Präsentation aufeinander bezogener Informationen hervorgerufen wird, zu vermeiden.

Der letzte Abschnitt des Videos umfasst die Überleitung zur Vorbereitung der Erklärung und somit der darauffolgenden Aufgabe, die durch die Sprechperson zusammenfassend erläutert wird ,In dem Video haben Sie ein chemisches Phänomen beobachten können. Bereiten Sie eine Erklärung des Phänomens auf der atomaren Ebene für Ihren Partner vor. Gehen Sie hierfür zurück zum Menü und wählen Sie den 3. Punkt Vorbereitung der Erklärung aus'. Zusätzlich wird in diesem Segment das Menü der digitalen Lernumgebung eingeblendet und die entsprechende Schaltfläche, über die die Lernenden zur Vorbereitung der Erklärung gelangen, hervorgehoben.

Im Zuge der Standardisierung der beiden Videos wurden ebenfalls quantitative Aspekte wie die Gesamtlänge sowie die Länge der einzelnen Segmente möglichst ähnlich gehalten und verglichen.

Tabelle 29. Vergleich der Videolängen und Segmente

	Neutralisationsvideo	Springbrunnenvideo
	Länge (Minuten)	
Segment		
Intro	0:26	0:24
Versuch	3:23	3:06
Vergleich	0:40	0:40
Aufgabe	0:15	0:15
Gesamtlänge	4:45	4:20

Zusammenfassend geht aus den Längen der einzelnen Segmente hervor, dass marginale Abweichungen zwischen den zwei Videos zu erkennen sind. Des Weiteren wurde eine Auszählung der durch die Sprecherperson geäußerten Wörter vorgenommen. Das Video zur Neutralisation enthält insgesamt 355 durch die Sprecherperson verbalisierten Wörter, während das Video zum Springbrunnenversuch 370 Wörter umfasst.

7.4.3 Initiierung des Modellierprozesses – Erklärungsphase

Die Lernenden bereiten nach der Beobachtung des Phänomens zunächst die Phase der Modellierung vor. Für diesen Modellierprozess können die Lernenden eine der vier externen Repräsentationen des atomaren Bereichs nutzen.

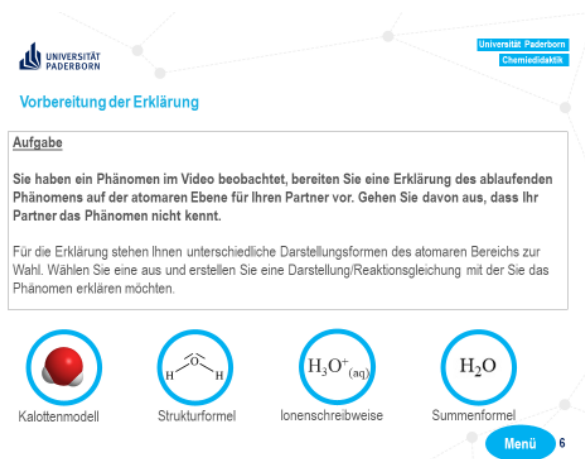


Abbildung 43. Ausschnitt aus der digitalen Lernumgebung: Auswahl der externen Repräsentationen

Die Vorbereitung der Erklärungsphase und das Deuten werden mit folgendem Arbeitsauftrag instruiert: ‚Sie haben ein Phänomen im Video beobachtet, bereiten Sie eine Erklärung des ablaufenden Phänomens auf der atomaren Ebene für Ihren Partner vor. Gehen Sie davon aus, dass Ihr Partner das Phänomen nicht kennt.‘ Für jeden Versuch sind die Visualisierungen der Edukte und Produkte der an der Reaktion beteiligten Stoffe separat in einer OpenBoard Datei hinterlegt, die mit den entsprechenden Schaltflächen in der PowerPoint verbunden sind und durch Antippen aufgerufen werden können. Die in den Lernumgebungen enthaltenen externen Repräsentationsformen variieren inhaltsabhängig d. h. die Lernumgebung mit dem Video zum Springbrunnen enthält die entsprechenden Edukte und Produkte visualisiert mittels der vier externen Repräsentationsformen und die zweite Lernumgebung die an der Neutralisationsreaktion beteiligten Edukte und Produkte.

Die Lernenden erhalten keine Einschränkungen bezüglich des Modellierprozesses durch weitere Vorgaben. So ist es ihnen freigestellt, welche externe Repräsentation sie für den Modellierprozess auswählen und ob sie einen Wechsel vornehmen. Im Falle eines Wechsels sind die Lernenden gebeten kurz eine Begründung für diese Entscheidung anzugeben. Des Weiteren werden den Lernenden keine Richtlinien für die visuelle Gestaltung ihrer vorbereiteten Erklärung erteilt. Die Lernenden können demnach innerhalb ihrer vorbereiteten Erklärung die gewählte externe Repräsentationsform für das Aufstellen einer Reaktionsgleichung, das Erstellen einer Zeichnung etc. nutzen. Den Lernenden wird während der gesamten Modellierung eine Entscheidungsfreiheit gelassen, die ei-

ner modellierenden Person im Anwendungs- und Herstellungsprozess entspricht. Als aktives Subjekt können die Lernenden darüber entscheiden, inwieweit und auf welche Art und Weise sie eine externe Repräsentation (Modellobjekt) als Modell konstruieren und nutzen, um ihr modelliertes Wissen über das Phänomen zu externalisieren (Giere, 2010; Justi & Gilbert, 2002; Mahr, 2004).

Für die methodische Umsetzung wird das Programm OpenBoard genutzt. Das Programm wird unter anderem verwendet, da es eine integrierte Funktion enthält Screencasts aufzunehmen und automatisch zu speichern. Die Aufzeichnungen umfassen Aufnahmen des Bildschirms und des Gesagten bzw. die Kommentare der Lernenden während des gesamten Prozesses und werden als Video (MP4) gespeichert. Die Funktion wird beim Öffnen einer OpenBoard Datei von den Lernenden aktiviert und läuft bis hin zur Schließung bzw. Beendigung der vorliegenden OpenBoard Datei. Wird lediglich die OpenBoard Datei ausgeblendet, um zwischen der PowerPoint Präsentation und OpenBoard zu wechseln, bleibt die Aufnahme aktiv. Für die Erfassung der Prozessdaten werden die Lernenden angehalten die Funktion mit jedem Öffnen einer OpenBoard Datei (z. B. bei einer Wahl einer neuen externen Repräsentation) zu aktivieren und erst die Datei zu schließen, wenn die Lerneinheit durch die Versuchsleitung beendet wird, sodass die gesamte Phase der Vorbereitung sowie Erklärung als Bildschirmaufnahme mit dem Gesagten der Lernenden und die Interaktion zwischen diesen aufgezeichnet wird.

Exemplarisch ist in Abbildung 44 das OpenBoard Dokument für die Strukturformel aus der Lernumgebung mit dem eingebetteten Neutralisationsvideo dargestellt. Die vorbereiteten OpenBoard Dokumente unterscheiden sich über die Lernumgebungen mit den unterschiedlichen Phänomenen hinweg lediglich bezüglich der phänomenspezifischen Edukten und Produkten.

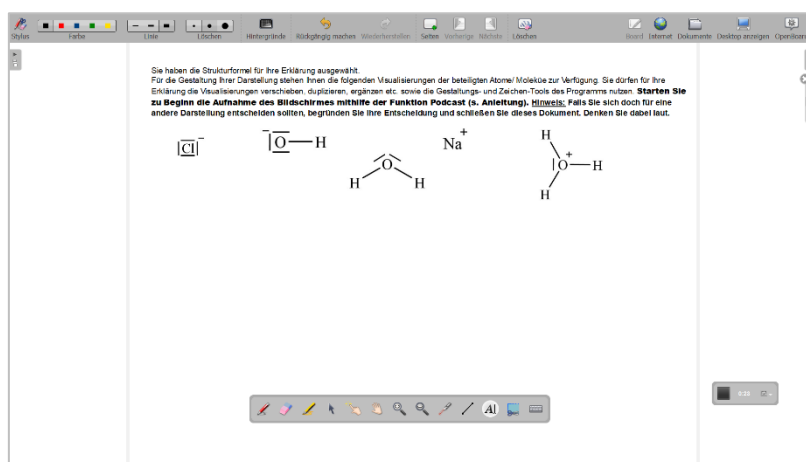


Abbildung 44. OpenBoard Datei zur ausgewählten Strukturformel für die Vorbereitung der Erklärung (Neutralisation)

Innerhalb der Lernumgebung eines Versuchs werden die gleichen Stoffe jeweils mithilfe einer der vier externen Repräsentationsformen zur Verfügung gestellt. Hierzu werden

7 Empirische Untersuchung zu der Nutzung von externen Repräsentationsformen im Modellierprozess

alle Stoffe bzw. Edukte und Produkte nur in einfacher Ausführung visualisiert, um keine Inhalte (z. B. stöchiometrische Aspekte) vorzugeben oder die vorbereitete Erklärung dahingehend zu beeinflussen, dass eine Reaktionsgleichung erstellt wird.

Ausgehend von der vorgegebenen Vorlage können die Lernenden für die Vorbereitung ihrer Erklärung mithilfe der Gestaltungs- und Zeichentools die externen Repräsentationen verschieben, duplizieren, löschen etc. und Freihandzeichnungen vornehmen. Nach der Vorbereitung der Erklärung gehen die Lernenden in die Erklärungsphase über, innerhalb derer sich die Partner*innen nacheinander das beobachtete Phänomen mit den externen Repräsentationen gegenseitig erklären.

7.4.4 Pilotierung der Lernumgebung

Für die Überprüfung der Lernumgebung und die Umsetzung der Gestaltungsprinzipien wurde die Lernumgebung pilotiert. Für die Pilotierung wurde unmittelbar nach der Erprobung der Lernumgebung durch die Lernenden eine retrospektive Befragung durchgeführt und audiographiert. Die retrospektive Befragung wurde durch Leitfragen mit Bezug zu den Gestaltungsprinzipien, Instruktionen, der allgemeinen Verständlichkeit sowie der Handhabung der digitalen Lernumgebung strukturiert.

Die gesamten Audioaufnahmen wurden zu Beginn vollständig auf Situationen analysiert, die Äußerungen in Bezug auf die im Interesse stehenden Merkmale (Handhabung, Instruktionen etc.) aufweisen. Die entsprechenden Stellen wurden transkribiert und im Zusammenhang mit der Lernumgebung detaillierter analysiert. Ausgehend von den resultierenden Erkenntnissen wurde die Lernumgebung einer Überarbeitung unterzogen. Die Überarbeitungen basieren auf der Erprobung der digitalen Lernumgebung durch drei Proband*innen.

Aus den Anmerkungen seitens der Proband*innen aus der Pilotierung gehen u. a. Änderungsvorschläge für die Übungsaufgabe hervor. Ausgehend von den Erläuterungen der Proband*innen wird die Anordnung der Abbildungen in der Übungsaufgabe geändert. Des Weiteren merkten die Lernenden an, dass ein expliziter Hinweis auf die bereitgestellte Zusammenstellung der Funktionen des Programms hilfreich wäre, sodass die Instruktionen umformuliert und innerhalb derer eine Nennung der Übersicht vorgenommen wurde.

Aus den Nachfragen des Leitfadens in Bezug auf die Handhabung der digitalen Lernumgebung ging hervor, dass der Wechsel zwischen dem Video und der Folie für die eigenen Notizen durch den wiederkehrenden Neustart des Videos als beeinträchtigend empfunden wurde. Durch den Wechsel der Folien bedingt, beginnt das in der Lernumgebung eingebettete Video von vorne und läuft nicht an der Stelle weiter, an der die Lernenden das Video pausiert haben, um Notizen zu vermerken. Das genutzte Programm impliziert keine entsprechende Einstellung, die es erlaubt das Video an der Stelle vor einem Folienwechsel fortzuführen. Aufgrund dessen wurden als Orientierungshilfen Abschnittsmarker an den Segmenten gesetzt.

Im Hinblick auf die Verständlichkeit der Instruktionen gaben die Proband*innen an, dass deutliche Signale für das Nutzen der Kopfhörer gegeben werden sollten.

Für die Umsetzung von deutlicheren Signalen in Bezug auf die Kopfhörer wurde eine Zwischenfolie vor der Vorbereitung der Erklärung eingefügt, die entsprechende Hinweise beinhaltet.

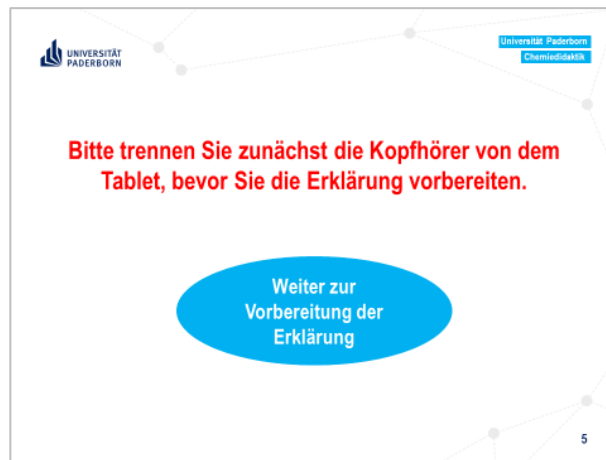


Abbildung 45. Ausschnitt aus der digitalen Lernumgebung: Hinweis

Klicken die Lernenden über das Menü auf die Schaltfläche ‚Vorbereitung der Erklärung‘, erscheint eine Zwischenfolie mit dem Hinweis die Kopfhörer vom Tablet zu trennen. Von dieser Folie aus können sie durch erneutes Klicken die gewünschte Folie aufrufen.

Die Gestaltungsprinzipien und insbesondere die vergleichende Gegenüberstellung als drittes Segment werden von den Lernenden positiv wahrgenommen. Aus Nachfragen zu dem zu erklärenden Phänomen gaben die Lernenden an, dass sowohl das Intro der Videos als auch die Instruktionen zur Vorbereitung der Erklärung die Aufmerksamkeit auf die relevanten Aspekte lenken.

7.5 Instrumente

Der Untersuchung liegt ein Prä-Post-Versuchsplan, mit Erhebung der Prozessdaten zwischen den Erhebungszeitpunkten, zugrunde (siehe Abb. 46). Im Rahmen der Lerneinheit erfolgt eine Zuteilung zu den Gruppen durch die Wahl der Lernenden für eine externe Repräsentationsform, somit kann nicht gewährleistet werden, dass gleich große Gruppen resultieren. Zudem werden zwei unterschiedliche Phänomene eingesetzt, die sich die Lernenden innerhalb der Paare ebenfalls selbst zuordnen. Aufgrund dessen wurde zu Beginn der Datenanalyse überprüft, ob sich die Gruppen mit den unterschiedlichen Phänomenen im Hinblick auf ihre Fähigkeiten unterscheiden.

Um den Einfluss möglicher Unterschiede zwischen den Gruppen zu kontrollieren, werden zum Prä-Zeitpunkt Voraussetzungen der Lernenden erhoben und die Verteilung der Ausprägung überprüft. In diesem Rahmen ist zu erwähnen, dass sowohl der Fachwissens- als auch der Repräsentationstest zum Prä-Testzeitpunkt ebenfalls als Kontrollvariable eingesetzt wurden. Zudem wurden sie erneut zum Post-Zeitpunkt eingesetzt, um den Lernzuwachs zu erheben. Die Ergebnisse in Bezug auf die Instrumente des Fachwissens- und Repräsentationstest werden jeweils in den Abschnitten zu den abhängigen Variablen berichtet, mit dem Wissen, dass sie zum Prä-Testzeitpunkt als Kontrollvariable fungieren. In den folgenden Abschnitten erfolgt eine Begründung für die Variablenaus-

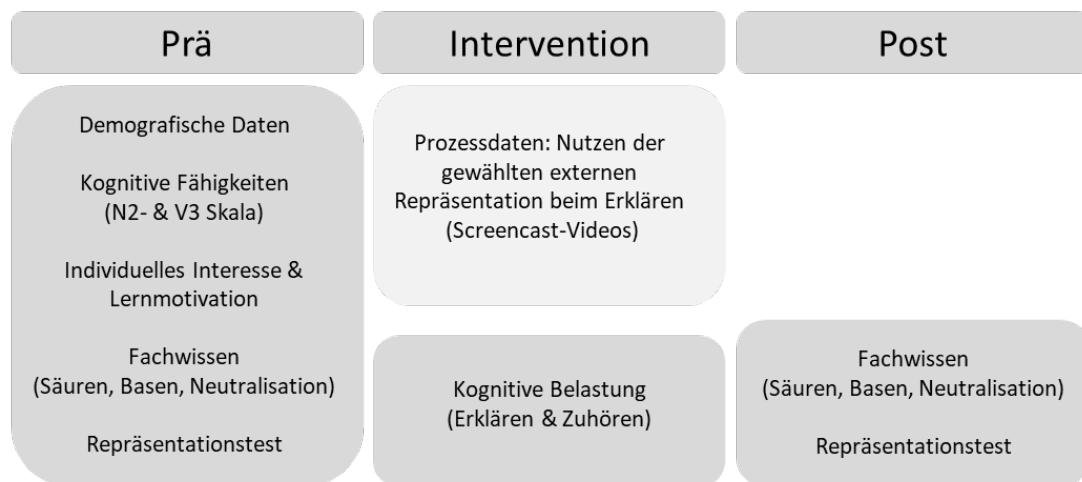


Abbildung 46. Instrumente

wahl sowie die Vorstellung der Instrumente zur Erhebung der Kontrollvariablen. Des Weiteren werden ebenfalls die Ausprägungen zwischen den Proband*innen der unterschiedlichen Phänomene verglichen, um eine ungleiche Verteilung und mögliche Effekte auszuschließen.

Um einen möglichen Einfluss der gewählten externen Repräsentation auf die kognitive Belastung zu überprüfen, wird zum Zeitpunkt der Intervention ein Testinstrument zur Erfassung der kognitiven Belastung für das Erklären und das Zuhören eingesetzt. Die Erfassung der Nutzung der externen Repräsentation für das Modellieren eines chemischen

Phänomens basiert auf qualitativen Methoden der Datenerhebung mittels Screencast-Videos. Für die Datenauswertung wurde ein selbst entwickeltes und evaluiertes Kodiermanual genutzt. Für die Untersuchung von F7 (Inwiefern besteht ein Zusammenhang zwischen der prozeduralen Fähigkeit, externe Repräsentationen für das Erklären eines Phänomens zu nutzen, und der deklarativen Fähigkeit, Informationen aus multiplen externen Repräsentationen zu entnehmen?) wurde der Repräsentationstest für die Erfassung der Informationsentnahme aus multiplen externen Repräsentationen und zusätzlich das Fachwissen zum Prä- und Post-Testzeitpunkt eingesetzt. Folgende Abbildung umfasst eine Übersicht über die Variablen, die im Rahmen der Untersuchung erhoben wurden.

7.5.1 Kontrollvariablen

7.5.1.1 Kognitive Fähigkeiten

Bei dem kognitiven Fähigkeitstest nach Heller und Perleth (2000) handelt es sich um einen Intelligenztest zur Bestimmung differentieller kognitiver Fähigkeiten. Das gesamte Testinstrument umfasst jahrgangsspezifische Skalen zu den Fähigkeitsdimensionen verbales Denken (V), quantitative (numerische) Fähigkeiten (Q) und nonverbales Denken (N).

Zum Prä-Testzeitpunkt werden die Analogieskalen der verbalen (V3) und nonverbalen (N2) Fähigkeitsdimensionen verwendet, weil für den Umgang mit Repräsentationen neben verbalen und nonverbalen Analogien, nicht-verbale Fähigkeiten wie das räumliche Vorstellungsvermögen (*spatial ability*) als wichtige Voraussetzung vermutet werden. Sowohl aus dem Modellierprozess als auch dem Lernen mit multiplen externen Repräsentationen gehen hervor, dass diese Prozesse das Analogisieren von Gemeinsamkeiten umfassen. Diesbezüglich komme es im Rahmen von Modellierprozessen zu Analogisierungen zwischen dem mentalen Modell und der externen Repräsentationen. Insbesondere das Lernen mit multiplen externen Repräsentationen fordere das Erkennen von Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen den externen Repräsentationen als auch zwischen den externen Repräsentationen und dem Referenzobjekt. Additional zu der nonverbalen Analogieskala wurde die verbale hinzugefügt, da in der Intervention das Nutzen einer externen Repräsentation im Zusammenhang mit einer verbalisierten Erklärung fokussiert wird. Die Subskala N2 umfasst 25 und die V3 Skala 20 Items. Im Hinblick auf die Bearbeitungszeit für die einzelnen Subskalen wurden die Richtwerte aus dem Manual genutzt (Heller & Perleth, 2000). Für die Bearbeitung der N2 Skala sind acht Minuten und für die V3 Skala sieben Minuten vorgesehen. Auf die Erfassung der quantitativen Fähigkeiten wurde verzichtet, da sie im Rahmen der durchgeführten Untersuchung nicht erforderlich bzw. nicht im Fokus stehen.

Das Testinstrument wurde bereits mehrfachen Evaluationen und Validitätsuntersuchungen unterzogen. Für detaillierte und umfassende Informationen zu dem Testinstrument wird auf das Manual KFT 4-12 + R verwiesen (Heller & Perleth, 2000). Die verwendete Skala N2 weist demnach eine gute interne Konsistenz von Cronbachs $\alpha = .81$ und die V3 Skala einen akzeptablen Alphawert von $\alpha = .64$ auf.

7.5.1.2 Interesse und Motivation

Über den Einfluss affektiver Variablen wie bspw. Interesse und Motivation auf die Lernleistung herrscht in der Forschungsliteratur ein Konsens (Krapp, Schiefele & Schreyer, 1993; Ryan & Deci, 2000). Für Berücksichtigung affektiver Variablen werden bereits entwickelte und evaluierte Skalen zu dem Kooperationsverhalten, chemiebezogenen Selbstkonzept sowie den unterschiedlichen Facetten des individuellen Interesses und

der Motivation.

Das individuelle Interesse wird als ein stabiles und über einen längeren Zeitraum andauerndes Konstrukt beschrieben, das prozesshaft ausgebildet wird (Krapp et al., 1993). Zusammenfassend lässt sich Interesse nach Krapp und Prenzel (1992) als relationales Konstrukt beschreiben, das als Resultat aus der Interaktion zwischen einer Person und einem aus der Umwelt stammenden Gegenstand hervorgeht. Diesbezüglich handelt es sich bei dem Gegenstand nicht zwangsläufig um ein materielles Objekt, sondern umfasst ebenso Erfahrungen, Handlungen und Inhalte. Im Gegensatz zum situationalen Interesse handelt es sich bei dem individuellen Interesse um ein situationsunabhängiges Konstrukt d. h. es besteht eine Unabhängigkeit zur aktuellen Situation.

In der vorliegenden Studie werden das Fach- und Sachinteresse mithilfe unterschiedlicher Skalen erfasst. Während die Skalen zum Sachinteresse Items für die Erfassung des Interesses an Fachinhalten messen, wird das Interesse an das Fach Chemie mithilfe von spezifischen Items des Fachinteresses erhoben. Die Items für die Erfassung des Sachinteresses sind auf die Skalen ‚Potsdamer Motivations-Inventar (PMI) – Mathematik‘ zurückzuführen (Rheinberg & Wendland, 2003). Die ursprünglich für den Mathematikunterricht formulierten Items wurden von Dettweiler (2017) für den Chemieunterricht adaptiert. In dieser Studie wird die chemiespezifische Adaption der Items zur Erfassung des Sachinteresses verwendet. Das Interesse am Fach Chemie wird mithilfe von Items erfasst, die im Rahmen des Dissertationsprojektes von Dettweiler (2017) entlehnt aus dem TOSRA-Test (*Test of science-related attitudes*) nach Fraser (1981) chemiespezifisch ausgelegt, übersetzt und evaluiert wurden. Der Vollständigkeitshalber werden Items für die extrinsische und intrinsische Motivation eingesetzt. Die Skala ‚generelle Tätigkeitsanreize‘ für die Erfassung der intrinsischen Motivation ist ebenfalls dem PMI entlehnt und umfasst eine Auswahl von drei Items. Die extrinsische Motivation wird mithilfe von zwei Skalen erfasst, die die Folgeanreize mithilfe unterschiedlicher Formen differenziert erfassen. Hierfür werden die Subskalen ‚Gute Note und ‚Fremdbewertungsfolgen‘ mit jeweils zwei Items verwendet.

Aufgrund der kooperativen Ausrichtung der Erklärungsphase wird zusätzlich eine von Fechner (2009) entwickelte und evaluierte Skala für die Erhebung des Kooperationsverhaltens verwendet. Zudem wird das chemiespezifische Selbstkonzept erfasst. Bezüglich der Items zur Erfassung des Kooperationsverhaltens wird ebenfalls auf die entsprechende Skala von Fechner (2009) zurückgegriffen.

Die gesamten Items der Skalen umfassen eine vierstufige Likert-Skala (1 stimmt gar nicht – 4 stimmt völlig), mithilfe derer die Lernenden ihre Bewertung der einzelnen Items vornehmen. Einige Items werden für die Auswertung aufgrund negativer Formulierungen

umgepolt. In der unterstehenden Tabelle ist eine Übersicht über die Subskalen, Itemanzahl und entsprechende Items zusammenstellt.

Tabelle 30. Übersicht über die Items zur Erfassung von Interesse und Motivation

	Beschreibung	Items	Beispielitem
FI	Fachinteresse	8	Chemie ist eines der interessantesten Schulfächer.
SAI	Sachinteresse	4	Wenn ich Chemie abwählen könnte, so würde ich dies sofort tun. (negativ gepolt)
GTA	Generelle Tätigkeitsanreize	3	Ich wünschte mir, dass ich mich nicht mit Chemie beschäftigen müsste.
FGN	Folge & Folgenanreize – Gute Noten	2	Im Chemieunterricht viel zu können und gut zu sein, ist für mich wichtig, weil ich einen guten Durchschnitt in Chemie haben möchte.
FBF	Folgen & Folgenanreize - Fremdbewertungsfolge	2	Im Chemieunterricht viel zu können und gut zu sein ist für mich wichtig, damit ich von meinen Mitschülern geschätzt werde.
SBK	Selbstkonzept	6	Chemie fällt mir leicht.
KOOP	Kooperationsverhalten	3	Meine Mitschüler hören mir zu, wenn ich in einer Partnerarbeit etwas zu sagen habe.

Eine Überprüfung der internen Konsistenz der Subskalen weisen nach Cronbachs α für alle Subskalen, mit Ausnahme der Subskala; Fremdbewertungsfolge', gute bis sehr gute Werte auf. Da die Skala Fremdbewertungsfolge mit einem Koeffizienten von $\alpha = .5$ keine ausreichende interne Konsistenz aufweist, wird die Subskala aus den weiteren Analysen ausgeschlossen.

Tabelle 31. Kennwerte der Subskalen Interesse und Motivation

Skala	Itemanzahl	Interne Konsistenz [Cronbachs α]	Trennschärfe [r_{it}]
FI	8	.9	$.64 \leq r_{it} \leq .82$
SAI	4	.7	$.44 \leq r_{it} \leq .55$
GTA	3	.74	$.51 \leq r_{it} \leq .65$
FGN	2	.83	$.71 \leq r_{it} \leq .71$
SBK	6	.93	$.72 \leq r_{it} \leq .86$
KOOP	3	.73	$.49 \leq r_{it} \leq .70$

Die Trennschärfe aller Items weisen mit Werten $r_{it} \geq .3$ auf keine problematischen Items hin.

7.5.2 Abhängige Variablen

Die folgenden Kapitel werden die abhängigen Variablen detaillierter vorgestellt. Die abhängigen Variablen (Repräsentation- und Fachwissenstest) haben zudem zum Prätest die Funktion einer Kontrollvariable inne. In den ersten beiden Kapiteln erfolgt eine Übersicht über die Konzipierung des Fachwissens- und Repräsentationstests, die auf den Testinstrumenten aus der ersten Studie basieren. Im Anschluss daran wird das Testinstrument für die Erhebung der prozessbegleitenden Variable (kognitive Belastung) erläutert.

7.5.2.1 Fachwissen

Das Testinstrument für die Erfassung der Fähigkeiten im Fachwissen basiert auf dem Fachwissenstest, der im Rahmen der ersten Untersuchung konzipiert und evaluiert wurde. Für die vorliegende Studie wurde im Abgleich mit der Lernzielformulierung und mit Rückbezug zu den curricularen Vorgaben eine Auswahl an Items getroffen, die zu einem Testinstrument zusammengestellt wurden. Aus inhaltlichen und testökonomischen Gründen wurden anfänglich 24 Items aus dem ursprünglichen Itempool des Fachwissenstests zu einem Testinstrument zusammengestellt und der Stichprobe zum Prä- und Post-Testzeitpunkt zur Bearbeitung vorgelegt. Zu den Unterthemen Säuren, Basen, Neutralisation und dem pH-Wert wurden jeweils sechs Items ausgewählt. Für eine detaillierte Beschreibung der Itemkonstruktion sei auf das Kapitel 6.2.1 verwiesen.

Für die Überprüfung der Qualität des Testinstruments sowie die Ermittlung der Personenfähigkeiten zum Prä- und Post-Zeitpunkt wurde wie bereits in Abschnitt 7.2 erläutert die Daten der gesamten Stichproben zusammengeführt, sodass die Analysen auf einer Stichprobengröße von $N = 374$ basiert.

Die sowohl in der ersten als auch zweiten Studie genutzten Items N2, S5 sowie P2 wurden bereits zu Beginn aus den folgenden Analysen ausgeschlossen, da sie sich im Rahmen der Auswertung der ersten Studie bereits als nicht konform mit dem Raschmodell erwiesen. Somit werden für die vorliegende Studie die Daten von 21 bearbeiteten Fachwissensitems in den Analysen eingeschlossen und in den Datensatz der ersten Studie mit insgesamt 28 Fachwissensitems eingebettet. Für 21 Fachwissensitems liegt das Antwortverhalten der Gesamtstichprobe von $N = 374$ vor. Folglich sind von $N = 28$ Fachwissensitems für die Stichprobe der zweiten Studie für sieben Fachwissensitems system definiert fehlende Werte zu verzeichnen.

Aus der Überprüfung der Itemstatistik für den Prä-Testzeitpunkt geht hervor, dass ein weiteres Item (P3) mit 5.9 einem t -Wert und mit $wMNSQ = 1.44$ weit außerhalb der gesetzten Grenzwerte liegt. Auch zum Post-Testzeitpunkt weist das Item unzureichende t - und $wMNSQ$ -Werte auf. Aufgrund dessen erfolgt auch für das Item ein Ausschluss, so-

dass die folgenden Analysen zur Überprüfung der Testgüte sowie Ermittlung der Personenfähigkeiten im Fachwissen zu den zwei Testzeitpunkten letztendlich auf einer Itemanzahl von $N = 27$ basieren.

Zum Prä-Testzeitpunkt liegen die Werte für die Aufgabenreliabilität (EAP Reliability) mit einem Koeffizienten von .88 und die Personenreliabilität mit .85 in einem guten Bereich. Auch für den Post-Testzeitpunkt weisen die Aufgaben- und Personenreliabilität hohe Werte in einem guten Bereich auf.

Tabelle 32. Modellmerkmale für den Fachwissenstest zum Prä- und Post-Testzeitpunkt ($N_{\text{Items}} = 27$)

	<i>wMNSQ</i>	<i>t-Wert</i>	Aufgabenreliabilität	Personenreliabilität
Prä	$0.81 \leq wMNSQ \leq 1.16$	$-3.6 \leq t\text{-Wert} \leq 2.1$.88	.85
Post	$0.81 \leq wMNSQ \leq 1.18$	$-3.7 \leq t\text{-Wert} \leq 2.9$.88	.86

Die Ergebnisse der Überprüfung der Itemsstatistik anhand der *t*- und *wMNSQ*-Werte für die einzelnen Items zeigen, dass Abweichungen der *t*-Werte zwar vorliegen aber kein Item gleichzeitig einen inakzeptablen *wMNSQ*-Wert aufzeigt. Die Spannweite der Itemschwierigkeit für den Prä-Testzeitpunkt liegt in einem Bereich von -1.32 bis 2.39 und für den Post-Testzeitpunkt bei -1.42 bis 2.34. Die mittlere Itemschwierigkeit zu dem Testzeitpunkt Prä ($M = .54$, $SD = .89$) und Post ($M = .48$, $SD = .92$), weisen auf einen durchschnittlich angemessenen Schwierigkeitsgrad der Items hin.

Für die zusätzliche Überprüfung des Fachwissenstests und der ermittelten Personenfähigkeiten wurde im Sinne einer konvergenten Validität die Korrelation zwischen der Personenfähigkeit und dem durch ein anderes Erhebungsverfahren gewonnene Konzeptwissen der Lernenden berechnet. Hierzu wurde anhand der Prozessdaten der Lernenden qualitativ das vermittelte Konzeptwissen analysiert und in quantitative Daten überführt. Das anhand der Prozessdaten erfasste Konzeptwissen korreliert mit den ermittelten Personenfähigkeiten im Fachwissen sowohl zum Prä-Testzeitpunkt ($r_{sp} = .40$, $p < .001$) als auch zum Post-Testzeitpunkt ($r_{sp} = .47$, $p < .001$).

7.5.2.2 Repräsentationstest

Für die Analyse des Zusammenhanges zwischen der als prozeduralen beschriebenen Fähigkeit externe Repräsentationen für das Erklären eines Phänomens zu nutzen und der deklarativen Fähigkeit Informationen aus multiplen externen Repräsentationen zu entnehmen, wurde der Repräsentationstest aus der ersten Studie vor und nach der Intervention in der vorliegenden Studie genutzt.

Wie bereits für die Erfassung des Fachwissens wurden in der vorliegenden Studie die in der ersten Studie bereits entwickelten und erprobten Repräsentationsitems genutzt und in einer adaptierten Form zu einem Testinstrument zusammengefasst. Hierfür wurden für die vorliegende Studie 18 der insgesamt 48 Items zu einem Testheft zusammengefügt. Bezüglich der Auswahl der Items wurde eine annähernd ausgeglichene Verteilung der Items über die Unterthemen sowie den externen Repräsentationsformen angestrebt. Darüber hinaus wurden primär Items ausgewählt, deren inhaltliche Schwerpunkte den Inhalten der Intervention sowie den curricularen Richtlinien entsprechen.

Ausgewählt wurden folgende Repräsentationsitems, von denen sich jeweils sechs den Unterthemen Säuren, Basen und Neutralisation zuordnen lassen.

Insgesamt umfassen die achtzehn Items über die Unterthemen hinweg jeweils fünf Visualisierungen mithilfe der Strukturformel und der Ionenschreibweise und jeweils vier Items mit dem Kalottenmodell sowie der Summenformel. Bezüglich der Zusammenstellung der Items wurde beachtet, dass die zwei Items, die dem gleichen Fachwissensitem zugrunde liegen und sich lediglich in der Repräsentationsform unterscheiden, nicht in dem Testheft zusammengefügt wurden.

Für die Auswertung wurde auf das bereits mehrfach erläuterte Einbettungsverfahren zurückgegriffen. Wie bereits beim Fachwissenstest wurden hierfür der Datensatz der vorliegenden Studie der beiden Testzeitpunkte jeweils in den Datensatz der Stichprobe der ersten Studie eingebettet und mithilfe des eindimensionalen Rasch-Modells ausgewertet. Folglich konnten die Item- und Personenparameter für den Prä- und Post-Testzeitpunkt geschätzt werden. Aufgrund des in der ersten Studie verwendeten *incomplete-block-designs* liegen für die insgesamt 48 Items unterschiedliche Antwortanzahlen vor. Die Anzahlen der Antworten pro Item liegen in einem Bereich von $144 \leq 294$.

Wie aus der untenstehenden Tabelle zu entnehmen ist, liegen für die Daten zum Prä- als auch zum Post-Zeitpunkt die Werte der Aufgaben- und Personenreliabilität überwiegend im guten Bereich.

Tabelle 33. Modellmerkmale für den Repräsentationstest zum Prä- und Post-Testzeitpunkt ($N_{\text{Items}} = 48$)

	<i>wMNSQ</i>	<i>t-Wert</i>	Aufgabenreliabilität	Personenreliabilität
Prä	$0.87 \leq wMNSQ \leq 1.27$	$-2.2 \leq t\text{-Wert} \leq 2.6$.81	.77
Post	$0.87 \leq wMNSQ \leq 1.29$	$-2.4 \leq t\text{-Wert} \leq 2.7$.83	.79

Die Itemparameter deuten ebenfalls auf eine gute Passung der Items hin. Im Hinblick auf die Itemparameter lassen sich *t*-Werte außerhalb der gesetzten Spannweite von $-2 \leq t\text{Wert} \leq 2$ erkennen, jedoch deuten die entsprechenden *wMNSQ*-Werte auf keine Nonkonformität der Items mit dem zugrundeliegenden Rasch-Modell, sodass alle Items beibehalten werden.

Für die Itemschwierigkeiten liegen vor der Intervention in einem Bereich von -0.86 bis 2.85 und nach der Intervention in dem Bereich von -0.9 bis 2.8. Die mittlere Itemschwierigkeit der Repräsentationsitems zum Prä-Testzeitpunkt liegt bei $M = .96$ ($SD = 0.91$) und zum Post-Testzeitpunkt bei $M = .87$ ($SD = 0.89$). Insgesamt weisen die Items im Durchschnitt einen leicht erhöhten Schwierigkeitsgrad für die Stichprobe auf. Auch die Spannweite der Itemschwierigkeiten deuten darauf hin, dass für Personen mit einer Personenfähigkeit ≤ -0.9 Items mit entsprechend niedrigen Itemschwierigkeiten fehlen.

Dimensionen

Für die Überprüfung der Validität des Fachwissens- und Repräsentationstests und der Replizierbarkeit der Ergebnisse aus der ersten Studie wurde basierend auf dem erweiterten Datensatz ($N_{\text{Stichprobe}} = 374$) des Prä-Testzeitpunktes die Passung des eindimensionalen gegen das zweidimensionale Modell erneut berechnet. Aus den Ergebnissen der ersten Studie geht eindeutig hervor, dass das zweidimensionale Modell zu präferieren ist und die zwei Testinstrumente folglich zwei unterschiedliche Konstrukte erfassen. Hierzu wird wiederholt auf das Verfahren zurückgegriffen, dass die informationstheoretischen Maße und einen Signifikanztest umfasst.

Die von ConQuest® errechnete Deviance zeigt für das zweidimensionale Modell einen niedrigeren Wert als für das eindimensionale und somit auf eine höhere Passung eines zweidimensionalen Modells für den Datensatz der Fachwissens- und Repräsentationsitems. Die Bevorzugung des zweidimensionalen Modells wird durch die berechneten Werte für die Informationskriterien (AIC, BIC und CAIC) und Vergleiche zwischen ihnen bestätigt. Zusätzlich wurden mithilfe eines Chi-Quadrat-Tests die Unterschiede zwischen den erfassten Prüfgrößen zur Bestimmung der Dimensionen auf Signifikanz überprüft. Die Ergebnisse zeigen, dass es sich um hochsignifikante Unterschiede handelt ($p < .001$), sodass wiederholt die bessere Passung des zweidimensionalen Modells bestätigt wurde.

Tabelle 34. Modellvergleich für die Fachwissens- und Repräsentationsitems (zweite Studie)

Modell	Dimension	EAP R.	WLE R.	Geschätzte Parameter	Deviance	AIC	BIC	CAIC
1	1	.9	.9	76	19330.71061	19482.71	19780.95	20307.20
2	1	.89	.85	78	19170.15902	19326.16	19632.25	20172.34
	2	.85	.77					

*R = Reliabilität

7.5.3 Analyse der Prozessdaten in Bezug auf die Funktionen der externen Repräsentationen im Modellierprozess

Die Analyse der Screencast-Videos wurde primär mit dem Ziel verfolgt die Nutzung der externen Repräsentationsform beim Modellieren eines chemischen Phänomens zu untersuchen, um Rückschlüsse auf die prozedurale Fähigkeit „*Nutzen von Repräsentationen für das Beschreiben und Erklären von beobachteten chemischen Phänomenen*“ zu schließen. Folgende Schwerpunkte werden im Rahmen der Prozessdatenanalyse gesetzt: verbale Äußerungen der Lernenden, die digital angefertigte Visualisierung in Bezug auf den Modellcharakter der genutzten externen Repräsentation und die dynamische Interaktion zwischen den beiden Elementen während des Modellierens.

Wie bereits erläutert, erhielt jeder der Lernenden ein Tablet, sodass auch von jedem Lernenden $N = 80$ ein Screencast-Video mithilfe des Programms OpenBoard aufgezeichnet wurde und für die Prozessdatenanalyse zur Verfügung steht.

Entwicklung des Kodiermanuals

Die Analyse der Screencast-Videos erfolgte in einem mehrzyklischen Prozess und orientiert sich am Analysekreislauf nach Jacobs, Kawanaka und Stigler (1999). Für die Entwicklung des Kategoriensystems wurde Bezug zu der Vorgehensweise nach Seidel (2005) genommen. Für die Analyse der Prozessdaten sowie die Gewährleistung der Qualität der Datenauswertung wurde ein Kodierhandbuch für die Kodierer*innen sowie die Einarbeitung eines zweiten Kodierers verfasst, das Informationen u. a. zur Vorgehensweise, den zu kodierenden Einheiten und den Kategorien enthält (siehe Anhang). Zudem wurde auf der Grundlage des entwickelten Kodierhandbuchs die Güte der Prozessdatenanalyse gewährleistet.

Für die Analyse der Daten wurde die Vorgehensweise der Ereignisstichprobe (*event-sampling*) genutzt, da insbesondere die Phase des Modellierens des Phänomens und die Nutzung der Repräsentationsform in der Modellierungsphase im Interesse der Analyse stehen (Lotz, Gabriel & Lipowsky, 2013; Seidel, 2005). Mit Rückbezug zur Theorie und

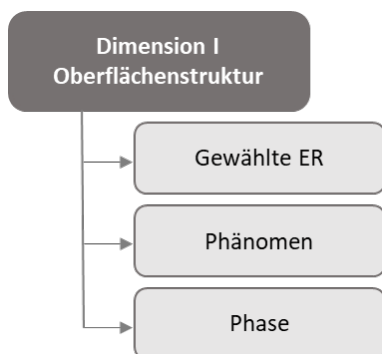


Abbildung 47. Auszug aus dem Kodiermanual: Oberflächenstruktur

den in der Lerneinheit immanenten Aufgabenstellungen wurden a-priori Kategorien entwickelt und eine Operationalisierung der im Interesse stehenden Ereignisse bzw. Situationen definiert. In einem ersten Schritt wurde das Screencast-Video von Beginn bis zum Ende durchgesehen. Im Rahmen des Prozesses wurden die Kategorien der ersten Dimension, die als Oberflächenmerkmale beschrieben werden, identifiziert. Anhand des Bildmaterials wurden hierbei die gewählte externe Repräsentati-

onsform sowie das Phänomen anhand disjunktiver Kategorien zugewiesen. Die Variable ‚gewählte ER‘ enthält die Kategorien (1) Kalottenmodell, (2) Strukturformel, (3) Ionen-schreibweise sowie (4) Summenformel. Die Variable Phänomen wird in die zwei Katego-rien (1) Springbrunnen und (2) Neutralisation differenziert. Anhand der Kategorien wird festgestellt, welchen Versuch die Lernenden auf atomarer Ebene visualisieren und wel- che der zu Verfügung gestellten externen Repräsentationen sie hierfür wählen. Basie- rend auf den theoretischen Ausführungen der zu erklärenden Phasen im schulischen Kontext sowie der Aufgabenstellung werden die Aussagen der Lernenden den Katego- rien Beschreibungs- und Erklärungsphase zugeordnet. Die Lernenden wurden instruiert zunächst zu beschreiben, was sie in dem Video gesehen haben und erst danach das Phä- nomen auf atomarer Ebene zu erklären. Somit wird das Material anhand der zwei Kate- gorien in zwei Phasen strukturiert. Aufeinanderfolgende Aussagen der Lernenden wer- den der Kategorie Beschreibungsphase dann zugeordnet, wenn sie die erste Aufgabe erfüllen und überwiegend das in dem Video dargestellte Phänomen wiedergeben. Da- hingegen werden Aussagen der Kategorie Erklärungsphase zugeordnet, wenn Lernende überwiegend ihrer*m Partner*in das in dem Video beobachtete Verhalten des Phäno- mens mithilfe der Analyse von Ursachen und Wirkungen erläutern. Anzumerken sei an dieser Stelle, dass bewusst Phasen d. h. aufeinanderfolgende Sequenzen von Äußerun- gen als Beschreibungs- oder Erklärungsphase bestimmt wurde. Die Phasen können the- oretisch Elemente der jeweils anderen Phasen enthalten.

Entsprechend der formulierten Forschungsfrage ‚Inwiefern nutzen Lernende externe Repräsentationen des atomaren Bereichs zweckbezogen beim Erklären eines Phäno- mens im Modellierprozess?‘ wurde die Interaktion zwischen der verbal geäußerten Er- klärung und der externen Repräsentation in weiteren Schritten tiefenanalytisch fokus- siert. Für die Operationalisierung des ‚Zweckbezogenen Nutzens der externen Repräsen-

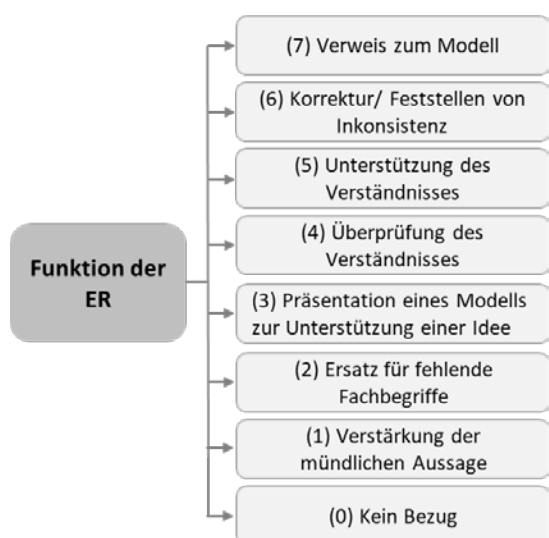


Abbildung 48. Auszug aus dem Kodiermanual; Tiefenstruktur; Funktionen

tation‘ wurde basierend auf Oliveira et al. (2015) Beschreibungen zu den Funktionen externer Repräsentationen beim Erklären im modellierungsbasierten Chemieunter- richt (siehe Abschnitt 3.4.2) sieben differen- zierende Subkategorien der Variable Funk- tion der externen Repräsentation formu- liert. Anhand der Funktionen, die die exter- nen Repräsentationen während des Model- lierens erfüllen, lässt sich auf die Zwecke der externen Repräsentationen sowie die Quali- tät in der Nutzung zurückschließen. Die Funktionen zeigen eine aufsteigende Quali-

tät in der Nutzung der externen Repräsentationen im Modellierprozess auf. Mit Rückbezug zu dem Modellverständnis lässt sich anhand der Funktionen ‚(1) Verstärkung der mündlichen Aussage‘ und ‚(2) Ersatz für fehlende Fachbegriffe‘ feststellen, dass sich das Nutzungsverhalten durch fehlende Bezüge zum dahinterliegenden Konzept und dem mentalen Modell auszeichnet. Die externe Repräsentation wird im Modellierprozess folglich nicht im Zusammenhang mit erkenntnistheoretischen Zwecke als *Modell für*, sondern entsprechend der Nutzung als *Modell von* etwas genutzt. Folglich beschränkt sich das Nutzungsverhalten auf den Zweck, die externe Repräsentation als Stellvertreter bzw. Abbildung von dem geäußerten Aussagen oder fehlenden Fachbegriffen zu nutzen. Die Funktionen (3) Nutzen des Modells zur Vermittlung einer Idee‘, (4) Unterstützung des Verständnisses‘ sowie (5) Überprüfung des Verständnisses‘ stechen durch die Fokussierung auf die Vermittlung der zu erklärenden Inhalten bzw. Konzepten aus. In Anlehnung an den Modellierprozess enthalten die drei Funktionen Handlungen an den externen Repräsentationen, die auf die Erarbeitung eines Konzepts schließen lassen und somit zu Beginn des Modellierprozesses zu verorten sind. Ein erkenntnistheoretischer Zweck und somit die höchste Qualität des Nutzungsverhaltens ist in den Funktionen ‚(6) Feststellen/Korrektur von Inkonsistenz‘ und ‚(7) Verweis zum Modell‘ erkennbar. Erfüllen die externen Repräsentationen diese Funktionen werden sie für erkenntnistheoretische Zwecke verwendet, um entweder ein bereits vorhandenes mentales Modell zu überarbeiten oder das bereits vorhandene Modell zu externalisieren. Das Nutzungsverhalten weist somit die höchste Qualität auf, da im Sinne eines erkenntnistheoretischen Zwecks ein Rückbezug zwischen der externen Repräsentation und dem mentalen Modell hergestellt wird. Das Nutzungsverhalten lässt darauf zurückschließen, dass die externe Repräsentation beim Modellieren als *Modell für* etwas in Anspruch genommen wird. Im Rahmen der Kompetenzmodelle wird ebenfalls anhand bspw. der Fähigkeit ‚Zweck von Modellen‘ oder ‚Nutzen von Repräsentationen für das Beschreiben und Erklären von beobachteten chemischen Phänomenen‘ auf das Modellverständnis zurückgeschlossen, allerdings lassen die Ausführungen keine differenzierende Betrachtung des Zwecks bzw. des Nutzungsverhalten beim Modellieren eines Phänomen zu, die wiederum auf die unterschiedliche Qualität des als allgemein beschriebenen Nutzungsverhalten bzw. Zwecks schließen lassen.

Darüber hinaus erfolgte im Rahmen der Prozessdatenanalyse die Zuteilung der Kategorie ‚kein Bezug‘, wenn keine Situation in der gesamten Erklärungsphase identifiziert werden konnte, in der eine Funktion genutzt wurde. Eine umfassende Beschreibung der Kategorien ist dem Kodierhandbuch zu entnehmen (s. Anhang). So wird beispielsweise die Subkategorie (2) Ersatz für fehlende Fachbegriffe vergeben, wenn aus den Aussagen der Lernenden hervorgeht, dass das Wissen über das Fachvokabular z. B. Stoffnamen nicht vorhanden ist. Indikatoren hierfür sind bspw. eine explizite Äußerung darüber, dass sie für eine Entität die fachspezifische Bezeichnung fehlt: „Die Reaktion, die da abläuft ist,

Ammoniak reagiert mit Wasser zu dem anderen Ding, das ich nicht benennen kann und Hydroxidionen.“ (PL_21, 12:20-12:25). Die Subkategorie (6) Korrektur/ Feststellen von Inkonsistenz wird dann einer Sinneinheit zugeordnet, wenn Lernende die externe Repräsentation nutzen, um Inkonsistenz bzw. Diskrepanzen bezüglich ihrer Visualisierung und dem Konzept oder ihren Vorstellungen aufzeigen und Korrekturen vornehmen d. h. nach einer anderen Darstellungsweise/ Äußerung suchen. Die Kodierung der Sinneinheit wird mit der vorgenommenen Korrektur beendet: „Dann musst das ja wirklich... das muss ja genau anders herum dann sein. [Umordnung von Elementen der Visualisierung]. Weil es war ja auch am Anfang... Ne... ne... doch so. So muss das also sein.“ (PG2_19, 6:36-7:30). Aus der angeführten Aussage wird deutlich, dass bereits ein mentales Modell vorhanden ist, das im Zuge des Modellierens mit der externen Repräsentation verändert wird.

Zusätzlich wurde im Rahmen der Tiefenstruktur die Erklärungsphase im Hinblick auf das vermittelte Konzeptwissen analysiert. Die Variable vermitteltes Konzeptwissen wird in die Kategorien *Visualisierung* und *Verbalisierung* differenziert d. h., dass das vermittelte Konzeptwissen zum einen anhand der erstellten Visualisierung und zum anderen anhand der Aussagen der Lernenden erfasst wird. Ausgehend von dem Donator-Akzeptor-Prinzip wird die Kategorie mithilfe von drei Facetten (0) falsch, (1) richtig ohne Protonenübertragung und (2) richtig mit Protonenübertragung differenziert.

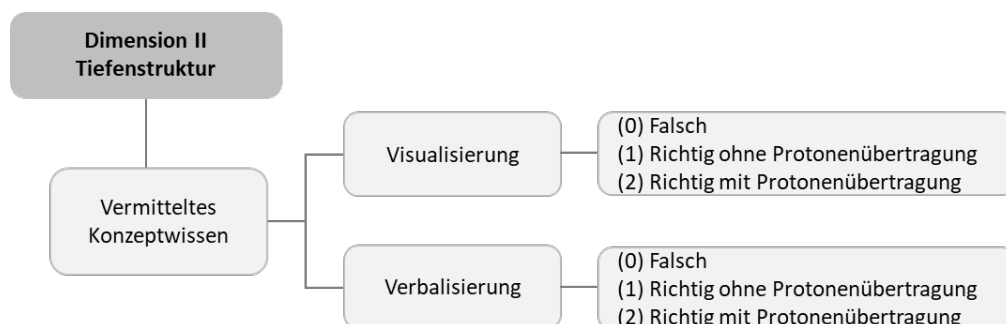


Abbildung 49. Auszug aus dem Kodiermanual: Tiefenstruktur; Vermitteltes Konzeptwissen

Das aus den Prozessdaten ermittelte Konzeptwissen wurde als externes Kriterium (konvergente Validität) genutzt, um anhand einer Korrelation zu überprüfen, inwieweit die geschätzten Personenfähigkeiten im Fachwissen mit dem vermittelten Konzeptwissen in Beziehung stehen.

Datenanalyse

Zunächst wurde in der Analysesoftware MAXQDA das Kategoriensystem hinterlegt. Hierzu wurde in der Liste der Codes die Variablen und Kategorien des zugrundeliegenden Kategoriensystems eingefügt. Anschließend wurden die Daten in Form von Videodateien in die Analysesoftware MAXQDA in der Liste der Dokumente eingefügt. Mit der Analysesoftware ist eine direkte Auswertung der Videodateien möglich, in dem per *drag*

and drop die Codes den entsprechenden Stellen des Videos zugeordnet werden. Die Ergebnisse werden für weitere Auswertungen in das Programm IBM SPSS Version 25 exportiert. Im Programm SPSS werden die Kategorien des Kodiermanuals in ein Punktesystem überführt. Diesbezüglich wurden die Funktionen der externen Repräsentationen in Punkte von 0-7 überführt und das vermittelten Konzeptwissen in einen Bereich von 0-1. Die Zuordnung der Punkte zu den Funktionen orientiert sich an den Ausführungen von Oliveira et al. (2015), die mit steigender Kategorie einen zunehmenden Modellcharakter der externen Repräsentation und des Modellverständnisses postulieren. Für das vermittelte Konzeptwissen konnten für die Visualisierung und die Verbalisierung jeweils maximal zwei Punkte vergeben werden.

Güte der Datenauswertung

Die Qualität der Datenauswertung wurden anhand mehrerer Qualitätskriterien überprüft und gewährleistet, die im Folgenden erläutert werden. Das gesamte Kodiermanual wurde in mehreren Zyklen entwickelt und konstruktiven Überarbeitungsprozessen unterzogen. Als Grundlage für die Entwicklung und Pilotierung des Kodiermanuals wurden die Screencast-Videos aus der Pilotierung der Lernumgebung und der aus der Hauptanalyse ausgeschlossenen Stichprobe (aufgrund von Fehlzeiten ausgeschlossen) genutzt. Im Rahmen dessen wurden im Sinne der semantischen Gültigkeit die Kategorien auf eindeutige Beschreibungen und ihre Abgrenzbarkeit mit einer weiteren Person überprüft, überarbeitet und Ankerbeispiele, Definitionen und die Kodierregeln revidiert und erweitert (Mayring, 2010). Des Weiteren wurde für die Sicherung der Konstruktvalidität die aus der Theorie und den bereits evaluierten Kategorien nach Oliveira et al. (2015) sowie der theoretischen Beschreibung einer Erklärung, das Kodierhandbuch und die entwickelten Kategorien kontinuierlich überprüft und ggf. überarbeitet. Ein weiteres Ziel der Pilotierung war neben der Überarbeitung der Kategorien in Bezug auf präzise Kategorienbeschreibungen das Einarbeiten des zweiten Kodierers.

Die Qualität der Datenanalyse wurde darüber hinaus durch die Doppelkodierung durch einen zweiten unabhängigen Kodierer und der Ermittlung der Intercoder-Reliabilität sichergestellt, um u. a. eine Unabhängigkeit der Ergebnisse von der Versuchsleitung und folglich die Objektivität zu gewährleisten. Des Weiteren wird mit der Intercoder-Reliabilität die Validität der Datenauswertung überprüft. Aus der Literatur geht ein Richtwert für die Doppelkodierung von mindestens 10% der Daten hervor (Mayring, 2010). Insgesamt wurden 25% der Daten aus der Hauptanalyse der vorliegenden Studie von zwei Personen kodiert. Anhand der Ergebnisse der Doppelkodierung wurde ermittelt, inwieweit die zwei Kodierer die gleichen Ereignisse identifizieren und den Ereignissen dieselben Codes der Oberflächen- und Tiefenstruktur zugewiesen haben. Die Vergabe der

7 Empirische Untersuchung zu der Nutzung von externen Repräsentationsformen im Modellierprozess

Codes wird als Übereinstimmung zwischen den zwei Kodierern gewertet, wenn folgende drei Bedingungen erfüllt sind: Wenn beide Kodierer...

- ... den In- und Out-Point zur gleichen Zeit setzen oder dieser sich um maximal zwei Sekunden unterscheidet,
- ...das gleiche Ereignis kodieren und,
- ...dem Ereignis denselben Code zuordnen.

Das Maß der Beurteilungsübereinstimmung wurde mittels prozentualer Übereinstimmung und dem Übereinstimmungsmaß nach Cohens Kappa ermittelt. Zunächst wurden die prozentuale Übereinstimmung und der Kappa-Wert für jede Variable separat berechnet und im Anschluss ein gemeinsamer Wert jeweils für die Variablen der Oberflächen- und Tiefenstruktur ermittelt (Mayring, 2010).

In der folgenden Tabelle sind die prozentualen Werte und der Kappa-Koeffizient für die Variablen der Oberflächenstruktur zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 35. Interrater-Reliabilität für die Variablen der Oberflächenstruktur

Variable	Übereinstimmung	
	Prozentual (%)	Cohens Kappa (κ)
Phänomen	100	.99
Gewählte externe Repräsentation	100	.99
Phase	89.2	.78

Für die gesamten Variablen der Oberflächenstruktur ergibt sich ein Kappa-Wert von $\kappa = .94$ und eine prozentuale Übereinstimmung von 96.4 %. Der relativ hohen Werte der Übereinstimmungsmaße sind überwiegend auf die Variablen ‚Phänomen‘ und ‚gewählte externe Repräsentation‘ zurückzuführen, da diese eindeutig anhand des Bildmaterials zu bestimmen sind und eine geringe Inferenz aufweisen. Für die Variablen ‚vermitteltes Konzeptwissen‘ und die ‚Funktionen der externen Repräsentationen‘ ergeben sich folgende Werte für die Interrater-Reliabilität:

Tabelle 36. Interrater-Reliabilität für die Variablen der Tiefenstruktur

Variable	Übereinstimmung	
	Prozentual (%)	Cohens Kappa (κ)
Vermitteltes Konzeptwissen	97.29	.96
Funktionen der externen Repräsentation	91.8	.87

Entsprechend literaturbasierter Richtwerte ist ein Kappa-Wert von mindestens $\kappa \geq .75$ anzustreben, um eine Übereinstimmung als gut zu interpretieren (Wirtz & Caspar, 2002). Für die Interrater-Reliabilität des Kodiermanuals konnten Kappa-Werte in dem Bereich $.78 \leq \kappa \leq .99$ ermittelt werden. Folglich lässt sich die Qualität des Kodiermanuals

als gut beschreiben.

Die Lernenden wurden aufgefordert ihre Entscheidung für eine externe Repräsentation mit ihrem Partner auszutauschen. Für die Analyse der Begründungen wurde die Methode der qualitativen zusammenfassenden Inhaltsanalyse nach Mayring (2010) genutzt. Ziel der zusammenfassenden Inhaltsanalyse ist die Reduzierung der Aussagen auf das Wesentliche, das dennoch die Grundgesamtheit der Aussagen abbildet. Das Vorgehen der Datenauswertung orientiert sich an dem Ablaufmodell der zusammenfassenden Inhaltsanalyse nach Mayring sowie der strukturierten Interpretationsregeln (Z-Regeln). In einem ersten Schritt wurden die Begründungen pro Lernenden in den Screen-Cast-Videos identifiziert und transkribiert. Entsprechend der Paraphrasierung (Z1-Regel) wurden die Kodiereinheiten um nicht inhaltstragende Einheiten gekürzt und umformuliert, sodass die Aussagen ein Sprachlevel aufweisen. Für die Reduzierung erfolgt zunächst die Bestimmung des Abstraktionsniveaus. Da im Fokus der zusammenfassenden Inhaltsanalyse die Begründung für die Auswahl stehen, bezieht sich das Abstraktionsniveau auf alle Ursachen und Gründe, die von den Lernenden angeführt werden, um ihre Entscheidung für eine externe Repräsentation zu begründen. In der ersten Reduktionsphase werden inhaltsgleiche Paraphrasen gestrichen (Z3-Regel). Ziel der zweiten Reduktionsphase ist die Kombination von sich aufeinander beziehenden und ähnlichen Paraphrasen zu neuen Kategorien, die in Bezug auf die Aussagen des Ausgangsmaterials eine hohe Repräsentativität aufweisen sollten. Die Repräsentativität der am Material gewonnenen Kategorien wurde im letzten Schritt sichergestellt. Diesbezüglich wurde zusätzlich von einem zweiten Kodierer überprüft, inwieweit sich die Gesamtheit der Aussagen des Ausgangsmaterials den generalisierten Kategorien zuordnen lassen.

7.5.4 Prozessbegleitende Variable: Kognitive Belastung

Die Lernenden unterscheiden sich in der Intervention in Bezug auf die externen Repräsentationen, mit der sie ihrem*r Partner*in das unbekannte Phänomen erklären. Für die Kontrolle der unterschiedlichen Bedingungen wird ein Fragebogen zur Erfassung der kognitiven Belastung eingesetzt.

Entsprechen der Annahmen von Schnotz (2002) nehmen die ikonischen (konkrete) und symbolischen (abstrakte) externen Repräsentationen Einfluss auf die kognitive Belastung und die mentale Modellkonstruktion. Der Autor postuliert, dass der kognitive Aufwand und die Belastung des Arbeitsgedächtnisses bei der Verarbeitung symbolischer externer Repräsentation höher ausfalle als bei ikonischen.

Zusammenfassend kann die kognitive Belastung als ein mehrdimensionales Konstrukt definiert werden, das die Belastung darstellt, die die Ausführung einer bestimmten Aufgabe dem kognitiven Verarbeitungsprozess der Lernenden auferlegt (Paas, Tuovinen,

Tabbers & Gerven, 2003). In Bezug auf die Messung der kognitiven Belastung erfolgt eine Differenzierung in die aufgabenbezogene (*mental load*) und lernerbezogene (*mental effort*) Dimension (Paas et al., 2003; Sweller, Merriënboer & Paas, 1998). Die Dimension der aufgabenbezogenen Dimension (*mental load*) umfasst die mentalen Denkanstrengungen, die durch die Aufgabencharakteristika wie Gestaltungsprinzipien der Lernumgebung bedingt werden. Die mentale Denkanstrengung, die dahingegen für die Bewältigung der Aufgabe und ihrer Inhalte investiert werden, wird als lernerbezogene Dimension beschrieben. Die kognitive Belastung umfasst somit sowohl die lernerbezogenen als auch aufgabenbezogenen Parameter. Für die Erfassung der kognitiven Belastung bestehen unterschiedliche Möglichkeiten z. B. leistungsbezogene und psychologische Verfahren. Auf die Erfassung der kognitiven Belastung anhand unterschiedlicher Verfahren soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden, sodass für ausführliche Informationen auf Zander (2010) verwiesen wird. Aus testökonomischen Gründen werden im Rahmen dieser Studie ein Item zur Erhebung der wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit und ein weiteres für die aufgebrachte bzw. investierte Denkanstrengung verwendet (Kalyuga, Chandler, Touvinen & Sweller, 2001; Paas, 1992). Die kognitive Belastung wurde im Rahmen der vorliegenden Studie für die Bewältigung von zwei Aufgaben erfasst. Die Lernenden wurden gebeten ihre kognitive Belastung anhand der zwei Items und einer siebenstufigen Likert-Skala für die Vorbereitung ihrer eigenen Erklärung und für das Zuhören der Erklärung des*r Partner*in einzuschätzen.

7.6 Ergebnisse

Die Lerneinheit umfasst insgesamt zwei unterschiedliche zu erklärende Phänomene, die sich die Paare jeweils untereinander selbstständig aufgeteilt haben. Bevor die Ergebnisse der vorliegenden Studie wiedergegeben werden, erfolgt eine Überprüfung der aus dieser Aufteilung hervorgehenden Gruppen in Bezug auf die Lernvoraussetzungen anhand der zum Prä- Testzeitpunkt erhobenen Variablen.

Durch den Verzicht auf Randomisierung bzw. Parallelisierung der Stichprobe ergeben sich die Interventionsgruppen aus der Wahl der Lernenden für eine externe Repräsentation mit der sie das Phänomen erklären. Folglich erfolgt zunächst eine Darstellung der Ergebnisse in Bezug auf die gewählten externen Repräsentationen sowie ein Bericht über die Kontrollvariablen und potentielle Gruppenunterschiede, die gegebenenfalls für weitere Analysen berücksichtigt werden müssen.

Anschließend werden die Ergebnisse in Bezug auf die Ergebnisse der abhängigen Variablen und der Lernwirksamkeit der Lernumgebung wiedergegeben. Abschließend werden die Ergebnisse der Prozessdatenanalyse sowie Zusammenhänge zwischen den erhobenen Variablen berichtet.

7.6.1 Vorgehen bei der Datenanalyse

Im Hinblick auf die Datenaufbereitung und –auswertung gelten die bereits aufgeführten Grenzwerte sowie Verfahrenstechniken (siehe Abschnitt 6.4).

Wie bereits erläutert, kann aufgrund der Belegung bzw. der Verteilung der Proband*innen auf die Gruppen nicht gewährleistet werden, dass die Gruppengrößen gleich ausfallen. Für die Datenanalyse bedeutet eine ungleiche Gruppengröße und fehlende Voraussetzungen für parametrische Testverfahren (Normalverteilung, Varianzhomogenität etc.), dass auf nicht parametrische Testverfahren zurückgegriffen wird.

Eine Aufführung über die weitere Überprüfung der Voraussetzungen für die parametrischen Testverfahren sind dem Anhang zu entnehmen. Geht aus der Analyse der Daten eine Verletzung der Normalverteilung hervor und unterschiedliche Gruppengrößen, werden auf nicht parametrische Testverfahren zurückgegriffen.

7.6.2 Kontrollvariablen in Bezug auf die gewählten Phänomene

Die Aufteilung der zwei Phänomene erfolgte durch eine selbstständige Zuordnung innerhalb der Paare, die sich gegenseitig das Phänomen erklärten. Für weitere Analysen soll vorausgesetzt werden, dass keine Unterschiede bezüglich der Lernervoraussetzungen zwischen den Gruppen, die ihre Erklärung ausgehend von zwei unterschiedlichen Phänomenen vorbereiten, bestehen. Aufgrund dessen erfolgt eine Überprüfung anhand der verschiedenen Lernervariablen, die zum Prä-Testzeitpunkt erhoben wurden. Insgesamt bearbeiteten jeweils $n = 40$ in die Analyse einbezogene Lernende das Video zur Neutralisation bzw. zum Springbrunnenversuch. In folgender Tabelle sind die Ergebnisse der Analyse von möglichen Gruppenunterschieden in Bezug auf die Kontrollvariablen zusammengefasst:

Tabelle 37. Mittelwerte der Variablen nach bearbeiteten Phänomenen

Testinstrument	Neutralisation <i>M (SD)</i>	Springbrunnen <i>M (SD)</i>	Mann-Whitney-U-Test
Kontrollvariablen			
Wortanalogien (V3-Skala)	.56 (0.14)	.54 (0.17)	$U = 871.5, z = -0.69, n.s.$
Figurenanalogien (N2-Skala)	.74 (0.18)	.71 (0.18)	$U = 905.5, z = 1.02, n.s.$
Fachinteresse	3.09 (0.58)	3.12 (0.65)	$U = 762, z = -0.37, n.s.$
Sachinteresse	2.45 (0.51)	2.56 (0.62)	$U = 723, z = -0.75, n.s.$
Generelle Tätigkeitsanreize	3.37 (0.56)	3.29 (0.64)	$U = 842.5, z = 0.42, n.s.$
Folgen- & Folgenanreize – Gute Noten	2.76 (0.91)	2.91 (0.75)	$U = 731.5, z = -0.64, n.s.$
Fachbezogenes Selbstkonzept	2.33 (0.69)	2.57 (0.75)	$U = 652, z = -1.43, n.s.$
Kooperationsverhalten	3.25 (0.64)	3.36 (0.69)	$U = 673.5, z = -0.89, n.s.$
Repräsentationstest (Prä)	.21 (1.04)	.38 (86)	$U = 698.5, z = -0.98, n.s.$
Fachwissen (Prä)	.39 (1.23)	.52 (0.38)	$U = 714, z = -.83, n.s.$

Die Überprüfung der zum Prä-Testzeitpunkt erhobenen Variablen zeigt, dass die Unterschiede zwischen den Gruppen ausnahmslos nicht signifikant ausfallen und somit von einer zwischen den Gruppen homogenen Verteilung der Merkmalsausprägungen ausgegangen werden kann.

7.6.3 Unabhängige Variable: Auswahl der externen Repräsentation

Die Verteilung der Gesamtstichprobe auf die unabhängige Variable ergibt sich durch die Wahl für eine der vier zur Verfügung gestellten externen Repräsentationsformen. Als gewählte externe Repräsentationsform wurde jene ausgewertet, die die Lernenden für die Erklärung beibehielten und nutzten. Die Auswahl für eine externe Repräsentation umfasst nicht die externen Repräsentationen, die die Lernenden wählten und im Anschluss sich doch für eine andere entschieden. In die Analyse fließen folglich nur die externe Repräsentationsformen, die sie für das Modellieren nutzten.

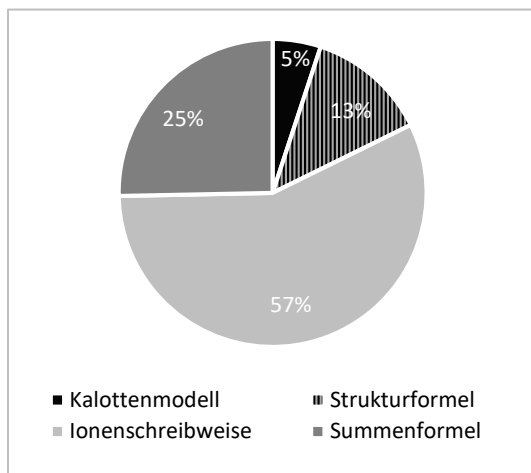


Abbildung 50. Prozentuale Verteilung der gewählten externen Repräsentationsform

Aus den Prozessdaten der Lernenden geht hervor, dass von den Lernenden ($N = 80$) insgesamt 45 (57%) die Ionenschreibweise, 20 (25%) die Summenformel, 10 (13%) die Strukturformel und 4 (5%) das Kalottenmodell für das Modellieren des chemischen Phänomens auswählten. Zusammenfassend wird somit die Kategorie der als abstrakt beschriebenen externen Repräsentationen mit 82% häufiger gewählt als konkrete externe Repräsentationen, die von insgesamt 18% der Lernenden ausgewählt wurden.

Im nächsten Schritt wurde die Verteilung der ausgewählten externen Repräsentationen im Zusammenhang mit den zwei Versuchen ausgewertet. Die Verteilung der gewählten externen Repräsentationen fällt für den Springbrunnenversuch und der Neutralisation mit ähnlichen Tendenzen aus und unterschieden sich statistisch nicht zwischen den Versuchen ($\chi^2(3) = 3.13$, $n. s.$).

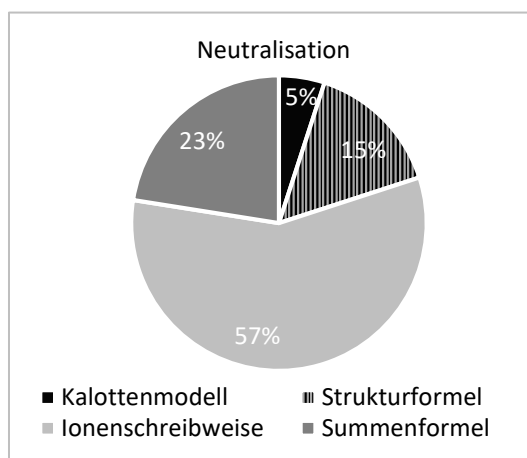
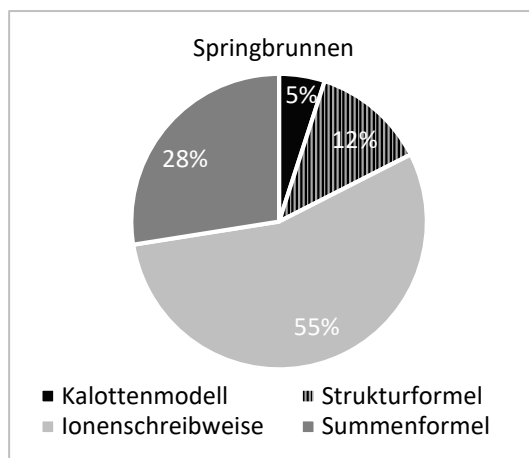


Abbildung 51. Prozentuale Verteilung der gewählten Repräsentationsformen nach Versuch

Die Lernenden, die den Springbrunnen bearbeiteten, wählten zu 55% die Ionenschreibweise und gleichsam zur Betrachtung der Gesamtstichprobe zu lediglich 5% das Kalottenmodell.

Die Paare wurden gebeten, ihre Wahl für eine externe Repräsentationsform am Ende der Modellierphase zu begründen. Die Aussagen der Paare wurden nach der qualitativen zusammenfassenden Inhaltsanalyse ausgewertet (siehe Abschnitt 7.5.3). Ziel der Analyse ist die Reduzierung der Aussagen auf wesentliche Gründe für die Wahl der Lernenden. Einige Paare begründeten ihre Auswahl nicht, sodass die Analyse letztendlich 43 Begründungen umfasst. Insgesamt ergeben sich vier Kategorien, die die Aussagen der Lernenden zusammenfassen:

K1 Bekanntheit: Die Lernenden geben an, dass ihnen die externe Repräsentationsform aus dem Chemieunterricht durch die Nutzung der Lehrkraft oder das Auftreten in Chemiebüchern bekannt ist Bsp. „Ich habe die Darstellungsweise genommen, weil wir sie im Unterricht hatten.“ (GG_15, 5:06 - 5:07)

K2 Verständlichkeitsfördernden Eigenschaften der externen Repräsentation: Die Lernenden führen Eigenschaften der externen Repräsentationsform an, die vermeintlich dazu führen, dass sie „einfacher zu verstehen“ oder „verständlicher“ für sie selbst und/oder den Partner seien Bsp. „Ich habe mich für das Modell entschieden, weil der Vorteil daran war, dass diese drei Moleküle (verweist auf die Legende) vorgestellt wurden und man nicht mehr nachdenken musste.“ (PL_7, 16:07-16:14)

K3 Visualisierung der für die Erklärung benötigten Informationen: Die Lernenden führen an, dass sie die externe Repräsentationsform wählten, da sie die für die Erklärung des Versuchs benötigten bzw. wesentlichen Informationen enthalten Bsp. „Ich habe die Ionenschreibweise genommen, weil man die Ladung sieht aber man sieht die Bindung nicht, das war für den Versuch nicht nötig. Zudem sieht man den Zustand also flüssig, gasförmig oder so.“ (PL_14, 15:31-16:31)

K4 Eignung der externen Repräsentationen für die Externalisierung von Vorstellungen: Einige Lernenden begründen ihre Auswahl explizit mit der Passung zwischen der externen Repräsentation und ihren Vorstellungen bzw. ihrem mentalen Modell: „Ich habe die Strukturformel gewählt, weil sie in diesem Fall sehr gut veranschaulicht, erstmal in welcher Form die Moleküle vorliegen und dass hier quasi der Arm des Wassermoleküls (verweist) einfach rüber schnappt.“ (PG1_22, 13:10-13:54)

In Abbildung 52 ist die relative Häufigkeit der Lernenden pro Kategorie dargestellt. Insgesamt begründen 25% der Lernenden ihre Wahl für eine externe Repräsentation mit der Bekanntheit bzw. Vertrautheit während 37% der Lernenden eine von den Eigenschaften der externen Repräsentation ausgehenden Verständlichkeit anführen. Die Aussagen der Lernenden, die ebenfalls auf die Verständlichkeit der externen Repräsentation verweisen, die allerdings auf die Bekanntheit zurückführen, sind in K1 enthalten, da die Ursache nicht auf Eigenschaften der externen Repräsentationen, sondern auf die Bekanntheit zurückgeführt wird.

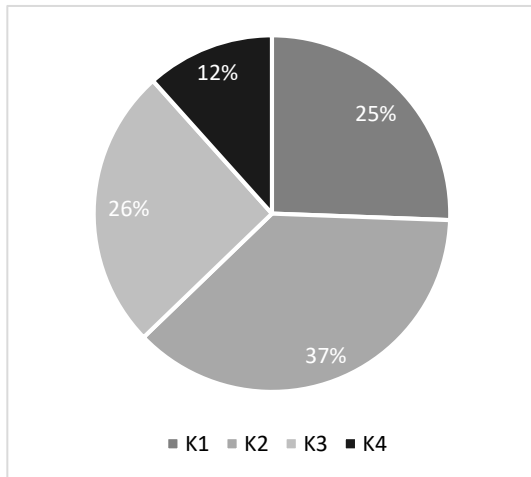


Abbildung 52. Prozentuale Verteilung der Kategorien Begründung

Kategorie drei umfasst Gründe, die auf Informationen basieren, die in der externen Repräsentation enthalten sind und für die Erklärung des chemischen Phänomens als relevant befunden werden. Von insgesamt 26% der Lernenden erfolgt die Begründung über Informationen, die durch die externe Repräsentation vermittelt werden und als wesentliche bzw. relevant für die Erklärung empfunden werden. Nur 12% der Lernenden führen ihre Auswahl über den Versuch hinaus auf ihre Vorstellungen bzw. Ideen zurück, die

sie durch die gewählte externe Repräsentationsform ihrer Meinung nach am besten externalisieren können. An den Ergebnissen wird deutlich, dass es einem Großteil schwerfällt, ihre Wahl zu begründen, was als Hinweis für einen unreflektierten Umgang mit externen Repräsentationen beim Modellieren gedeutet werden kann.

7.6.4 Kontrollvariablen

Zum Prä-Testzeitpunkt wurden Variablen erhoben, die als möglich als störend einen Einfluss auf die abhängige Variable nehmen können. Die folgenden Abschnitte enthalten die Ergebnisse der Gruppenvergleiche in Bezug auf die Variablen Interesse und Motivation sowie die kognitiven Fähigkeiten. Die Gruppeneinteilung der Lernenden basiert auf den gewählten externen Repräsentationen.

7.6.4.1 Kognitive Fähigkeiten

Für die Erfassung der kognitiven Fähigkeiten wurden zwei Subskalen des Testinstruments nach Heller und Perleth (2000) genutzt.

Aufgrund der fehlenden Normalverteilung der Daten wird zur Ermittlung der Gruppenunterschiede auf nicht parametrische Testverfahren zurückgegriffen. Folgende Tabelle enthält eine Übersicht zu den Mittelwerten der vier Gruppen sowie den Ergebnissen der Gruppenvergleiche im Hinblick auf die Subskalen zur Erfassung der kognitiven Fähigkeiten.

Tabelle 38. Mittelwerte der Kontrollvariablen (Kognitive Fähigkeiten)

Testinstrument	1	2	3	4	Kruskal-Wallis-Test
	<i>M (SD)</i>				
Wortanalogien (V3-Skala)	.61 (0.13)	.61 (0.21)	.54 (0.13)	.52 (0.17)	$H(3) = 4.75, n.s.$
Figurenanalogien (N2-Skala)	.74 (0.25)	.8 (0.20)	.72 (0.18)	.7 (0.15)	$H(3) = 3.76, n.s.$

Anmerkung. 1 = Kalottenmodell; 2 = Strukturformel; 3 = Ionenschreibweise; 4 = Summenformel

Um zu analysieren, inwieweit sich die Gruppen in Bezug auf die Variablen unterscheiden, wurde auf den Kruskal-Wallis-Test für mehrere unabhängige Stichproben zurückgegriffen. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf die kognitiven Fähigkeiten bestehen.

7.6.4.2 Interesse und Motivation

Als weitere Kontrollvariable wurde zum Prä-Testzeitpunkt die Variable Interesse und Motivation erhoben. Für die Erfassung der Kontrollvariable wurden mehrere Subskalen eingesetzt. Auch diesbezüglich fallen die Gruppenunterschiede über die Subskalen hinweg nicht signifikant aus.

Tabelle 39. Mittelwerte der Kontrollvariablen (Interesse und Motivation)

Testinstrument	1	2	3	4	Kruskal-Wallis-Test
	<i>M (SD)</i>				
Fachinteresse	3.5 (0.71)	2.92 (0.64)	3.07 (0.61)	3.19 (0.58)	$H(3) = 3.55, n.s.$
Sachinteresse	2.88 (0.63)	2.5 (0.52)	2.46 (0.63)	2.53 (0.57)	$H(3) = 1.82, n.s.$
Generelle Tätigkeitsanreize	3.5 (0.58)	3.18 (0.52)	3.31 (0.65)	3.42 (0.55)	$H(3) = 1.86, n.s.$
Folgen- & Folgenanreize – Gute Noten	2.75 (1.5)	2.68 (0.84)	2.82 (0.81)	2.98 (0.75)	$H(3) = 4.01, n.s.$
Fachbezogenes Selbstkonzept	3.0 (0.71)	2.64 (0.86)	2.45 (0.73)	2.25 (0.61)	$H(3) = 4.09, n.s.$
Kooperationsverhalten	3.67 (0.47)	3.18 (0.79)	3.29 (0.66)	3.33 (0.63)	$H(3) = 1.43, n.s.$

Anmerkung. 1 = Kalottenmodell; 2 = Strukturformel; 3 = Ionenschreibweise; 4 = Summenformel

Es lassen sich somit in Bezug auf die Kontrollvariablen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen feststellen, die Einfluss auf die abhängige Variable haben könnte.

7.6.5 Abhängige Variablen

Neben der Analyse der Auswahl der externen Repräsentation steht der Zusammenhang zwischen den gewählten externen Repräsentationen und dem Fachwissen sowie der Informationsentnahme im Interesse der vorliegenden Studie. Darüber hinaus ist das Ziel der Studie die Analyse der Nutzung (F5) der externen Repräsentationsform in Modellierprozess sowie der Zusammenhang zwischen der Nutzung und den anderen erhobenen Variablen wie die Fähigkeit im Fachwissens- und Repräsentationstest zum Postzeitpunkt sowie den prozessbegleitenden Variablen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse in Bezug auf die Variablen berichtet. Zunächst erfolgt die Analyse des Zusammenhanges zwischen der gewählten externen Repräsentationsform und dem Fachwissen sowie der Informationsentnahme. Im zweiten Schritt erfolgt die Ergebnisdarstellung der Prozessdaten und abschließend der Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Prozessdaten und den weiteren erhobenen Variablen darunter die kognitive Belastung (F7).

7.6.5.1 Fachwissenstest

Für weitere Analyseschritte wurde zunächst überprüft inwieweit Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen in Bezug auf die ermittelten Personenfähigkeiten im Fachwissen zu dem Prä-Testzeitpunkt bestehen. Der Kruskal-Wallis-Test zeigt, dass die Unterschiede zwischen den mittleren Personenfähigkeiten der Interventionsgruppen zum Prä-Testzeitpunkt ($H(3) = 3.28, n.s.$) nicht signifikant ausfallen.

Anschließend wurde die Lernwirksamkeit der Lernumgebung für die Gesamtstichprobe

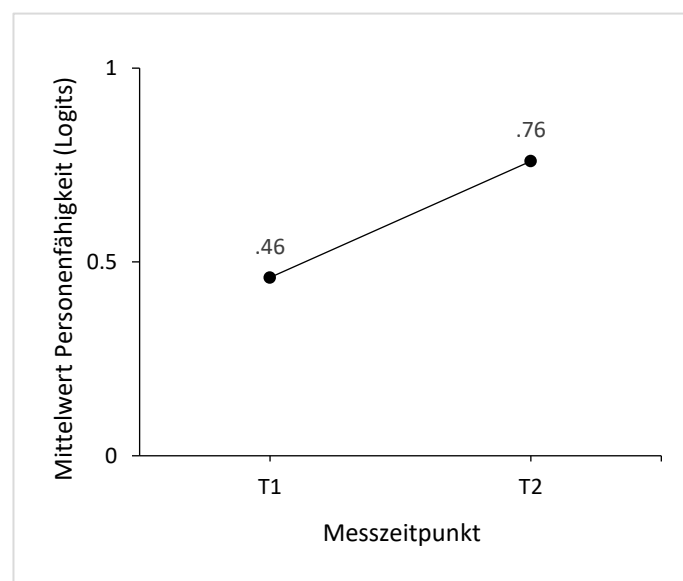


Abbildung 53. Mittlerer Zuwachs der Personenfähigkeiten im Fachwissen (Gesamtstichprobe $N = 80$)

überprüft. Für diesen Zweck werden die auf der Grundlage des Fachwissenstests ermittelten Personenfähigkeiten (vor und nach der Lerneinheit) verglichen.

Ein durchgeführter Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben bestätigt, dass die Mittelwertsunterschiede zwischen den Testzeitpunkten signifikant sind ($z = -2.98$, $p < .01$, $r = .33$). Die Effektstärke lässt auf einen mittleren Effekt schließen. Die Lernenden schneiden nach der Intervention mit einer höheren mittleren Personenfähigkeit $M = 0.76$ ($SD = 1.3$) ab als zuvor $M = 0.46$ ($SD = 1.16$).

Gruppenvergleiche

Des Weiteren wurde die Lernwirksamkeit in den einzelnen Interventionsgruppen ausgewertet. In der folgenden Abbildung ist der Zuwachs der Personenfähigkeit separat für die Interventionsgruppen aufgetragen. Aus dieser gehen deskriptiv sowohl für den Prä- als auch Posttestzeitpunkt höhere durchschnittliche Personenfähigkeiten im Fachwissen für die Interventionsgruppen, die das Kalottenmodell ($M_{Prä} = 1.26$, $SD_{Prä} = .96$; $M_{Post} = 1.72$, $SD_{Post} = 1.23$) und die Strukturformel ($M_{Prä} = 0.77$, $SD_{Prä} = 1.34$; $M_{Post} = 1.15$, $SD_{Post} = 1.16$) wählten gegenüber den anderen beiden Gruppen hervor. Während die Gruppe Ionenschreibweise ($M_{Prä} = 0.29$, $SD_{Prä} = 1.13$) zum Prä-Testzeitpunkt die geringste mittlere Personenfähigkeit aufweist. Der Kruskal-Wallis-Test zeigt jedoch, dass sich die mittleren Personenfähigkeiten der Interventionsgruppen zum Post-Testzeitpunkt ($H(3) = 4.31$, $n. s.$) nicht signifikant unterscheiden.

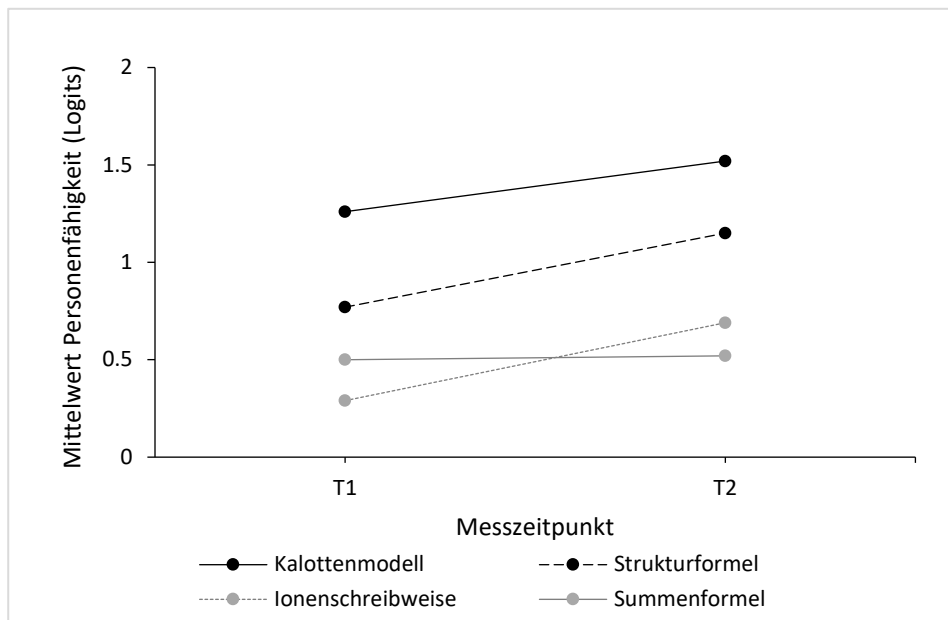


Abbildung 54. Mittlerer Zuwachs der Personenfähigkeiten im Fachwissen differenziert nach Interventionsgruppen

In einem nächsten Analyseschritt wird überprüft, ob der Zuwachs der Personenfähigkeiten zwischen den Testzeitpunkten für alle Interventionsgruppen signifikant ausfällt. Hierzu werden die Unterschiede der Personenfähigkeiten differenziert nach den Inter-

ventionsgruppen analysiert. Folgende Tabelle enthält die Mittelwerte sowie die Ergebnisse des Wilcoxon-Tests für jede der vier Interventionsgruppen:

Tabelle 40. Zuwachs der mittleren Personenfähigkeiten im Fachwissen getrennt nach Interventionsgruppen

Gruppe	Personenfähigkeit $M (SD)$		Wilcoxon-Test
	T1	T2	
Kalottenmodell	1.26 (0.94)	1.72 (1.23)	$z = -1.46, n. s.$
Strukturformel	0.77 (1.34)	1.15 (1.16)	$z = -2.40, p < .05, r = .72$
Ionenschreibweise	0.29 (1.13)	0.68 (1.24)	$z = -2.61, p < .01, r = .39$
Summenformel	0.50 (1.10)	0.52 (1.46)	$z = -1.49, n. s.$

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass die Mittelwertsunterschiede zwischen den Personenfähigkeiten zum Prä- und Posttestzeitpunkt für die Interventionsgruppen Struktur- und Ionenschreibweise signifikant ausfallen, während für die Gruppen Kalottenmodell und Summenformel zwar deskriptiv ein Zuwachs zu verzeichnen ist, dieser aber statistisch nicht signifikant ausfällt. Die Ergebnisse können durch das Auswertungsverfahren dahingehend beeinflusst sein, als dass im Vergleich zu einer Varianzanalyse im Rahmen des nicht parametrischen Testverfahrens die Bezüge zwischen den Personenfähigkeiten der Gruppen zum Prätestzeitpunkt nicht berücksichtigt werden.

7.6.5.2 Repräsentationstest

Für die Analyse des Einflusses der gewählten externen Repräsentationsform auf die Informationsentnahme, wurden zu den zwei Testzeitpunkten die Personenfähigkeiten mithilfe des Repräsentationstests erfasst.

Analog zu der Personenfähigkeit im Fachwissen wurde zunächst untersucht, ob sich die

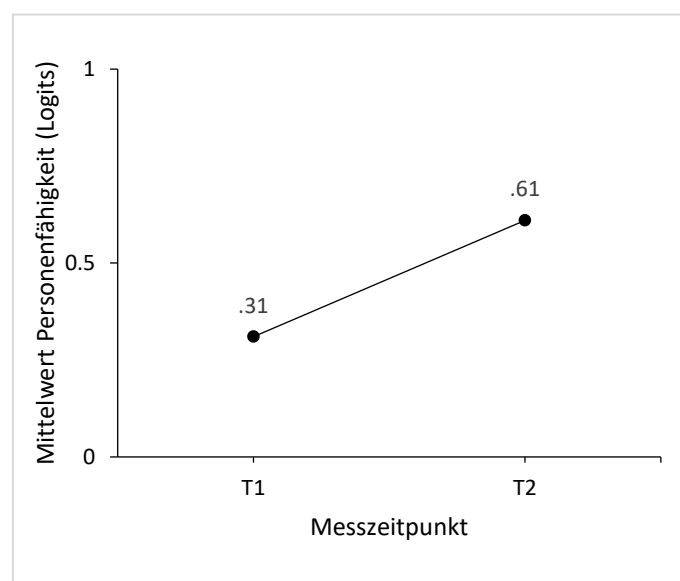


Abbildung 55. Mittlerer Zuwachs der Personenfähigkeiten im Repräsentationstest (Gesamtstichprobe $N = 80$)

Interventionsgruppen hinsichtlich ihrer Personenfähigkeiten zum Prä-Testzeitpunkt unterscheiden, bevor die Wirksamkeit der Lernumgebung auf die Fähigkeit, Informationen aus externen Repräsentationen zu entnehmen, für die gesamte Stichprobe ausgewertet wurde. Ein Kruskal-Wallis-Test zeigt, dass die Mittelwertsunterschiede in Bezug auf die Personenfähigkeiten der Interventionsgruppen zu T1 nicht signifikant sind ($H(3) = 3.83$, $n.s.$).

Die Ergebnisse des Wilcoxon-Tests für abhängige Stichproben zeigt, dass die Mittelwertsunterschiede für die gesamte Stichprobe zwischen den Testzeitpunkten für die Personenfähigkeiten der Informationsentnahme signifikant sind ($z = -3.37$, $p < .01$, $r = .38$).

Nach der Lerneinheit ($M = 0.61$, $SD = 0.97$) schneiden die Lernenden durchschnittlich im Repräsentationstest besser ab als vor der Lerneinheit ($M = 0.31$, $SD = 0.95$). Entsprechend einer Effektstärke von $r = .38$ ist von einem mittleren Effekt auszugehen.

Gruppenunterschiede

Im Anschluss wurde der Zuwachs der Personenfähigkeiten für die einzelnen Interventionsgruppen analysiert. Deskriptiv sind wie bereits im Rahmen der Personenfähigkeiten im Fachwissen höhere Personenfähigkeiten im Repräsentationstest für die Interventionsgruppen Kalottenmodell ($M = 0.5$, $SD = 0.9$) und Strukturformel ($M = 0.55$, $SD = 1.33$) zum Prä-Testzeitpunkt zu erkennen während die Gruppe Ionenschreibweise ($M = 0.15$, $SD = 0.85$) erneut den geringsten Mittelwert aufweist (siehe Abb. 56). Ein

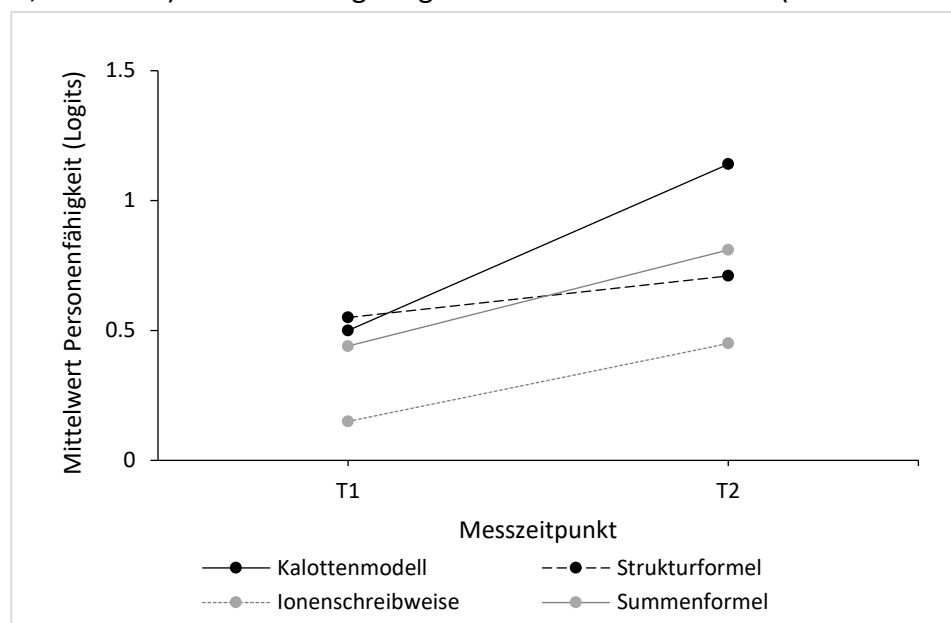


Abbildung 56. Mittlerer Zuwachs der Personenfähigkeiten im Repräsentationstest getrennt nach den Interventionsgruppen

Kruskal-Wallis-Test zeigt, dass die Mittelwertsunterschiede in Bezug auf die Personenfähigkeiten der Interventionsgruppen weder zu T1 ($H(3) = 3.83$, $n.s.$) noch T2 ($H(3) = 3.74$, $n.s.$) signifikant sind.

Die Ergebnisse der Analysen des Zuwachses sowie die Mittelwerte differenziert nach den Interventionsgruppen zu den zwei Testzeitpunkten sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 41. Mittlere Personenfähigkeiten und Wilcoxon-Test getrennt nach Interventionsgruppen

Gruppe	Personenfähigkeit M (SD)		Wilcoxon-Test
	T1	T2	
Kalottenmodell	0.50 (0.90)	1.14 (0.97)	$z = -1.46, n. s.$
Strukturformel	0.55 (1.13)	0.71 (1.00)	$z = -0.36, n. s.$
Ionenschreibweise	0.15 (0.85)	0.45 (1.00)	$z = -2.50, p < .05, r = .37$
Verhältnisformel	0.44 (1.07)	0.82 (0.87)	$z = -2.05, p < .05, r = .46$

Der Wilcoxon-Test für die einzelnen Interventionsgruppen zeigt, dass sich die Mittelwerte der Personenfähigkeiten zum Prä- und Post- Testzeitpunkt für die Gruppe Kalottenmodell nicht signifikant unterscheiden ($z = -1.46, n. s.$). Ebenfalls fallen die Mittelwertunterschiede für die Gruppe Strukturformel nicht signifikant aus ($z = -0.36, n. s.$). Signifikante Mittelwertunterschiede der Personenfähigkeiten vom Prä- zum Post-Testzeitpunkt lassen sich dahingegen für die Gruppen Ionenschreibweise ($z = -2.50, p < .05, r = .37$) und Verhältnisformel ($z = -2.05, p < .05, r = .46$) feststellen. Die Größe der Effekte lässt sich anhand der Koeffizienten als mittel bis groß interpretieren.

Itemschwierigkeiten

Die Daten der Stichprobe der vorliegenden Studie ($N = 80$) wurden für die Schätzung der Item- und Personenparameter aufgrund der geringen Stichprobengröße in den Datensatz der ersten Studie ($N = 294$) eingebettet, sodass die folgenden Ergebnisse bezüglich der Itemschwierigkeiten auf dem Datensatz der erweiterten Stichprobe von $N = 374$ basieren. Die Daten des Prä- und Post-Testzeitpunkt wurden nach dem gleichen Verfahren getrennt in den gleichen Datensatz der ersten Studie eingebettet, sodass Änderungen der ermittelten Itemparameter auf das Antwortverhalten der vorliegenden Stichprobe zurückzuführen sind.

Die gesamte mittlere Itemschwierigkeit der Repräsentationsitems ($N_{\text{items}} = 48$) liegt mit $M = 0.96$ ($SD = 0.91$) zum Prä-Testzeitpunkt höher als zum Post-Testzeitpunkt ($M = 0.87, SD = 0.89$). Aus den Ergebnissen eines t-Tests für verbundene Stichproben bestätigt, dass die Unterschiede zwischen den zwei Testzeitpunkten in Bezug auf die mittleren Itemschwierigkeiten signifikant ausfällt ($t = 4.23, p < .001, d = .53$). Anhand der ermittelten Effektstärke von $d = .66$ lässt sich der Effekt als stark interpretieren. Folglich lässt sich aus den Ergebnissen schließen, dass die Repräsentationsitems nach der Intervention für die Stichprobe der vorliegenden Studie signifikant einfacher zu lösen waren als zuvor.

Ziel der folgenden Analysen ist es mögliche Unterschiede zwischen den mittleren Itemschwierigkeiten innerhalb eines Testzeitpunktes zu analysieren, denen die gleichen externen Repräsentationsformen des atomaren Bereichs immanent sind. Hierzu wurde wie bereits in der ersten Studie eine mittlere Itemschwierigkeit jener Items ermittelt, die mithilfe der gleichen externen Repräsentationsform visualisiert wurden. Die Repräsentationsitems für die vorliegende Studie wurden vor und nach der Intervention eingesetzt, sodass die mittleren Itemschwierigkeiten pro Itemgruppe jeweils für zwei Messzeitpunkte geschätzt wurden.

Deskriptiv weisen wie bereits in der ersten Studie die Itemgruppe des Kalottenmodells ($M_{Prä} = 1.40$, $SD_{Prä} = 0.60$; $M_{Post} = 1.32$, $SD_{Post} = 0.6$) die höchste und die Ionenschreibweise ($M_{Prä} = 0.39$, $SD_{Prä} = 1.03$; $M_{Post} = 0.38$, $SD_{Post} = 1.05$) die niedrigste durchschnittliche Itemschwierigkeit sowohl zum Prä- als zum Posttestzeitpunkt auf (siehe Abb. 57). Ergebnisse der Varianzanalyse zeigen, dass die Unterschiede zwischen den Itemgruppen weder innerhalb des Prä-Testzeitpunkt ($F(4, 43) = 1.86$, *n. s.*) noch zum Post-Testzeitpunkt ($F(4, 43) = 1.58$, *n. s.*) signifikant ausfallen.

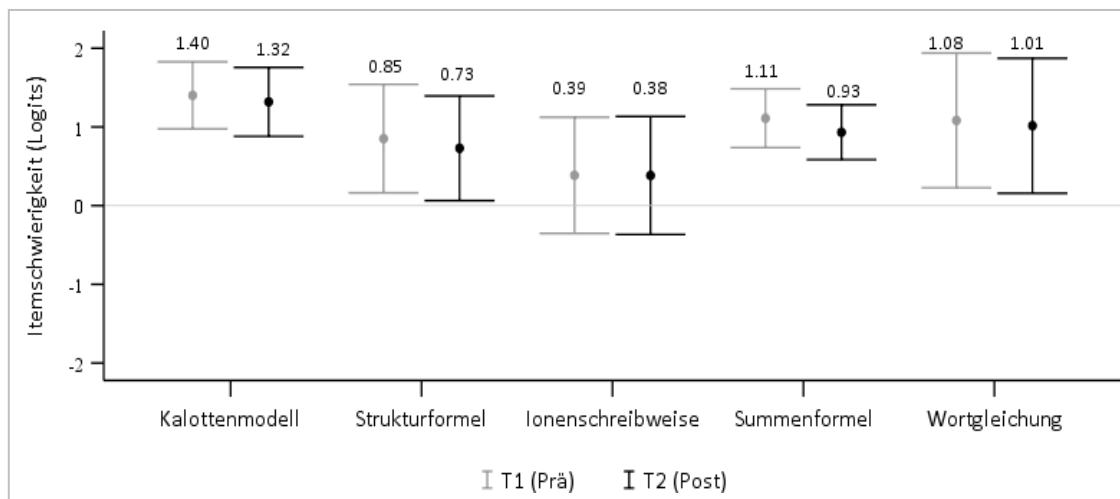


Abbildung 57. Mittlere Itemschwierigkeiten der Itemgruppen zu Prä- und Post

Insgesamt geht aus den Resultaten hervor, dass die gesamte durchschnittliche Itemschwierigkeit bezüglich des Schwierigkeitsgrades von Prä zu Post sinkt und innerhalb der zwei Testzeitpunkte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Itemgruppen festzustellen sind. Die Itemschwierigkeiten zwischen den Repräsentationsgruppen spiegeln das gleiche Muster, das bereits aus der ersten Studie hervorgeht, wider.

7.6.6 Analyse der Prozessdaten

Im Anschluss an das Video und der Vorbereitung begeben sich die Lernenden in Partnerarbeit und erklären dem*r Partner*in das beobachtete Phänomen. Die Lernenden sind angewiesen für ihre Erklärung die gewählte externe Repräsentationsform und ihre damit angefertigte Vorbereitung zu nutzen. Der Schwerpunkt liegt auf den verbalen Äußerungen der Lernenden in Erklärphasen, in denen sie sich auf ihre genutzten externen Repräsentationen beziehen. Hierdurch wird angestrebt Einsicht in die Nutzung der externen Repräsentation beim Erklären eines chemischen Phänomens zu erlangen (F5) und hiervon ausgehend Rückschlüsse auf die prozedurale Repräsentationsfähigkeit *„Nutzen von Repräsentationen für das Beschreiben und Erklären von beobachteten chemischen Phänomenen“* zu ziehen. Eine differenzierte Operationalisierung der Nutzung wird mithilfe der in Abschnitt 3.2 erläuterten Funktionen vorgenommen. Darüber hinaus steht der Zusammenhang zwischen der Qualität der Nutzung und weiteren Variablen sowie der gewählten externen Repräsentationsformen im Fokus der Analysen.

Für die Prozessdatenanalyse liegen von der gesamten Stichprobe der zweiten Studie von $N = 80$ Schüler und Schülerinnen die Erklärungsphasen in Form von Screencast-Videos vor (siehe Abschnitt 7.5.3). Für weitere Analysen wurden die Kodiereinheiten in Bezug auf die Funktionen der externen Repräsentationen in ein Punktesystem überführt, das der Annahme über das zunehmende Modellverständnis nach Oliveira et al. (2015) entlehnt ist.

In einem ersten Schritt wird anhand der Prozessdaten für jeden Lernenden die Qualität der Nutzung anhand der Funktion, für die die Lernenden die externe Repräsentation während der Erklärungsphase nutzen, ermittelt. Von den Ergebnissen ausgehend werden die ermittelten Funktionen der externen Repräsentationen in der Erklärungsphase im Zusammenhang mit den gewählten externen Repräsentationsformen untersucht. Abschließend erfolgt ein Bericht über die Funktionen der externen Repräsentationen und die Beziehungen zu der prozessbegleitende Variable sowie der Fachwissen- und der Repräsentationsleistung.

Funktionen der externen Repräsentationen

Zunächst wurden die Erklärungsphase der Gesamtstichprobe auf Situationen analysiert, in denen die Lernenden die ausgewählte externe Repräsentation für eine Funktion während dieser Phase nutzen. Da jedes zutreffende Ereignis mit einer Funktion kodiert wurde, können in der Erklärungsphase eines Lernenden mehrere Funktionen identifiziert werden. Für die Gesamtstichprobe wurden insgesamt 154 Ereignisse mit den Kategorien der Variable Funktion kodiert. Neben den sieben Funktionen nach Oliveira et al. (2015) umfassen die kodierten Einheiten auch die Kategorie *„keinen Bezug“* zur externen

Repräsentation, die einfach vergeben wurde, wenn kein Bezug zur externen Repräsentation während der gesamten Erklärungsphase erkennbar war. In Abbildung 57 ist die Häufigkeit der identifizierten Funktionen beim Modellieren visualisiert.

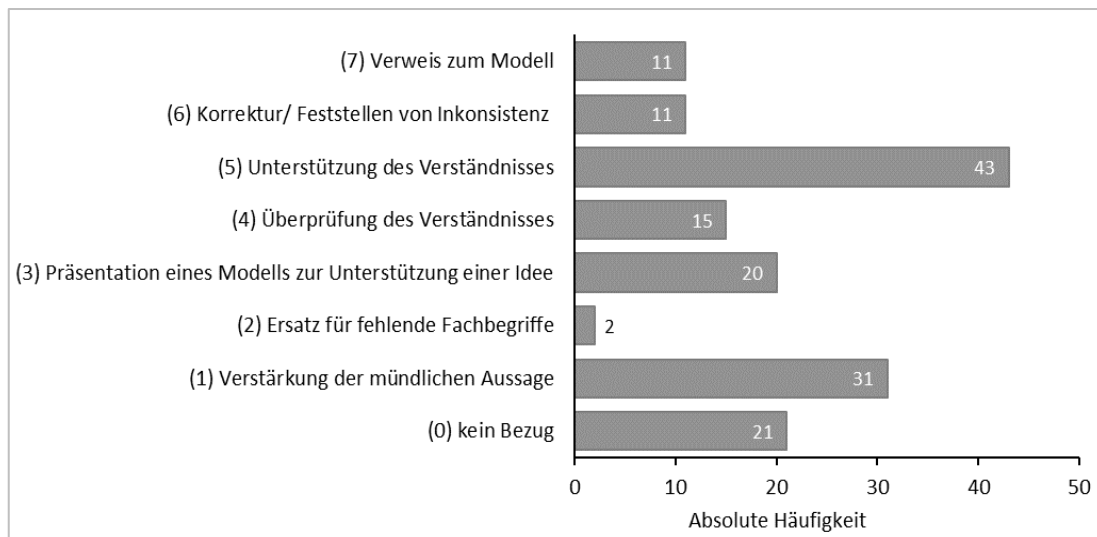


Abbildung 58. Häufigkeitsverteilung der Kategorien Funktionen (insgesamt 154 kodierte Ereignisse)

Insgesamt weist die Funktion ‚Unterstützung des Verständnisses‘ mit 43 kodierten Ereignissen die höchste Häufigkeit auf. Dahingegen wurden die höherwertigen Funktionen (6) Korrektur/ Feststellung von Inkonsistenz und (7) Verweis zum Modell mit 11 Ereignissen gleichsam identifiziert. Die Subkategorie (1) Ersatz für fehlende Fachbegriffe umfasst dahingegen 2 der kodierten Funktionen und ist somit die am geringsten vorkommende Kategorie. Aus der Häufigkeitsverteilung der gesamten Ereignisse geht hervor, dass in 13.6% der Erklärungsphasen kein Ereignis mit Bezug zur externen Repräsentation identifiziert wurden.

Um Rückschlüsse auf die prozedurale Fähigkeit „Nutzen von Repräsentationen für das Beschreiben und Erklären von beobachteten chemischen Phänomenen“ zu ziehen, wurde die Gesamtheit der identifizierten Funktionen pro Person betrachtet und für weitere Analysen die Ausprägung der Fähigkeit anhand der höchstwertigsten (genutzten) Funktion bestimmt. Bei einem erkennbaren abweichenden Nutzungsverhalten wurde dahingegen auf eine modusbasierte Vorgehensweise zurückgegriffen. So wurde Lernenden beispielsweise bei dreimaligem Auftreten der Funktion (1) Verstärkung der mündlichen Aussagen und einer einmaligen Identifizierung der Funktion (5) Unterstützung des Verständnisses die am häufig genutzte Funktion zugewiesen, da der Schwerpunkt bzw. die Häufigkeit auf Funktionen liegt, die auf ein niedriges Modellverständnis hinweisen. In folgender Abbildung ist die jeweilige Anzahl der gesamten Stichprobe ($N = 80$) pro zugeordneter bzw. fokussierter Funktion visualisiert.

Für insgesamt 21 Lernende konnte kein Bezug zur externen Repräsentation während der

7 Empirische Untersuchung zu der Nutzung von externen Repräsentationsformen im Modellierprozess

gesamten Erklärungsphase festgestellt werden, sodass diese der Kategorie (0) kein Bezug zugeordnet werden. Insgesamt erreichten 11 Lernenden die Funktion (7) Verweis zum Modell für die Charakterisierung der Nutzung der externen Repräsentationsform. Die Nutzung ist dadurch gekennzeichnet, dass sich die Lernenden in der Auswertungs-, Testungs- oder Modellierphase befinden und im Rahmen dessen auf die externe Repräsentation verweisen während sie ihr mentales Modell bzw. die gewonnenen Erkenntnisse verbal externalisieren. Für sieben Lernende kann das Nutzungsverhalten mit der Kategorie (6) Korrektur/ Feststellen von Inkonsistenz beschrieben werden. Während der Erklärungsphasen stellen die Lernenden im Interaktionsprozess zwischen dem verbal geäußerten Konzept und der externen Repräsentation Inkonsistenzen fest und nehmen Revisionen an ihrem Modell vor, das sich durch Änderungen an dem verbal geäußerten

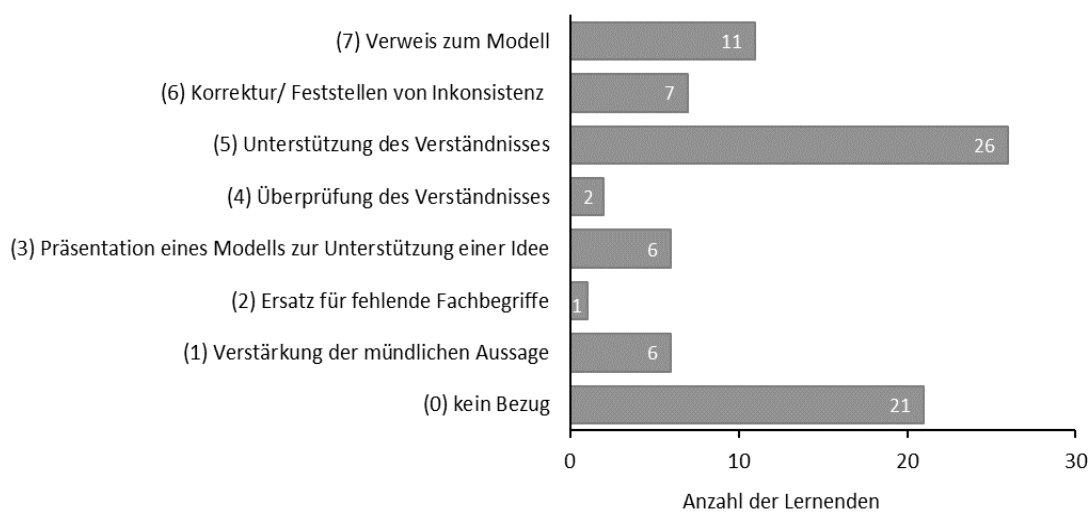


Abbildung 59. Anzahl der Lernenden für die zugeordneten Funktionen

Konzept und/ oder an der externen Repräsentation bemerkbar macht. In Anlehnung an den Modellierprozess nutzen Lernende die externe Repräsentation für Revisionen ihres Modells, die sich im späteren Verlauf des Modellierprozesses finden lässt und dem bereits Modellierungsschritte vorangegangen sind.

Mit der Funktion (5) Unterstützung des Verständnisses kann für 26 Lernende das Nutzungsverhalten charakterisiert werden. Zusammenfassend lässt sich die Nutzung dieser Lernenden dadurch beschreiben, dass sie sich mit ihren verbalen Äußerungen auf der Ebene eines naturwissenschaftlichen Konzepts (Donator-Akzeptor-Prinzip) befinden und auf die externe Repräsentation für die Erklärung des Konzepts zurückgreifen, indem sie die zu vermittelnden Inhalte anhand der externen Repräsentation aufzeigen und auf-führen. Die externe Repräsentation wird somit von den Lernenden schwerpunktmäßig für die Vermittlung eines Konzepts genutzt. Für zwei der Lernenden konnte über die Vermittlung von Ideen hinaus kein weiterer Rückbezug (z. B. Vermittlung des Konzepts) identifiziert werden, sodass sich ihr Nutzungsverhalten in Erklärungsphasen auf die (3)

Präsentation eines Modells zur Unterstützung einer Idee beschränkt. Für einen Lernenden belief sich die Nutzung der externen Repräsentation auf die Substitution für fehlende Fachbegriffe während insgesamt sechs konzept- und ideenunabhängig die externe Repräsentation redundant nach einer mündlichen Aussage nutzten (z. B. nach einer Erklärung die erstellte Reaktionsgleichung vorzulesen).

Zusammenhang zwischen der genutzten Repräsentationsform und der Funktionen

Neben der differenzierten Betrachtung des Nutzungsverhaltens ist das Ziel der vorliegenden Studie die Analyse der Beziehung zwischen dem Nutzungsverhalten und der gewählten externen Repräsentationsform (F6: Inwieweit besteht ein Zusammenhang zwischen der gewählten externen Repräsentationsform und der Qualität der Nutzung der externen Repräsentation beim Erklären?). Hierfür wurden die festgehaltenen Funktionen, die die Qualität der Nutzung für die einzelnen Lernenden beschreibt, im Zusammenhang mit den gewählten externen Repräsentationsformen betrachtet. In Abbildung 59 ist die Verteilung der Funktionen für die externen Repräsentationsformen separat aufgetragen.

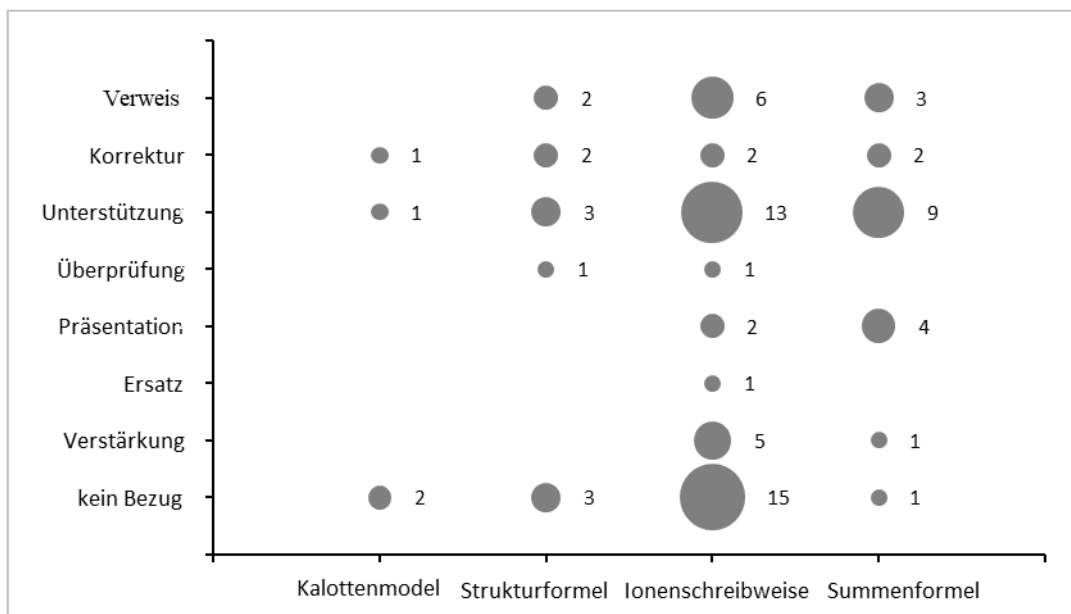


Abbildung 60. Verteilung der Funktionen auf die gewählten externen Repräsentationen

Auf der horizontalen Achse sind jeweils die vier externen Repräsentationsformen aufgetragen und auf der vertikalen Achse die Funktionen, die die Qualität der Nutzung der jeweiligen Repräsentation im Erklärprozess der Lernenden beschreiben. Eine vorhandene Blase zeigt, dass innerhalb der Repräsentationsgruppe die Merkmalsausprägung entsprechend der Funktionen vorhanden ist. Die Größe der jeweiligen Blase visualisiert hierbei die Anzahl der Lernenden, die die Kombination externe Repräsentationsform und die dazugehörige Funktion aufweisen (Zahl neben den Blasen). Mit zunehmender Anzahl der Lernenden fällt der Durchmesser der Blase größer aus. Die kleinste Blase

stellt hierbei das einmalige Vorkommen der Kombination dar, während die größte Blase (Ionenschreibweise – kein Bezug) das 15-malige Auftreten visualisiert. Aus der Anzahl der Lernenden pro gewählte externe Repräsentationsform geht deskriptiv keine einseitige Verteilung der Funktionen hervor. Mithilfe eines Chi-Quadrat-Tests wird die Verteilung der Funktion im Zusammenhang mit den gewählten externen Repräsentationsformen analysiert. Die Ergebnisse bestätigen, dass keine signifikante Assoziation zwischen der Lernumgebung charakterisiert durch die unterschiedlichen externen Repräsentationsformen mit der Qualität der Nutzung der externen Repräsentationsform beim Erklären besteht ($\chi^2 = 23.4$, *n. s.*).

7.6.7 Prozessbegleitende Variable: Kognitive Belastung

Im Folgenden wird die von den Lernenden eingeschätzte kognitive Belastung im Zusammenhang mit der Lernumgebung analysiert. Ausgehend von den theoretischen Annahmen in Bezug auf den Effekt von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen und der kognitiven Belastung werden die Ergebnisse differenziert nach den externen Repräsentationen aufgezeigt und berichtet. Wie bereits in den Ausführungen zu den Testinstrumenten erläutert, wird zwischen der aufgabenbezogenen (*mental load*) und lernerbezogenen (*mental effort*) Dimension der kognitiven Belastung differenziert. Die Lernenden werden diesbezüglich zu zwei Zeitpunkten gebeten ihre kognitive Belastung anhand einer 7-stufigen Likert-Skala einzuschätzen: nach der eigenen Erklärung sowie nach dem sie die das Phänomens des jeweils anderen erklärt bekommen haben.

Für das Erklären des eigenen Phänomens nutzen die Lernenden ihre selbst gewählte externe Repräsentationsform während die gewählte externe Repräsentationsform des*r Partner*in die Grundlage für das Zuhören der jeweils anderen Erklärung ist. Aufgrund dessen wird die eingeschätzte Denkanstrengung und Aufgabenschwierigkeit zunächst differenziert nach dem selbst Erklären und dem Zuhören der Erklärung für die gesamte Stichprobe betrachtet.

Für die eingeschätzte investierte Denkanstrengung geht deskriptiv hervor, dass diese für das Erklären ($M = 3.71$, $SD = 1.44$) gegenüber der eingeschätzten Denkanstrengung beim Zuhören ($M = 3.55$, $SD = 1.32$) höher eingeschätzt wird.

Die Ergebnisse eines Kruskal-Wallis-Tests zeigen, dass die Unterschiede zwischen der eingeschätzten Denkanstrengung für die unterschiedlichen Prozesse statistisch nicht signifikant ausfallen ($H(3) = -0.77$, *n. s.*). Für die durch die Aufgabe hervorgerufene Schwierigkeit geht dahingegen ein gegenläufiges Muster hervor. Diese wird für das Erklären niedriger eingeschätzt als beim Zuhören, jedoch handelt sich hierbei ebenfalls um deskriptive Ergebnisse, die nicht signifikant sind ($H(3) = -1.47$, *n. s.*).

Für die Analyse der Bezüge zwischen den externen Repräsentationen und der wahrgenommenen kognitiven Belastung für die Bewältigung der zwei Aufgaben wurde in einem

nächsten Schritt sowohl die Aufgabenschwierigkeit als auch Denkanstrengung im Zusammenhang mit den der Aufgabe zugrundeliegenden Repräsentationen (selbst gewählte und die externe Repräsentation des*r Partner*in) analysiert. So wird für die Betrachtung der Bezüge zwischen externer Repräsentation und der eingeschätzten kognitiven Belastung während der Erklärungsphase die selbst gewählte externe Repräsentation genutzt (Interventionsgruppe). Für die Analyse der Einschätzung der kognitiven Belastung für das Zuhören wird dahingegen pro Lernenden die externe Repräsentation des*r Partner*in ermittelt, die während der Phase des Zuhörens der jeweils anderen Erklärung genutzt wurde.

Kognitive Belastung beim Erklären

Die Ergebnisse des Pearson Chi-Quadrat-Tests deuten darauf hin, dass ein Zusammenhang zwischen der selbst gewählten externen Repräsentation und der eingeschätzten Aufgabenschwierigkeit besteht ($\chi^2(15) = 23.4, p < .05$), jedoch keiner zwischen externer Repräsentation und mentaler Denkanstrengung ($\chi^2(15) = 8.84, n.s.$).

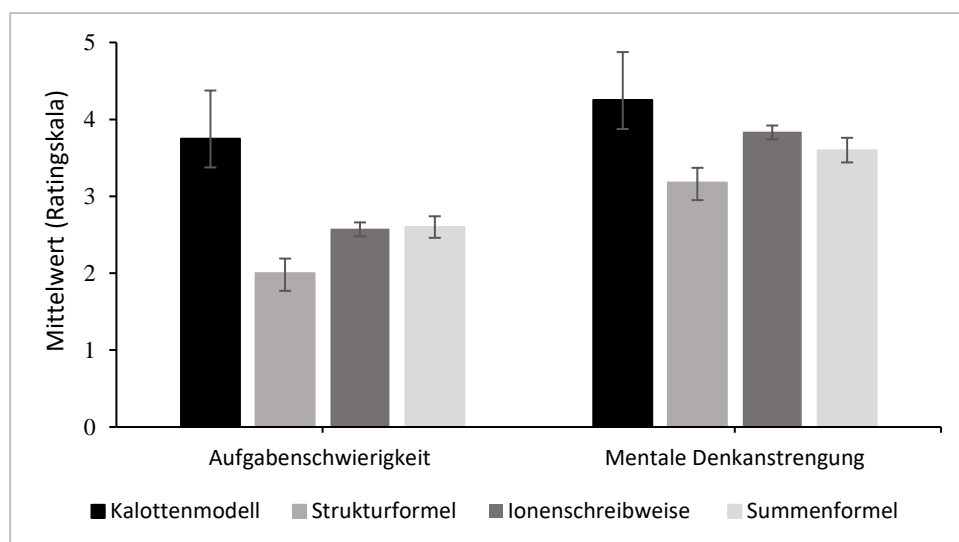


Abbildung 61. Mentale Denkanstrengung und Aufgabenschwierigkeit beim Erklären differenziert nach gewählter Repräsentation.

Aus der Abbildung 61 geht hervor, dass die Aufgabenschwierigkeit von den Lernenden, die das Kalottenmodell ($M = 3.75, SD = 2.5$) gewählt haben am höchsten ausfällt, während die Gruppe Strukturformel ($M = 2.0, SD = 1.27$) diese am geringsten einschätzen. Die Ergebnisse eines Kruskal-Wallis-Tests zeigen, dass die Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen in Bezug auf die Aufgabenschwierigkeit beim Erklären des chemischen Phänomens mithilfe der selbst gewählten externen Repräsentationsform jedoch nicht signifikant sind ($H(3) = 4.11, n. s.$).

Kognitive Belastung beim Zuhören

Im Anschluss wurde die kognitive Belastung der Lernenden während des Zuhörens in Abhängigkeit zu der externen Repräsentationsform, mit der sie das Phänomen erklärt bekommen haben, untersucht.

Es lassen sich statistisch weder Assoziationen (Denkanstrengung: $\chi^2(18) = 32.04, p > .05$; Aufgabenschwierigkeit; $\chi^2(15) = 12.25$, noch Unterschiede (Denkanstrengung; $H(3) = 1.26, n. s$; Aufgabenschwierigkeit; $H(3) = 1.53, n. s$) zwischen den Lernenden, die mittels der vier externen Repräsentationen das Phänomen erklärt bekommen haben, feststellen.

7.6.8 Bezüge zwischen den Variablen

In den vorangegangenen Analysen stehen primär die unterschiedlichen externen Repräsentationen (Modellobjekt) im Fokus. Daneben wurde anhand der Prozessdaten ermittelt, für welche Funktionen die Lernenden die externen Repräsentationen in Erklärungsphasen nutzen. Aus den Theorien zum Modellierprozess und der Modellbeschreibung geht hervor, dass die modellierenden Personen die externen Repräsentationen (Modellobjekt) intentionsgeleitet, bspw. im Inhalte zu erklären, nutzen. Anhand der Prozessdaten konnte für die vorliegende Stichprobe mithilfe eines Kategoriensystems ermittelt werden, inwiefern die Lernenden die zur Auswahl gestellten externen Repräsentationen zweckbezogen für das Erklären eines chemischen Phänomens auf atomarer Ebene nutzen. In Anlehnung an den Modellierprozess wird mit der Nutzung einer höherwertigen Funktion eine höhere Modellierungsfähigkeit und Modellverständnis angenommen. Um einen Einblick in den Zusammenhang zwischen der Modellierungsfähigkeit und dem Lernzuwachs der Lernenden zu erhalten, werden für folgende Analysen die ermittelten Funktionen und abhängigen Variablen betrachtet.

Zu Beginn werden anhand von Korrelationsanalysen (Spearman-Rho Korrelation) mögliche Zusammenhänge zwischen der Qualität der Nutzung und den Variablen Fachwissen und der Fähigkeit zur Informationsentnahme aus multiplen externen Repräsentationen berechnet. Hierfür werden die ermittelten Personenfähigkeiten der Lernenden aus dem Fachwissens- und Repräsentationstest (Prä und Lernzuwachs) sowie die fokussierte Funktion pro Lernenden in den Analysen eingeschlossen.

Tabelle 42. Ergebnisse der Korrelationsanalysen

Variable	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Informationsentnahme (1) Prä - Personenfähigkeit	1	.58**	.66**	.56**	.22
Informationsentnahme (2) Post - Personenfähigkeit		1	.69**	.71**	.37**
Fachwissen (3) Prä - Personenfähigkeit			1	.77**	.27*
Fachwissen (4) Post - Personenfähigkeit				1	.38**
Funktion (5)					1

** $p < .01$; * $p < .05$

Aus den Ergebnissen gehen positive Zusammenhänge zwischen den Funktionen der Lernenden und der Fähigkeit im Fachwissen zum Prä- und Post- Testzeitpunkt (Prä: $r_{sp} = .67$, $p < .01$; Post $r_{sp} = .38$, $p < .01$, $N = 80$) sowie der Fähigkeit zur Informationsentnahme nach der Intervention hervor ($r_{sp} = .37$, $p < .01$). Die Nutzung einer höherwertigen Funktion weist somit einen Zusammenhang mit hohen Fähigkeiten in Bezug auf die aufgezeigten Variablen auf.

Bezüge zwischen der Qualität des Nutzungsverhaltens und dem Lernzuwachs

Für weitere Betrachtungen zwischen den Funktionen und der Bezüge zwischen den Variablen werden die Lernenden auf der Grundlage ihrer Funktion in vier Gruppen eingeteilt. Hierbei werden alle Lernenden, die die externe Repräsentation zu keinem Zeitpunkt nutzten zur Gruppe 1 kein Bezug ($n = 21$) zusammengefasst.

Die Lernenden, derer Nutzung mit den Funktionen ‚(1) Verstärkung der mündlichen Aussage‘ und ‚(2) Ersatz für fehlende Fachbegriffe‘ festgestellt wurden, zeichnen sich bezüglich ihres Nutzungsverhaltens durch fehlende Bezüge zum dahinterliegenden Konzept bzw. dem mentalen Modell aus. Sie nutzen die externen Repräsentationen nicht als erkenntnistheoretisches Werkzeug also *Modell für* etwas, sondern entsprechend der retrospektiven Sicht als *Modell von* etwas. Die Bezüge zur externen Repräsentationsformen beschränken sich auf die Nutzung im Sinne eines Abbildes von dem bereits Geäußerten oder werden fehlenden Fachbegriffen gleichgesetzt und fungieren im linguistischen Sinne als Synonym von fehlenden Begriffen. Aufgrund dessen werden diese Lernenden zur Gruppe 2 retrospektiver Zweck ($n = 7$) zusammengeführt.

Die Gruppe 3 konzeptbezogener Zweck ($n = 34$) umfasst die Lernenden, für die die fokussierten Funktionen ‚(3) Nutzen des Modells zur Vermittlung einer Idee‘ (4) Unterstützung des Verständnisses‘ oder ‚(5) Überprüfung des Verständnisses‘ identifiziert wurden. Beide Funktionen zeichnen sich durch eine hervorstechende Fokussierung auf die Vermittlung der zu erklärenden Inhalte bzw. Konzepte aus. Die Lernenden, die schwerpunktmäßig die Funktionen ‚(6) Feststellen/Korrektur von Inkonsistenz‘ und ‚(7) Verweis zum Modell‘ nutzten, weisen die höchste Modellierungsfähigkeit auf. Sie stellen einen reflexiven bzw. rückbezüglichen Zusammenhang zwischen ihren mentalen Modellen und der externen Repräsentationen her, die sie aus einem vorangegangenen Modellierungsprozess als Modellobjekt für einen erkenntnistheoretischen Zweck nutzen. Im Vergleich zur Gruppe drei nutzen sie die externe Repräsentation nicht nur als Werkzeug zur Vermittlung des Konzepts, sondern darüber hinaus sowohl das Konzept als auch die externe Repräsentation als Werkzeuge für die Vermittlung und Erarbeitung von Erkenntnis über die atomare Ebene. Diese Gruppe wird als 4 erkenntnistheoretischer Zweck ($n = 18$) bezeichnet.

Im Folgenden werden die Personenfähigkeiten im Fachwissen der auf der Grundlage der Funktionen gebildeten Gruppen ausgewertet. In Abbildung 62 sind die mittleren Personenfähigkeiten differenziert nach den Gruppen zu den zwei Testzeitpunkten aufgetragen. Aus den Ergebnissen des Kruskal-Wallis-Tests gehen keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Personenfähigkeiten zum Prä-Testzeitpunkt zwischen den Gruppen kein Bezug ($M = 0.13$, $SD = 0.89$), 3 retrospektiver Zweck ($M = 0.13$, $SD = 0.81$), konzeptueller Zweck ($M = 0.47$, $SD = 1.06$) und 4 erkenntnistheoretischer Zweck ($M = 0.95$, $SD = 1.56$) hervor ($H(3) = 4.99$, $n. s.$). Für den Post-Testzeitpunkten fallen die

Gruppenunterschiede in Bezug auf die mittlere Personenfähigkeit dahingegen signifikant aus ($H(3) = 11.07, p < .05$). Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests zeigen einen sig-

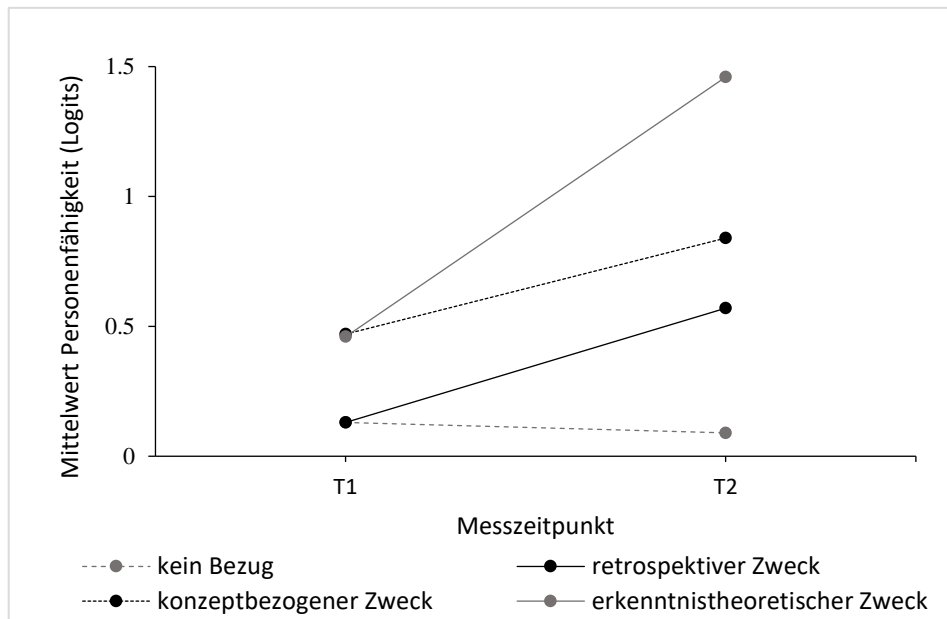


Abbildung 62. Mittelwerte der Personenfähigkeiten im Fachwissen differenziert nach dem Zweck der externen Repräsentation

nifikanten Unterschied zwischen den Gruppen 1 kein Bezug ($M = 0.9, SD = 1.06$) und 4 erkenntnistheoretischer Zweck ($M = 1.46, SD = 1.54$) ($z = -3.22, p < .01, r = .52$). Die Effektstärke $r = .52$ lässt auf einen starken Effekt schließen.

Für den Vergleich der Gruppen in Bezug auf die Personenfähigkeiten zur Informationsentnahme, die auf der Basis des Repräsentationstests geschätzt wurden, werden diese

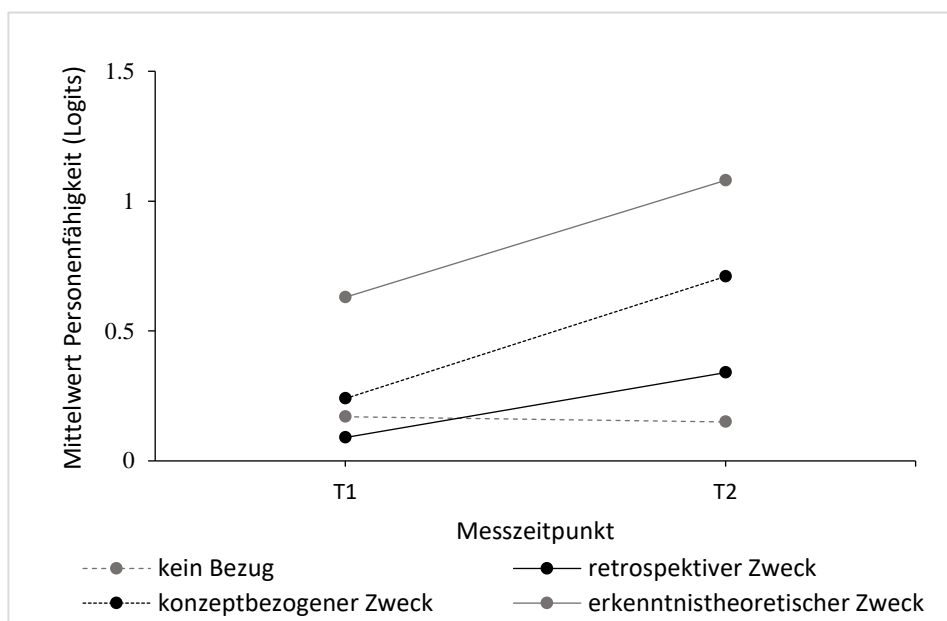


Abbildung 63. Mittelwerte der Personenfähigkeiten zur Informationsentnahme differenziert nach dem Zweck der externen Repräsentation

zu beiden Testzeitpunkten auf Unterschiede analysiert. In Abbildung 63 sind die mittleren Personenfähigkeiten getrennt nach den Gruppen zu die zwei Testzeitpunkten visualisiert. Deskriptiv lassen sich über alle Gruppen hinweg eine Erhöhung der mittleren Personenfähigkeiten feststellen.

Zum Prä- Testzeitpunkt können keine Unterschiede in Bezug auf die zentralen Tendenzen der Personenfähigkeiten zwischen den Gruppen bestätigt werden ($H(3) = 2.48, n. s.$). Dahingegen liegen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen für die Personenfähigkeiten zum Post-Testzeitpunkt vor ($H(3) = 10.6, p = .05$). Post-hoc-Tests zeigen auch hier einen signifikanten Vorteil der Gruppe 4 erkenntnistheoretischer Zweck ($M = 1.08, SD = 1.04$) gegenüber 1 kein Bezug ($M = 0.15, SD = 0.82$) ($z = -3.08, p < .05, r = .49$). Die Effektstärke lässt auf einen mittleren Effekt schließen.

7.7 Zusammenfassende Diskussion

Mit der vorliegenden Studie wurden primär zwei Ziele fokussiert. Ausgehend von den Ergebnissen der ersten Studie sollte mit der zweiten Studie ein Beitrag zur Aufklärung der Wahl der Lernenden für eine externe Repräsentation für das Erklären chemischen Phänomens geleistet werden. Des Weiteren war das Ziel der Studie die Analyse der Qualität der Nutzung der gewählten externen Repräsentationsform beim Erklären in Modellierprozessen. Im Rahmen des vorliegenden Kapitels werden die in Kapitel 5 formulierten Forschungsfragen und entsprechende Hypothesen zusammenfassend diskutiert:

F4: Welche externen Repräsentationsformen des atomaren Bereichs wählen die Lernenden für das Erklären eines chemischen Phänomens?

F5: Inwiefern nutzen Lernende externe Repräsentationen des atomaren Bereichs zweckbezogen beim Erklären eines Phänomens im Modellierprozess?

F6: Inwieweit besteht ein Zusammenhang zwischen der gewählten externen Repräsentationsform und der Qualität der Nutzung der externen Repräsentation beim Erklären?

Neben der Erfassung der prozeduralen Fähigkeit, externe Repräsentationen für das Erklären eines Phänomens zu nutzen, wurden Items aus dem Repräsentationstest genutzt, um die Fähigkeiten der Lernenden zur Informationsentnahme aus externen Repräsentationen zu erheben. Ziel war es Bezüge zwischen den Fähigkeiten zu untersuchen. Aufgrund dessen wurde folgende Forschungsfrage formuliert:

F7: Inwiefern besteht ein Zusammenhang zwischen der prozeduralen Fähigkeit, externe Repräsentationen für das Erklären eines Phänomens zu nutzen, und der deklarativen Fähigkeit, Informationen aus multiplen externen Repräsentationen zu entnehmen?

Für die Umsetzung der Studie wurde in Anlehnung an dem quasi-experimentellen Design eine Studie, innerhalb der die Gruppen nicht experimentell hergestellt wurden und ein *Mixed-Methods* Ansatz gewählt. Die Wahl für ein quasi-experimentelles Design liegt in der Forschungsfrage 4 begründet. Die Lernenden wurden nicht auf die Lernumgebungen anhand erhobener Lernermerkmalen oder Randomisierung zugeteilt. Die Interventionsgruppen ergaben sich durch die Wahl der Lernenden für eine der vier externen Repräsentationen. Um Einblicke in die prozedurale Fähigkeit der Lernenden in authentischen Situationen zu erlangen, wurde auf qualitative Daten in Form von Screencast-Videos zurückgegriffen.

Aus den Beschreibungen nach Schnotz (2002) geht hervor, dass die als konkret beschrie-

ben externen Repräsentationen zum einen höhere Ähnlichkeitsbeziehung mit dem Referenzobjekt aufweisen und zum anderen durch ikonische Elemente die Überführung in ein mentales Modell mit einer geringeren Belastung des Arbeitsgedächtnisses einhergehe als abstrakte externe Repräsentationen. Von diesen Annahmen ausgehend wurde folgende Hypothese in Bezug auf F4 aufgestellt:

H4: Für das Erklären eines chemischen Phänomens wählen die Lernenden vorzugsweise konkrete externe Repräsentationsformen.

Aus den Ergebnissen der Studie geht hervor, dass die Lernenden zu 82% die als abstrakten externen Repräsentationen des atomaren Bereichs angenommenen Repräsentationen (Ionenschreibweise und Summenformel) vorzugsweise wählen und zu 18% die konkreten externen Repräsentationen (Kalottenmodell und Strukturformel), somit also eine nicht erwartete Verteilung auftritt. Obgleich sich das Kalottenmodell theoretisch als die konkreteste externe Repräsentation (im Vergleich zu den anderen dreien) beschreiben lässt, wählten nur 5% der Lernenden diese für ihre Erklärung aus. Anzuzweifeln bleibt aufgrund der geringen Stichprobengröße der Interventionsgruppe die Aussagekraft der Ergebnisse in Bezug auf die Lernenden, die diese externe Repräsentation wählten. Im Rahmen der Begründungen der Lernenden für ihre Wahl wird als häufigster Grund die Verständlichkeit für die externe Repräsentationsform sowie das Wissen über die Informationsdarstellung angeführt. Aus etwa einem Viertel der Begründungen geht hervor, dass die Lernenden auf der Grundlage der Informationen, die durch die externe Repräsentationsform visualisiert und für das Erklären benötigt werden, ihre Wahl getroffen haben. Es ist somit zu vermuten, dass die geringe Wahl für das Kalottenmodell auf die Repräsentationsform selbst zurückzuführen ist. Obschon das Kalottenmodell, verglichen zu den anderen drei Repräsentationsformen, die meisten Informationen über den Referenzbereich visualisiert, werden Informationen für die Bewältigung der Aufgaben zum Themenfeld der Säuren und Basen nicht direkt ersichtlich. So beinhaltet das Kalottenmodell keine Informationen über die Aggregatzustände (z. B. im Indizes) jedoch Informationen über die Größenverhältnisse der Ionen bzw. Moleküle. Des Weiteren zeigte bereits die Schulbuchanalyse, dass Uneinigkeit in der Darstellungsweise der Ladungen herrscht. Die Ergebnisse der Schulbuchanalyse als auch die Betrachtung aus fachwissenschaftlicher Sicht zeigen, dass die Repräsentationsform der Ionenschreibweise im Rahmen des Themas auf die größte Resonanz stößt, da sie die für den Themenbereich benötigten Informationen auf das Wesentliche reduziert beinhaltet (Dissoziation, Ladung etc.). In dem thematischen Zusammenhang ist die Strukturformel, die ebenfalls den konkreten externen Repräsentationen zugeordnet wurde, ebenfalls zu nennen. Aus dieser gehen Informationen bezüglich der Bindungen sowie der räumlichen Anordnungen hervor. Die für das Themenfeld sowie die genutzten chemischen Phänomene benötigten Informationen über die Aggregatzustände sind auch in der Repräsentationsform der

Strukturformel nicht enthalten, wodurch die geringe Wahl für diese Repräsentationsform ebenfalls begründet sein kann.

Darüber hinaus können keine Zusammenhänge zwischen den erhobenen Lernermerkmalen und der Präferenz für eine externe Repräsentation festgestellt werden. Folglich kann die in der H4 immanente Hypothese, dass Lernende für ihre Erklärung vorzugsweise konkrete externe Repräsentationsformen wählen, nicht verifiziert werden. Für die Überprüfung der theoretischen Annahme nach Schnotz (2002), dass ausgehend von konkreten externen Repräsentationen die Bildung des mentalen Modells kognitiv entlastend wirke, wurde als prozessbegleitende Variable die kognitive Belastung beim Erklären mit der externen Repräsentation und dem Zuhören der jeweils anderen Erklärung erfasst. Auch diesbezüglich lässt sich deskriptiv festhalten, dass die Lernenden, die das Kalottenmodell nutzten und denjenigen, die mithilfe der externen Repräsentation das Phänomen erklärt bekommen haben, die mentale Denkanstrengung am höchsten einschätzten. Aus weiteren Analysen der Gruppenvergleiche geht jedoch hervor, dass es bei den Unterschieden um keine signifikanten Effekte handelt. Folglich können auf der Grundlage der vorliegenden Daten die theoretischen Annahmen, dass konkrete externe Repräsentationen mit einer geringeren kognitiven Belastung einhergehen als abstrakte nicht bestätigt werden. Aus der Studie zeichnen sich gegenläufige Tendenzen ab, die auf der Grundlage des Datensatzes jedoch nicht näher untersucht werden können. Die unzureichenden Ergebnisse in Bezug auf die kognitive Belastung könnten nicht zuletzt auf die genutzten und mittlerweile in Kritik stehenden Items, mit denen das Konstrukt gemessen wurde, zurückführbar sein. Aufgrund der theoretischen Annahme, dass konkrete Repräsentationen kognitiv entlastend wirken, wurde vermutet, dass insbesondere Lernende mit niedrigen Fähigkeiten konkrete externe Repräsentationen vorzugsweise wählen. Aus den Ergebnissen und der Wahl der Lernenden gehen jedoch Indizien hervor, die darauf verweisen, dass insbesondere Lernende mit hohen Fähigkeiten über ein stabiles mentales Modell verfügen und es unerheblich für sie ist, welche externe Repräsentationsform sie für die Konstruktion bzw. Externalisierung ihres mentalen Modells nutzen. Insbesondere aus der Wahl für eine externe Repräsentationsform geht hervor, dass Lernende mit niedrigen Fähigkeiten sich für die Repräsentationsform der Ionenschreibweise entscheiden und somit für die Repräsentationsform, die die wesentlichen Inhalte visualisiert. Die Ergebnisse könnten die Hypothese unterstützen, dass insbesondere Lernende mit niedrigen Fähigkeiten aufgrund eines instabilen mentalen Modells für das Modellieren auf externe Repräsentationen angewiesen sind und auf die zurückgreifen, die keine zusätzlichen Informationen enthalten.

Mit der Prozessdatenanalyse wurde das Ziel verfolgt die prozeduralen Fähigkeit „Nutzen von Repräsentationen für das Beschreiben und Erklären von beobachteten chemischen

Phänomenen“ zu untersuchen. Basierend auf den Funktionen von externen Repräsentationen in Modellierprozessen nach Oliveira et al. (2015) wurde die in der Repräsentationsfähigkeit aufgegriffene Nutzung operationalisiert und differenziert betrachtet. Innerhalb der Funktionen lässt sich eine zunehmende Qualität der Nutzung und somit ein zunehmendes Modellverständnis erkennen. Während in den niedrigeren Funktionen die Nutzung der externen Repräsentationsform im Sinne von *ein Modell von etwas* erkennbar ist, verschiebt sich diese Ansicht mit höherwertigen Funktionen zu der Nutzung auf Repräsentationen als *Modellobjekte für etwas*. Anhand der Funktion, die für die Lernenden in der Erklärungsphase identifiziert wurde, ließ sich die Intention bzw. der Zweck der externen Repräsentation feststellen. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass sich 42.5% der Lernenden auf die Funktionen ‚(3) Nutzen des Modells zur Vermittlung einer Idee‘ (4) Überprüfung des Verständnisses‘ oder ‚(5) Unterstützung des Verständnisses‘ verteilen. Gemein ist den Funktionen die Fokussierung auf die Vermittlung des zugrundeliegenden Konzepts, weshalb sie zur konzeptabhängigen Gruppe zusammengefasst werden. Folglich fungiert die externe Repräsentation als Modell für das Konzept, das vermittelt werden soll. Die Anzahl der Lernenden, die die höchstwertigen Funktionen (6) Feststellen/Korrektur von Inkonsistenz‘ und ‚(7) Verweis zum Modell‘ beläuft sich auf insgesamt 22.5%. Diese Lernenden nutzen Funktionen, die auf einen erkenntnistheoretischen Zweck zurückschließen lassen. Neben der Berücksichtigung des Konzepts, nutzt die Gruppe die externe Repräsentation für die Konstruktion, Revision sowie Vermittlung des mentalen Modells. Die Funktionen, mit der geringsten Wertigkeit ((1) Verstärkung der mündlichen Aussage und (2) Ersatz für fehlende Fachbegriffe) konnten für 8.75% der Lernenden festgehalten werden. Die Nutzung der externen Repräsentationsform beschränkt sich für diese Lernenden auf einen retrospektiven Zweck und lässt auf ein Modellverständnis von *Modellen als Repräsentation von etwas* schließen. Die Nutzung der externen Repräsentation erfolgt unabhängig von dem Konzept oder dem mentalen Modell. Des Weiteren konnte für 26.25% der Lernenden während der gesamten Modellierprozesses kein Bezug zur externen Repräsentation festgestellt werden. Die Ergebnisse über den fehlenden Bezug zur externen Repräsentation können ein Indiz dafür sein, dass ein Viertel der Lernenden naive Modellvorstellungen bzw. Modellnutzungen besitzt. So konnten Treagust, Chittleborough und Mamiala (2002) in einer quantitativen Studie ebenfalls zeigen, dass Lernende kein ausreichendes Modellverständnis von Modellen in Bezug auf ihren Zweck aufzeigen. Ähnliche Ergebnissen lieferten bereits Grosslight et al. (1991). Aus der Studie geht hervor, dass Lernende ein naives Modellverständnis vertreten und Schwierigkeiten aufzeigen, Modelle als erkenntnistheoretische Werkzeuge für die Konstruktion oder dem Testen von Inhalten zu nutzen „*We found that students in both groups have conceptions of models that are basically consistent with a naive realist epistemology. ...Our findings suggest that students need more experience using models as intellectual tools ...*“ (Grosslight et al., 1991, S. 799).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Lernenden überwiegend mittlere Funktionen, insbesondere die Funktion (5) Unterstützung des Verständnisses, von externen Repräsentationen nutzen, die auf einen konzeptabhängigen Zweck der externen Repräsentation schließen lässt. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stehen im Einklang mit den Resultaten der Studie von Oliveira et al. (2015), jedoch wurde im Rahmen der Studie der Repräsentationsbegriff umfassender genutzt und u. a. Gestik und nicht fachspezifische Repräsentationen miteinbezogen. Aus den Ergebnissen der Studie geht ebenfalls hervor, dass sowohl die Lernenden als auch die Lehrperson am häufigsten die Funktion ‚Unterstützung des Verständnisses‘ beim Erklären in Modellierprozessen nutzen. Die Betrachtung über alle Funktionen hinweg zeigt, dass ein Drittel der identifizierten Funktionen in dem analysierten Chemieunterricht auf die ‚Verstärkung der mündlichen Aussage‘ und den ‚Ersatz für fehlende Fachbegriffe‘ zurückzuführen ist.

Die Analyse der Funktionen im Zusammenhang mit den gewählten externen Repräsentationsformen (F6) zeigt, dass sich keine Tendenzen bezüglich der Verteilung der Funktionen auf die genutzten externen Repräsentationsformen abzeichnen. Anhand von statistischen Analysen konnte ebenfalls kein Zusammenhang zwischen den Funktionen und den Interventionsgruppen festgehalten werden. Folglich lässt sich in Bezug auf F6 sagen, dass die Qualität der Nutzung nicht mit der Repräsentationsform assoziiert ist.

In Bezug auf F7 (Inwiefern besteht ein Zusammenhang zwischen der prozeduralen Fähigkeit, externe Repräsentationen für das Erklären eines Phänomens zu nutzen, und der deklarativen Fähigkeit, Informationen aus multiplen externen Repräsentationen zu entnehmen?) wurde ausgehend von dem theoretischen Hintergrund folgende Hypothese abgeleitet:

H5: Eine hohe Fähigkeit bezüglich der Informationsentnahme aus multiplen externen Repräsentationen geht mit einer hohen Fähigkeit bezüglich der Nutzung von externen Repräsentationen für das Erklären eines Phänomens einher.

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass zwischen den ermittelten prozeduralen Fähigkeiten externe Repräsentationen für das Erklären eines chemischen Phänomens und der deklarativen Personenfähigkeiten der Informationsentnahme ein signifikanter Zusammenhang vorliegt. Dieser Zusammenhang lässt sich jedoch nur für die ermittelten Personenfähigkeiten nach der Intervention festhalten, nicht jedoch für den Prä-Testzeitpunkt. Darüber hinaus wurde analysiert, inwiefern sich die Lernergruppen, die die unterschiedlichen Funktionen nutzen, in Bezug auf die Personenfähigkeiten zum Prä- und Post- Testzeitpunkt unterscheiden. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass sich die Lernergruppen zum Prä- Testzeitpunkt bezüglich ihrer Personenfähigkeiten nicht unterscheiden. Für den Post- Testzeitpunkt lassen sich jedoch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (1) kein Bezug und (4) erkenntnistheoretischer Zweck feststellen,

wobei die Gruppe 4 höhere Personenfähigkeiten erlangt. Folglich liegt für den Zuwachs der Personenfähigkeiten ein deutlicher Vorteil der Gruppe vor, die eine Funktion nutzen, die auf eine höhere Qualität schließen lässt. Ähnliche Ergebnisse liefern die Gruppenvergleiche in Bezug auf den Fachwissenszuwachs. Die formulierte Hypothese 5 bedarf somit eine differenziertere Betrachtung bzw. Verifizierung. Mit Rückbezug zu den Personenfähigkeiten zur Informationsentnahme vor und nach der Intervention lässt sich die H5 insoweit verifizieren, als dass ein Zusammenhang zwischen der prozeduralen Fähigkeit und der deklarativen Fähigkeit nach der Intervention und somit nach dem Erklären mit einer gewählten externen Repräsentation festgestellt werden konnte. Da sich die Gruppen zum Prä- Testzeitpunkt in Bezug auf die Informationsentnahme nicht signifikant unterscheiden und keine Korrelationen zwischen den Variablen festgestellt werden konnten, liegt die Vermutung nah, dass eine hohe Ausprägung der Fähigkeiten zur Informationsentnahme nicht zwangsläufig mit einer hohen Ausprägung der prozeduralen Fähigkeit einhergeht. Korrelationsanalysen zeigen, dass die Personenfähigkeiten nach der Intervention signifikant mit der Qualität der Nutzung korrelieren. Schlussfolgernd kann interpretiert werden, dass die Qualität der Nutzung von externen Repräsentationen einen positiven Einfluss auf den Zuwachs der Personenfähigkeiten in Bezug auf die Informationsentnahme hat. In Bezug auf das von Rau (2017) formulierte Repräsentationsdilemma und der Frage ‚Wie können Lernende neue Inhalte aus Repräsentationen lernen, die sie noch nicht vollständig verstehen, und - gleichzeitig - lernen, wie visuelle Darstellungen Inhalte visualisieren, die sie noch nicht gelernt haben?‘ zeigen die Studienergebnisse, dass die Qualität der Nutzung der externen Repräsentationen während des Modellierens einen wesentlichen Einfluss auf den Lernzuwachs nimmt. Die Qualität der Nutzung von externen Repräsentationen beim Modellieren konnte somit als Hinweis für einen Ausweg aus dem Repräsentationsdilemma interpretiert werden.

8 Zusammenführung der Ergebnisse und Fazit

Das übergeordnete Ziel der Arbeit war es konkrete und abstrakte externe Repräsentationen in Bezug auf die Repräsentationsfähigkeiten *„Informationsentnahme aus multiplen externen Repräsentationen“* und *„Nutzen von Repräsentationen für das Beschreiben und Erklären von beobachteten chemischen Phänomenen“* unter Berücksichtigung der Lernerperspektive zu untersuchen. Die Zielstellung des Promotionsprojektes ist aus den inkonsistenten Ergebnissen bezüglich des Einflusses von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen in Lernprozessen sowie der Forschungslage zu der Validierung der theoretischen Beschreibungen von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen aus Lernericht hervorgegangen.

Externe Repräsentationen werden in allen Phasen der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung eine unverzichtbare Rolle zugeschrieben. Eine hervorstechende Relevanz haben externe Repräsentationen insbesondere für das Auswerten und Erklären auf der atomaren Ebene (Klahr & Dunbar, 1988; Koenen et al., 2016; Nehring et al., 2016). In diesem Rahmen wird zunehmend der Modellcharakter der externen Repräsentationen deutlich, da sie in einem Modellierprozess unter Berücksichtigung eines erkenntnistheoretischen Ziels als Modellobjekte fungieren, mithilfe derer die Konstruktion, Revision und Externalisierung von mentalen Modellen vorgenommen wird. Für den Modellierprozess und der Externalisierung mentaler Modelle können mehrere externe Repräsentationsformen des gleichen Referenzobjektes (multiple externe Repräsentationen) verwendet werden oder nötig sein (Giere, 2010; Gouvea & Passmore, 2017; Mahr, 2004). Folglich umfassen die aktuellen Modellbeschreibungen die Perspektive auf Modelle Repräsentationen *von* und *für* etwas zu sein. Der Charakter von Modellobjekten als erkenntnistheoretische Werkzeuge wird somit nicht mehr nur auf die dem Modellobjekt zugeschriebenen Eigenschaften zurückgeführt. Die modellierende Person rückt durch das Anwenden und Herstellen der Modellobjekte im Zusammenhang mit einem erkenntnistheoretischen Zweck in den Fokus des Modellierprozesses (Giere, 2010; Gouvea & Passmore, 2017). Die Entwicklung der Modellauffassung führte zur differenzierten Betrachtung der Repräsentationsfähigkeiten, die große Verbindungen zum Modellverständnis aufweisen und die Lernenden dazu befähigen, externe Repräsentationen erfolgreich für den Modellierprozess zugänglich zu machen. Im Zuge dessen gehen aus der Literatur eine Vielzahl an Vorschlägen für die Kategorisierung von multiplen externen Repräsentationen hervor, die in Verbindung mit unterschiedlichen Effekten auf den Lernprozess betrachtet werden. Unter den Vorschlägen zur Kategorisierung von multiplen externen Repräsentationen lässt sich der lehr-lerntheoretische Ansatz nach Schnotz (2002) finden. Der Autor differenziert multiple externe Repräsentationen in *depiktive* und *deskriptive* externe Repräsentationen und betrachtet sie entlang eines Abstraktionsgrades. Entsprechend des Autors werden *depiktive* externe Repräsentationen als

konkret und deskriptive als abstrakt aufgefasst. Schnotz (2002) stellt die konkreten und abstrakten externen Repräsentationen in den Zusammenhang mit kognitiven Verarbeitungsprozessen. Er postuliert für die konkreten externen Repräsentationen eine geringere Belastung des Arbeitsgedächtnisses und eine einfachere Verarbeitung als für abstrakte externe Repräsentationen. Diese Unterschiede in Bezug auf die kognitiven Verarbeitungsprozesse führt der Autor darauf zurück, dass depiktive externe Repräsentationen aufgrund der ikonischen Merkmale direkt in ein bildliches mentales Modell überführt werden können, während die symbolischen externen Repräsentationen zunächst über eine semantische Verarbeitung in eine propositionale Repräsentation überführt wird und anschließend in ein mentales Modell. Einige Vertreter*innen betonten in diesem Zusammenhang die Berücksichtigung der Verarbeitungsprozesse der externen Repräsentationen im Zusammenhang mit den der externen Repräsentationen zugrundeliegenden Inhalten (Ainsworth, 2008a; Rau, 2017). Externe Repräsentationen stehen im engen Zusammenhang mit den zu visualisierenden Inhalten, stellen jedoch wie die Repräsentationskompetenz eine eigenständige Einheit von dem Fachwissen und den Inhalten dar. Aus zahlreichen Studien gehen insgesamt große Schwierigkeiten von Lernenden im Umgang mit externen Repräsentationen im Chemieunterricht hervor. Zunehmend bestätigt wird, dass das Fachwissen einen positiven Einfluss auf den Umgang mit externen Repräsentationen hat und insbesondere Experten geringe Schwierigkeiten diesbezüglich aufweisen. Aufgrund der andauernden Diskussion über den Einfluss der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen auf den Lernprozess lassen sich keine einheitlichen Ergebnisse berichten. Des Weiteren erschweren die unterschiedlichen Herangehensweisen zur Differenzierung multipler externer Repräsentationen in konkret und abstrakt die Vergleichbarkeit der Studienergebnisse. Aus der derzeitigen Forschungsliteratur geht ein Forschungsdesiderat in Bezug auf die Lernerperspektive hinsichtlich der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen und der damit einhergehenden theoretischen Annahmen hervor, sodass die Beurteilung der Lernenden unklar bleibt. Ainsworth (2008a) fordert die Berücksichtigung der affektiven Lernervariablen und rückt die Betrachtung und Beurteilung der externen Repräsentationen aus Lernerperspektive in den Fokus.

An den bisherigen Ergebnissen ansetzend, steht die Analyse der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen des atomaren Bereichs unter besonderer Berücksichtigung der Lernerperspektive im Fokus der vorliegenden Studie. Basierend auf zwei Studien wurde mithilfe von fünf externen Repräsentationen des atomaren Bereichs der Einfluss von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen auf die Repräsentationsfähigkeiten *„Informationsentnahme aus multiplen externen Repräsentationen“* und *„Nutzen von Repräsentationen für das Beschreiben und Erklären von beobachteten chemischen Phänomenen“* analysiert. Die Berücksichtigung der Lernerperspektive bzw. Beur-

teilung erfolgte in der ersten Studie unter Zuhilfenahme eines Semantischen Differentials und in der zweiten Studie anhand der Auswahl der Lernenden für eine der vier zur Verfügung gestellten externen Repräsentationen für den Modellierprozess.

In der ersten Studie wurde die Informationsentnahme aus konkreten und abstrakten externen Repräsentationen des atomaren Bereichs mittels eines selbst entwickelten und evaluierten Repräsentationstest erhoben. Darüber hinaus wurde das Wissen über die dem Repräsentationstest zugrundeliegenden Inhalte mithilfe eines Fachwissenstests erhoben und ausgehend von Schnotz' Annahmen ein Semantisches Differential abgeleitet, das die postulierten Merkmale der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen enthält. Ziel des Semantischen Differentials war die Erfassung der Lernerperspektive und die lernerorientierte Validierung der Annahmen über konkrete und abstrakte externe Repräsentationen in Bezug auf Schwierigkeit der Informationsentnahme und der Ähnlichkeitsbeziehung. Für das Semantische Differential wurden die multiplen externen Repräsentationen des atomaren Bereichs aus dem Repräsentationstest genutzt.

Die Ergebnisse aus der ersten Studie konnten zeigen, dass das Fachwissen und die Fähigkeit der Informationsentnahme als zwei separate Konstrukte interpretiert werden können, die dennoch einen großen Zusammenhang aufweisen. Aus den Gruppenvergleichen geht eine Überlegenheit in Bezug auf die Informationsentnahme für die Lernenden mit hohem Fachwissen hervor. Die Annahme, dass die Informationsentnahme aus konkreten externen Repräsentationen leichter falle, konnte anhand der Itemschwierigkeiten der Repräsentationsitems nicht bestätigt werden. Die Itemschwierigkeiten zeigen deskriptiv eher gegenläufige Tendenzen auf, da die konkreteste externe Repräsentation (das Kalottenmodell) die höchste mittlere Itemschwierigkeit aufwies als die abstrakten. Die geringste Itemschwierigkeit weisen die Repräsentationsitems auf, die die als abstrakt kategorisierte Ionenschreibweise enthalten. Nichtsdestotrotz ist eine Vergleichbarkeit der Itemschwierigkeiten über die Kategorien konkret und abstrakt schwierig, da keine deutlichen Ergebnisse hervorgehen. Die Strukturformel, die ebenfalls als konkret beschrieben wurde, weist nach der Ionenschreibweise eine der geringsten Schwierigkeiten auf. Die Ergebnisse könnten ein Indiz dafür sein, dass in der Chemie ein adäquater Ausschnitt aus einem Modell für die Konstruktion eines mentalen Modells bereits ausreicht und zu viele Modelleigenschaften tendenziell einen belastenden Einfluss nehmen. Aus der Validierung des Semantischen Differentials gehen die zwei theoriekonformen Faktoren Informationsentnahme und Ähnlichkeitsbeziehung hervor. Eine separate Betrachtung der durch die Lernenden beurteilte Informationsentnahme und Ähnlichkeitsbeziehung für die konkreten (Strukturformel und Kalottenmodell) und abstrakten (Ionenschreibweise, Summenformel und Wortgleichungen) führt zu dem Ergebnis, dass die theoretischen Annahmen nach Schnotz auf der Grundlage der Studie nicht gänzlich be-

stätigt werden können. Die Lernenden schätzen die Merkmale der Ähnlichkeitsbeziehung sowie die Vorstellbarkeit des Originals theoriekonform für die konkreten externen Repräsentationen höher ein als für die abstrakten. Allerdings schreiben sie den konkreten externen Repräsentationen jene Attribute in Bezug auf die Informationsentnahme zu, die auf eine höhere Schwierigkeit deuten. Darüber hinaus beurteilen die Lernenden mit hohen Personenfähigkeiten im Fachwissen und der Informationsentnahme über die Kategorien hinweg die Informationsentnahme als leichter als Lernende mit geringen Fähigkeiten. Die Ähnlichkeitsbeziehung zwischen den konkreten externen Repräsentationen zum Referenzobjekt und die Vorstellbarkeit des Originals wird von den Lernenden mit geringen Personenfähigkeiten signifikant höher eingeschätzt als von den Lernenden mit hohem Fachwissen. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Lernenden mit geringen Fähigkeiten konkrete externe Repräsentationen in einem höheren Grad als Abbild des Referenzobjektes auffassen und von ihnen eine unterstützende Funktion in Bezug auf ihre Vorstellbarkeit des Originals ausgeht. Die aus dem Semantischen Differential hervorgehende Beurteilung der Lernenden deckt sich mit den Tendenzen der Itemschwierigkeiten aus dem Repräsentationstest. Die Ergebnisse der ersten Studie deuten darauf hin, dass die theoretisch angenommenen Merkmale für konkrete und abstrakte externe Repräsentationen des atomaren Bereichs nur einschränkt zutreffen und die Lernenden diese anders beurteilen als angenommen. Aufgrund der Beurteilung der Lernenden, dass die konkreten externen Repräsentationen höhere Ähnlichkeiten zum Referenzobjekt aufweisen, ergab sich die Forschungsfrage für die zweite Studie. Im Rahmen dessen sollte der Frage nachgegangen werden, ob die Lernenden vorzugsweise konkrete externe Repräsentationen wählen, wenn sie Informationen in einem Erklärungsprozess darstellen bzw. vermitteln sollen und inwiefern sie die gewählten externen Repräsentationsformen im Modellierungsprozess nutzen.

Im Rahmen der zweiten Studie wurde der Einfluss der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen auf die prozedurale Repräsentationsfähigkeit *„Nutzen von Repräsentationen für das Beschreiben und Erklären von beobachteten chemischen Phänomenen“* untersucht. Für die Studie wurde ein quasi-experimentelles Design gewählt. Die Intervention erstreckt sich ebenfalls über den Fachinhaltsbereich der Säuren und Basen und ist entsprechend eines Prä-Post-Testdesign mit einem *Mixed-Methods Ansatz* konzipiert worden. Für die Erhebung des Nutzens von externen Repräsentationen beim Erklären wurden während der Intervention Prozessdaten mithilfe von Screencast-Videos erhoben. Zusätzlich wurde zum Prä- und Post-Testzeitpunkt das Fachwissen sowie die Fähigkeit zur Informationsentnahme mit den Testitems aus dem Repräsentationstest der ersten Studie erfasst. Das quasi-experimentelle Studiendesign wurde gewählt, um die Lernerperspektive zu berücksichtigen. Die Zuteilung der Lernenden auf die Interventionsgruppen erfolgte durch die Wahl für eine externe Repräsentation durch die Lernenden selbst. Ziel der Vorgehensweise war es zu untersuchen, für welche der konkreten

und abstrakten externen Repräsentationen sich die Lernenden für das Erklären eines chemischen Phänomens entscheiden und wie sie diese Wahl begründen.

Anhand der Auswertungen in Bezug auf die Wahl für die konkreten und abstrakten externen Repräsentationen geht hervor, dass sich die Lernenden im Rahmen des Modellierprozesses und dem damit verbundenen Erklärprozess überwiegend für abstrakte externe Repräsentationen (Summen- und Ionenschreibweise) entscheiden und nur ein geringer Anteil für konkrete (Strukturformel und Kalottenmodell). Auch in dieser Studie fällt die Beurteilung der konkreten und abstrakten externen Repräsentationen aus Lernerperspektive zugunsten der abstrakten externen Repräsentationen aus, obschon die theoretische Annahme besteht, dass ausgehend von konkreten externen Repräsentationen die Konstruktion eines mentalen Modells mit einem geringeren kognitiven Aufwand verbunden sei als mit abstrakten externen Repräsentationen. Die Auswertung der kognitiven Belastung zeigt für die Interventionsgruppen weder hinsichtlich der eingeschätzten mentalen Denkanstrengung noch für die empfundenen Aufgabenschwierigkeiten signifikante Unterschiede zwischen den Interventionsgruppen. Der Zusammenhang zwischen der gewählten externen Repräsentationsform und der eingeschätzten Aufgabenschwierigkeit beim Vorbereiten und Erklären lässt sich somit nicht eindeutig auf die gewählten externen Repräsentationsformen zurückführen. Deskriptiv schätzen die Lernenden, die das Kalottenmodell wählten und die Lernenden, die mithilfe des Kalottenmodells das Phänomen erklärt bekommen haben, die mentale Denkanstrengung am höchsten ein. Diese Ergebnisse weisen ebenfalls eine Diskrepanz zu den Annahmen von Schnotz auf, dass externe Repräsentationen durch ihre hohen Ähnlichkeitsbeziehungen mit dem Referenzobjekt zur Entlastung des Arbeitsgedächtnisses bei der Konstruktion eines mentalen Modells führen.

Darüber hinaus konnten keine Zusammenhänge zwischen den gewählten externen Repräsentationsform und der Qualität des Nutzungsverhaltens beim Modellieren werden. Folglich lässt sich kein Einfluss von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen des atomaren Bereichs auf das Nutzungsverhalten, das mithilfe von unterschiedlichen Funktionen differenziert und operationalisiert wurde, bestätigen. Anhand der ermittelten Funktionen zur Beschreibung des Nutzens der externen Repräsentationen für das Erklären eines chemischen Phänomens lässt sich erkennen, dass die vorliegende Stichprobe zum größten Anteil die externen Repräsentationen für konzeptabhängige Zwecke verwendet. Anhand der Funktionen der externen Repräsentationen und der sich daraus ergebenden Zwecke kann festgehalten werden, dass mehr als die Hälfte (65 %) der Lernenden die ausgewählte externe Repräsentation als Modellobjekt *von* und *für* etwas nutzen, während ein naives Modellverständnis im Sinne einer Repräsentation als Modellobjekt *von* etwas sich für 9 % der Lernenden abzeichnet. Für ca. ein Drittel der

Lernenden (26%) können aufgrund von fehlenden Bezügen zur und Nutzung der externen Repräsentationen während des Erklärens keine Aussagen über das zugrundeliegende Modellverständnis gemacht werden, jedoch für diese Lernende eine geringe Ausprägung der geäußerten prozeduralen Repräsentationsfähigkeit festgehalten werden.

Aus den Zusammenhangsanalysen zwischen den Funktionen und dem Zuwachs der Fähigkeiten (Informationsentnahme und Fachwissen) zeigen sich deutliche Vorteile der Lernenden, die die höchstwertigsten Funktionen nutzen gegenüber denen, die die externe Repräsentation während der Erklärung nicht nutzten. Die Ergebnisse bestätigen den Vorteil der Modellbildung externen Repräsentationen gegenüber dem Lernen ohne Bezüge zu externen Repräsentationen und darüber hinaus die starke Abhängigkeit vom Zweck, für den die externe Repräsentation genutzt wird. Zusammenfassend lässt die Studie darauf zurückschließen, dass nicht die externen Repräsentationsformen an sich einen Einfluss auf den Lernprozess nehmen, sondern primär die Qualität, mit der sie im Modellierprozess zu einem erkenntnisorientierten Zweck genutzt werden.

9 Implikationen

9.1 Implikationen für die Forschung

Die Ergebnisse der beiden Studien liefern Hinweise, dass entgegen theoretischer Annahmen die als konkret beschriebenen externen Repräsentationen im Bereich Chemie nicht zwangsläufig von den Lernenden als einfacher in Bezug auf die Informationsentnahme beurteilt werden. Noch werden die konkreten externen Repräsentationen vorzugsweise für das Erklären eines chemischen Phänomens ausgewählt. Dennoch beurteilen die Lernenden die hohe Ähnlichkeit mit dem Referenzbereich und die vielen Informationen über das Referenzobjekt theoriekonform. Einige Autor*innen postulieren, dass den Lernenden die Identifikation von und Fokussierung auf die relevanten und irrelevanten Merkmale und Informationen der externen Repräsentationen nicht gelingt und sich somit schwierigkeitsfördernde Bedingungen in Bezug auf den kognitiven Verarbeitungsprozess mit den externen Repräsentationen ergeben (Gilbert, 2010; Kozma & Russell, 2005; Rau, 2017). Nachfolgende Studien könnten einen Beitrag zur Aufklärung von Eigenschaften der externen Repräsentationen, die von Lernenden als schwierigkeitsfördernde Faktoren genannt werden, detaillierter analysieren. Die Studienergebnisse könnten insbesondere für die Schulpraxis Hinweise und Informationen für die Einführung einer für die Lernenden neuen externen Repräsentationen und der Gestaltung von Lern- und Instruktionsmaterial liefern. Studie über die chemischen Strukturformeln sowie der durch die Eigenschaften und Visualisierungsformen hervorgerufenen Schwierigkeiten sind bereits Gegenstand von Studien, die diesbezüglich Hinweise liefern (Cooper et al., 2010; Graulich et al., 2019). Insbesondere für das Kalottenmodell, das seit Jahrzehnten Einzug in den naturwissenschaftlichen Unterricht und in die Disziplin gefunden hat, fehlen vergleichbare Studien, die der Frage nachgehen, welche Eigenschaften des Kalottenmodells Schwierigkeiten seitens der Lernenden hervorrufen und für welchen Zweck sich die Repräsentationsform aus Lernerperspektive als besonders geeignet erweist.

Des Weiteren konnte die vorliegende Studie an zwei Stichproben zeigen, dass es sich bei dem Fachwissen und der Informationsentnahme aus multiplen externen Repräsentationen um zwei separate Konstrukte handelt. Das bereits von Rau (2017) als Repräsentationsdilemma formulierte Problem „How can students learn new content from visual representations they do not yet fully understand, and - at the same time - learn how visual representations show content they have not yet learned?“ bietet einen Ansatz für weitere Forschungsprojekte. Wie bereits zu Beginn erläutert, sind externe Repräsentationen in den Naturwissenschaften ein unerlässlicher Bestandteil für die Wissensvermittlung und der Erkenntnisgewinnung. Trotz der Relevanz führen Forschungsstudien wiederholt die Schwierigkeiten der Lernenden im Umgang mit externen Repräsentatio-

nen an, die den Erwerb von Fachinhalten behindern können. Ausgehend von den zahlreichen Studien und Annahmen, die das Problem der starken Abhängigkeit des Umgangs mit (multiplen) externen Repräsentationen und dem Fachwissen aufzeigen, stellt sich die Frage nach Lösungsmöglichkeiten für das Repräsentationsdilemma. Die Ergebnisse der zweiten Studie zeigen, dass eine Lernumgebung, in der das Erklären mit vorgefertigten externen Repräsentationen instruiert wurde, einen positiven Einfluss auf den Lernzuwachs nimmt und einen Ausweg aus dem Repräsentationsdilemma bieten könnte. Aus der Studie ergibt sich ein Bedarf an der Entwicklung und Erprobung weiterer Lernumgebungen, in denen bspw. das Aufstellen von Hypothesen, Beobachten oder Auswerten mithilfe von externen Repräsentationen gefördert wird.

Des Weiteren deuten die Ergebnisse darauf hin, dass je stabiler das vorhandene mentale Modell der Lernenden ist, desto geringer fallen die Unterschiede zwischen der Schwierigkeit im Umgang mit den externen Repräsentationsformen aus. Aus den Studien, die das Modellieren von Experten und Novizen vergleichend gegenüberstellen, gehen ebenfalls Tendenzen hervor, die darauf hinweisen, dass ein stabiles mentales Modell einen positiven Einfluss auf die Überführung einer externen Repräsentationsform in eine andere nehmen (Kozma & Russell, 1997). Ausgehend von dieser Arbeit bietet sich eine Untersuchung der Informationsentnahme aus verschiedenen externen Repräsentationsformen sowie der Nutzung mit unterschiedlichen externen Repräsentationsformen an, in denen der Fokus auf den Vergleich von Lernenden mit instabilen und stabilen mentalen Modellen gelenkt wird.

Anhand der zweiten Studie konnte kein deutlicher Einfluss der unterschiedlichen konkreten und abstrakten externen Repräsentationsformen auf die Nutzung der externen Repräsentationen im Modellierprozess noch auf die Entwicklung des Lernzuwachses nachgewiesen werden. Die Ergebnisse der zweiten Studie liefern jedoch den Hinweis, dass nicht primär die externe Repräsentation ein entscheidender Faktor für den Lernprozess darstellt, sondern die Qualität der Nutzung der externen Repräsentation beim Modellieren. Unter Berücksichtigung der aktuellen Modellbeschreibung und der immanenten Gleichwertigkeit der Dreigliedrigkeit bestehend aus dem Modellobjekt, dem erkenntnistheoretischen Zweck sowie dem modellierenden Subjekt würde sich für darauffolgende Studie anbieten, Vermittlungs- und Problemlösestrategien für das Erklären mit externen Repräsentationen zu erproben. Die Operationalisierung der in der Repräsentationsfähigkeit allgemein gehaltenen Nutzung durch die Funktionen und der daraus resultierenden Zwecken bieten bereits eine differenzierende Grundlage. Aus der Studie von Dettweiler (2017) geht hervor, dass die Vermittlung von Wissen über Repräsentationen und ihren Modellcharakter einen positiven Einfluss auf den Lernzuwachs haben. In diesem Zusammenhang ergeben sich die Fragen, inwieweit das Wissen über die Qualität

der Nutzung von externen Repräsentationen einen Einfluss zum einen auf das Nutzungsverhalten der Lernenden selbst und zum anderen auf den Lernzuwachs hat. Im Zusammenhang mit der Unterrichtspraxis könnten von den Ergebnissen Implikationen und Vermittlungsstrategien abgeleitet werden, die bspw. nach den *Design-Based Research* Ansätzen erprobt und in den Unterricht implementiert werden.

Zudem ergeben sich aus der zweiten Studie für folgende Forschungsprojekte methodische Möglichkeiten für die Erfassung von Prozessdaten. Anhand der zweiten Studie konnte die Erfassung von Prozessdaten mithilfe von Screencast-Videos sowie die Auswertung mit dem Verfahren der Videoanalyse aufgezeigt werden. Screencast-Videos ermöglichen es mithilfe von Bildschirmaufnahmen erstellte Zeichnungen, Texte etc. aufzuzeichnen und gleichzeitig die verbalen Äußerungen der Lernenden zu audiographieren. Insbesondere im Zusammenhang mit der Anonymisierung sowie des Datenschutzes werden ohne aufwändige technische Ausstattung die forschungsrelevanten Daten im vollen Umfang zugänglich, ohne hierbei sensible Daten der Lernenden wie Bildaufnahmen aufzuzeichnen.

9.2 Implikationen für die Schulpraxis

Die Ergebnisse der ersten Studie bestätigen, dass das Fachwissen und die Informationsentnahme als zwei trennbare Konstrukte erfasst werden können. Insbesondere Lernende mit geringen Fachwissensfähigkeiten weisen ebenso niedrige Fähigkeiten in Bezug auf die Informationsentnahme auf, was wiederum die folgenden Lernprozesse negativ beeinflussen kann. Für die unterrichtliche Umsetzung kann folglich geschlossen werden, dass insbesondere für Lernenden mit niedrigem Fachwissen neben den Fachinhalten das Wissen über die Eigenschaften der externen Repräsentationen sowie die Art und Weise der Verschlüsselungen von Informationen durch diese separat und explizit vermittelt werden müssen.

Zudem zeigt die Schulbuchanalyse, dass für einen Themenbereich multiple externe Repräsentationen für die Visualisierung des atomaren Bereichs verwendet werden. Anhand der Beurteilung der Lernenden sowie dem Repräsentationstest wird jedoch deutlich, dass die Informationsentnahme aus den multiplen externen Repräsentationen nicht für alle unterschiedlichen externen Repräsentationen gleichermaßen erfolgreich ausfällt, sodass die multiplen externen Repräsentationen ein schwierigkeiterzeugender Faktor darstellen. Insbesondere für die Gestaltung von Instruktionsmaterial sollte im Sinne einer erfolgreichen Vermittlung von Fachinhalten durch externe Repräsentationen die Anzahl der genutzten Repräsentationen auf die relevantesten reduziert werden. Aus den Ergebnissen des Repräsentationstests und den Vergleichen der Itemschwierig-

keiten geht hervor, dass für das Thema der Säuren und Basen die Ionen- und Strukturformel die geringste Itemschwierigkeiten aufweisen und auch aus fachlicher Perspektive für den Themenbereich auf hohe Resonanzen stoßen.

Die Analyse des Zusammenhanges zwischen den unterschiedlichen Nutzungsverhalten der externen Repräsentationen und dem Zuwachs der Personenfähigkeiten hat gezeigt, dass die höchstwertigsten Funktionen einen positiven Einfluss auf die Entwicklung des Lernzuwachses nehmen. So geht aus der Studie hervor, dass die Art und Weise wie die externe Repräsentation in der Erklärungsphase genutzt wird einen deutlichen Zusammenhang mit dem Lernprozess zeigen und nicht die isolierte Betrachtung der gewählten externen Repräsentation. Diese Erkenntnis führt zu dem Hinweis, dass das Wissen über die externen Repräsentationen nicht ein alleiniger Faktor für einen positiven Einfluss auf den Lernerfolg darstellt, sondern den Lernenden Strategien für das Nutzen (z.B. die Funktionen) von externen Repräsentationen als erkenntnistheoretisches Werkzeug ebenso vermittelt werden müssen.

Aus der Analyse der Prozessdaten geht hervor, dass die Lernenden befähigt sind, sich Inhalte und beobachtete Phänomene auf der Grundlage von externen Repräsentationen zu erarbeiten und in Partnerarbeit in Diskursen Revisionen an ihren Erklärungsansätzen und Vorstellungen vornehmen. Für den Unterricht lässt sich schlussfolgern, dass Lernende in kooperativen Arbeitsformen mithilfe von selbst gewählten externen Repräsentationen und Vorbereitungsphasen einen gegenseitigen unterstützenden Einfluss in Modellierprozessen insbesondere in Bezug auf das Deuten bzw. Erklären einer Beobachtung haben.

Des Weiteren wurde im Rahmen der Studie unter Zuhilfenahme von überwiegend Open-Source-Programmen eine digitale Lernumgebung konzipiert, um das Beobachten und Deuten bzw. Modellieren von chemischen Phänomenen mithilfe von externen Repräsentationen zu unterstützen. Die konzipierte digitale Lernumgebung kann aufgrund der Gestaltungsprinzipien als Ausgangspunkt für andere (videografierte) Phänomene genutzt werden und wurde bereits in einer Lehrerfortbildung positiv besprochen.

10 Verzeichnisse

10.1 Literaturverzeichnis

- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33(2-3), 131–152.
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Ainsworth, S. (2008a). The educational value of multiple-representations when learning complex scientific concepts. In J. K. Gilbert, M. Reiner & M. B. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and practice in science education* (pp. 191–208). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Ainsworth, S. (2008b). How do animations influence learning? In G. Schraw & D. H. Robinson (Hrsg.), *Recent innovations in educational technology that facilitate student learning* (S. 37–67). Charlotte, North Carolina: Information Age Publishing.
- Ainsworth, S. & Labeke, N. Van. (2004). Multiple forms of dynamic representation. *Learning and Instruction*, 14(3), 241–255.
- American Educational Research Association. (2014). *Standards for educational and psychological testing*. Washington, D.C.: American Educational Research Association.
- Asselborn, W., Jäckel, M., Risch, K. T. & Sieve, B. F. (2013). *Chemie heute S I Gesamtband*. Braunschweig: Bildungshaus Schroedel.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R. (2016). *Multivariate Analysemethoden*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-46076-4>
- Barke, H.-D. & Pieper, C. (2008). Der Ionenbegriff - Historischer Spätzünder und gegenwärtiger Außenseiter. *CHEMKON*, 15(3), 119–124.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B.-S. & Silberstein, J. (1987). Student's visualisation of a chemical reaction. Research work pinpoints student difficulties in understanding chemical reactions. *Education in Chemistry*, 24(4), 117–120.
- Berg, K. de. (2011). A study of first-year chemistry students' understanding of solution concentration at the tertiary level. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 8–16.
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives*: Lonsmans Green.
- Bolte, C. & Eilks, I. (2014). *Natur und Technik - Chemie Interaktiv - Gesamtband. Differenzierende Ausgabe Nordrhein-Westfalen* (1. Aufl.). Berlin: Cornelsen.
- Bond, T. & Fox, C. (2007). *Applying the Rasch model. Fundamental measurement in the human sciences* (2. Aufl.). Mahwah, N.J: Lawrence Erlbaum Associates.
- Boone, W. J., Staver, J. R. & Yale, M. S. (2014). *Rasch analysis in the human sciences*. Dordrecht: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6857-4>

- Bortz, J. & Döring, N. (2013). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Boulter, C. J. & Buckley, B. C. (2000). Constructing a typology of models for science education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Hrsg.), *Developing models in science education* (S. 41–57). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_3
- Braaten, M. & Windschitl, M. (2011). Working toward a stronger conceptualization of scientific explanation for science education. *Science Education*, 95(4), 639–669. <https://doi.org/10.1002/sce.20449>
- Bucat, B. & Mocerino, M. (2009). Learning at the sub-micro level: Structural representations. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Hrsg.), *Multiple representations in chemical education* (Models and Modeling in Science Education, Bd. 4, S. 11–29). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_2
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (PS Psychologie, 3., aktualisierte und erw. Aufl.). München: Pearson Studium. Verfügbar unter <http://lib.myilibrary.com/detail.asp?id=404890>
- Bybee, R. W. (2002). Scientific Literacy - Mythos oder Realität. In W. Gräber, P. M. Nentwig, T. Koballa & R. Evan (Hrsg.), *Scientific Literacy - Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung* (S. 21–43). Leske + Budrich.
- Campbell, D. T. & Stanley, J. C. (2015). *Experimental and quasi-experimental designs of research*: Raventio Books.
- Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F. & Mocerino, M. (2008). An evaluation of a teaching intervention to promote students' ability to use multiple levels of representation when describing and explaining chemical reactions. *Research in Science Education*, 38, 237–248.
- Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2002). Children's responses to anomalous scientific data: How is conceptual change impeded? *Journal of Educational Psychology*, 94(2), 327–343. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.94.2.327>
- Chittleborough, G. D. & Treagust, D. F. (2009). Why models are advantageous to learning science. *Educación Química*, 20(1), 12–17. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30003-X](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30003-X)
- Clark, J. M. & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review*, 3(3), 149–210.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (Bd. 2). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Coll, R. K. & Treagust, D. F. (2001). Learners' mental models of chemical bonding. *Research in Science Education*, 31(3), 357–382.
- Cooper, M. M., Grove, N. P., Underwood, S. M. & Klymkowsky, M. W. (2010). Lost in

- Lewis structures. An investigation of student difficulties in developing representational competence. *Journal of Chemical Education*, 87(8), 869–874. <https://doi.org/10.1021/ed900004y>
- Corradi, D. M. J., Elen, J., Schraepen, B. & Clarebout, G. (2014). Understanding possibilities and limitations of abstract chemical representations for achieving conceptual understanding. *International Journal of Science Education*, 36(5), 715–734.
- Cox, J. R. & Jones, B. W. (2011). External representations in the teaching and learning of introductory chemistry. *Creative Education*, 02(05), 461–465. <https://doi.org/10.4236/ce.2011.25067>
- Creswell, J. W. (2013). *Research design. Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (2. Aufl.): SAGE Publications.
- Creswell, J. W. & Clark, V. L. P. (2006). Choosing a mixed methods design. *Designing and conducting mixed methods research*, 58–88.
- Davidowitz, B. & Chittleborough, G. D. (2009). Linking the macroscopic and sub-microscopic Levels: Diagrams. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Hrsg.), *Multiple representations in chemical education* (Models and Modeling in Science Education, Bd. 4, S. 169–191). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_9
- Demuth, R., Ralle, B. & Parchmann, I. (2005). Basiskonzepte - eine Herausforderung an den Chemieunterricht. *CHEMKON*, 12(2), 55–60.
- Derman, A., Koçak, N. & Eilks, I. (2019). Insights into components of prospective science teachers' mental models and their preferred visual representations of atoms. *Education Sciences*, 9(2), 154. <https://doi.org/10.3390/educsci9020154>
- Dettweiler, Y. (2017). *Enhancing students' knowledge by meta-conceptual instruction*. <https://doi.org/10.17619/UNIPB/1-21>
- Deutsches PISA-Konsortium. (2001). *Internationales und nationales Rahmenkonzept für die Erfassung von naturwissenschaftlicher Grundbildung in PISA*. Opladen: Leske + Budrich.
- Dickmann, T. (2019). *Visuelles Modellverständnis und Studienerfolg in der Chemie. Zwei Seiten einer Medaille*. Berlin: Logos Verlag.
- Dickmann, T., Opfermann, M., Dammann, E., Lang, M. & Rumann, S. (2019). What you see is what you learn? The role of visual model comprehension for academic success in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(4), 804–820. <https://doi.org/10.1039/C9RP00016J>
- Digel, S. (2020). *Messung von Modellierungskompetenz in Physik. Theoretische Herleitung und empirische Prüfung eines Kompetenzmodells physikspezifischer Modellierungskompetenz*. Berlin: Logos.
- DiSessa, A. A. (2004). Metarepresentation: Native competence and targets for instruction. *Cognition and Instruction*, 22(3), 293–331.

- https://doi.org/10.1207/s1532690xci2203_2
- Duit, R. H., Roth, W.-M., Komorek, M. & Wilbert, J. (2001). Fostering conceptual change by analogies - between Scylla and Charybdis. *Learning and Instruction*, 11, 283–303.
- Embretson, S. & Reise, S. (2000). *Item response theory for psychologists*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associate Publishers.
- Fechner, S. (2009). *Effects of context-oriented learning on student interest and achievement in chemistry education*. Berlin: Logos Verl.
- Field, A. (2005). *Discovering statistics using SPSS*: SAGE Publications.
- Field, A., Miles, J. & Field, Z. (2014). *Discovering statistics using R* (Repr). London: SAGE Publ. Verfügbar unter <https://books.google.de/books?id=UArB8a5oPYC>
- Fischer, E. (1894). Einfluss der Configuration auf die Wirkung der Enzyme. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, 27(3), 2985–2993.
- Fleischer, J., Koeppen, K., Kenk, M., Klieme, E. & Leutner, D. (2013). Kompetenzmodellierung: Struktur, Konzepte und Forschungszugänge des DFG-Schwerpunktprogramms. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 16(S1), 5–22. <https://doi.org/10.1007/s11618-013-0379-z>
- Francoeur, E. (1997). The forgotten tool: The design and use of molecular models. *Social Studies of Science*, 27(1997), 7–40.
- Fraser, B. J. (1981). *TOSRA. Test of science-related attitudes*. Handbook. Victoria: Australien Council for Educational Research Limited.
- Frühauf, D. & Tegen, H. (2014). *Blickpunkt Chemie 2*. Braunschweig: Bildungshaus Schroedel.
- Fyfe, E. R., McNeil, N. M., Son, J. Y. & Goldstone, R. L. (2014). Concreteness fading in mathematics and science instruction: a systematic review. *Educational Psychology Review*, 26(1), 9–25. <https://doi.org/10.1007/s10648-014-9249-3>
- Gentner, D. & Gentner, D. R. (1983). Flowing waters of teeming clouds: Mental models of electricity. In D. Gentner & A. L. Stevens (Hrsg.), *Mental models* (S. 99–129). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gentner, D. & Markman, A. B. (1997). Structure mapping in analogy and similarity. *American Psychologist*, 52(1), 45–56. <https://doi.org/10.1037//0003-066X.52.1.45>
- Gentner, D. & Stevens, A. L. (Hrsg.). (1982). *Mental models*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Giere, R. N. (1990). *Explaining science. A cognitive approach* (Science and its conceptual foundations series, Pbk. ed.). Chicago: University of Chicago Press.
- Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71(5), 742–752. <https://doi.org/10.1086/425063>
- Giere, R. N. (2005). Scientific realism: Old and new problems. *Erkenntnis*, 63(2), 149–165. <https://doi.org/10.1007/s10670-005-3224-9>
- Giere, R. N. (2010). An agent-based conception of models and scientific representation. *Synthese*, 172(2), 269–281. <https://doi.org/10.1007/s11229-009-9506-z>

- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling. Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115–130. <https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4>
- Gilbert, J. K. (2008). Visualisation: An emergent field of practice and enquiry in science education. In J. K. Gilbert, M. Reiner & M. B. Nakhleh (Hrsg.), *Visualization: Theory and practice in science education* (S. 3–24). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Gilbert, J. K. (2010). The role of visual representations in the learning and teaching of science: An introduction. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and teaching*, 11(1), 1–19.
- Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (Hrsg.). (2000). *Developing models in science education*. Dordrecht: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1>
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J. & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Hor- ses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83–97. <https://doi.org/10.1080/0950069980200106>
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J. & Rutherford, M. (2000). Explanations with models in science education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Hrsg.), *Developing models in science educa- tion* (S. 193–208). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_10
- Gilbert, J. K. & Justi, R. S. (2016). *Modelling-based teaching in science education* (Bd. 9). Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3>
- Gilbert, J. K., Pietrocola, Mauricio, Zylbersztajn, A. & Franco, C. (2000). Science and edu- cation: Notions of reality, theory and model. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Hrsg.), *Developing models in science education* (S. 19–40). Springer Science + Business Me- dia, B.V.
- Gilbert, J. K., Reiner, M. & Nakhleh, M. B. (Hrsg.). (2008). *Visualization: Theory and prac- tice in science education*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Gilbert, J. K. & Treagust, D. F. (2009). Introduction: Macro, submicro and symbolic re- presentations and the relationship between them: Key models in chemical education. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Hrsg.), *Multiple representations in chemical education* (Models and Modeling in Science Education, Bd. 4, S. 1–8). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_1
- Gonzales, E., Tan, J. & Morrow-Howell, N. (2010). Assessment of the refined aging se- mantic differential: Recommendations for enhancing validity. *Journal of Gerontologi- cal Social Work*, 53(4), 304–318. <https://doi.org/10.1080/01634371003715791>
- Gonzalez, E. J. & Rutkowski, L. (2010). Principles of multiple matrix booklet designs and parameter recovery in large-scale assessments. In M. von Davier & D. Hastedt (Hrsg.), *IERI monograph series: Issues and methodologies in large-scale assessments: Volume 3* (S. 125–156).

- Gouvea, J. & Passmore, C. (2017). 'Models of' versus 'Models for'. *Science & Education*, 26(1-2), 49–63. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9884-4>
- Gräber, W. (1992). Untersuchungen zum Schülerinteresse an Chemie und Chemieunterricht. *Chemie in der Schule*, 39, 270–273.
- Gräber, W. & Nentwig, P. M. (2002). Scientific Literacy - Naturwissenschaftliche Grundbildung in der Diskussion. In W. Gräber, P. M. Nentwig, T. Koballa & R. Evan (Hrsg.), *Scientific Literacy - Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung* (S. 21–44). Leske + Budrich.
- Graulich, N., Hedtrich, S. & Harzenetter, R. (2019). Explicit versus implicit similarity – exploring relational conceptual understanding in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(4), 924–936. <https://doi.org/10.1039/C9RP00054B>
- Greca, I. M. & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/095006900289976>
- Grosslight, L., Unger, C. & Jay, E. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Education*, 22(9), 799–822.
- Grünkorn, J. (2014). *Modellkompetenz im Biologieunterricht*. Freie Universität Berlin (FU Berlin).
- Hacking, I. (1986). *Representing and intervening: Introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Haladyna, T. M. (2004). *Developing and validating multiple-choice test items*: Lawrence Erlbaum Associate Publishers.
- Hammann, M. (2004). Kompetenzentwicklungsmodelle. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 4(57), 196–203.
- Harbach, A. (2013). *Problemorientierung und Vernetzung in kontextbasierten Lernaufgaben* (Bd. 149). Berlin: Logos Verlag.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011–1026.
- Hartig, J. (2007). Skalierung und Definition von Kompetenzniveaus. In B. Beck, E. Klieme, Bärbel Beck & Eckhard Klieme (eds.), *Sprachliche Kompetenzen. Konzepte und Messung: DESI-Studie (Deutsch Englisch Schülerleistungen International)* (Beltz-Pädagogik, S. 83–99). Weinheim: Beltz Verlag.
- Held, C., Knauff, M. & Vosgerau, G. (Eds.). (2006). *Mental models and the mind. Current developments in cognitive psychology, neuroscience, and philosophy of mind* (Advances in Psychology, vol. 138, 1st ed.). Amsterdam: Elsevier.
- Heller, K. A. & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen*: Beltz Testgesellschaft.
- Hempel, C. G. & Oppenheim, P. (1948). Studies in the logic of explanation. *Philosophy of*

- Science*, 15(2), 135–175.
- Henze, I., Driel, J. H. van & Verloop, N. (2007). Science teachers' knowledge about teaching models and modelling in the context of a new syllabus on public understanding of science. *Research in Science Education*, 37(2), 99–122. <https://doi.org/10.1007/s11165-006-9017-6>
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship. An exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541–562. <https://doi.org/10.1080/0950069920140506>
- Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M. & Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing students' ability to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(4), 791–806.
- Jaakkola, T. S. & Veermans, K. (2015). Effects of abstract and concrete simulation elements on science learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31(4), 300–313. <https://doi.org/10.1111/jcal.12089>
- Jacobs, J. K., Kawanaka, T. & Stigler, J. W. (1999). Integrating qualitative and quantitative approaches to the analysis of video data on classroom teaching. *International Journal of Educational Research*, 31(8), 717–724.
- Jansen, S., Knippels, M.-C. P. J. & Joolingen, W. R. van. (2019). Assessing students' understanding of models of biological processes: a revised framework. *International Journal of Science Education*, 41(8), 981–994. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1582821>
- Johnson-Laird, P. N. (1980). Mental models in cognitive science. *Cognitive science*, 4, 71–115.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models. Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2010). Mental models and human reasoning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(43), 18243–18250. <https://doi.org/10.1073/pnas.1012933107>
- Johnstone, A. H. (1982). Macro and microchemistry. *Chemistry in Britain*, 18(6), 409–410.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching. A changing response to a changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701–705.
- Johnstone, A. H. (2000). Chemical education research: Where from here? *University Chemistry Education*, 4(1), 34–38.
- Johnstone, A. H., Bahar, M., Prokop, P., Sozbilir, Çalık, M. & Bag, F. (2009). International journal of environmental and science education, 4(2).
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369–387. <https://doi.org/10.1080/09500690110110142>

- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369–1386. <https://doi.org/10.1080/0950069032000070324>
- Kalyuga, S., Chandler, P., Touvinen, J. & Sweller, J. (2001). When Problem Solving is Superior to Studying Worked Examples. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 579–588.
- Kane, M. T. (2016). Validation strategies: Delineating and validating proposed interpretations and uses of test scores. In S. Lane, M. R. Raymon & T. M. Haladyna (Hrsg.), *Handbook of test development* (2. Aufl., S. 64–80). New York: Routledge.
- Kawaf, F. (2019). Capturing digital experience: The method of screencast videography. *International Journal of Research in Marketing*, 36(2), 169–184.
- Khadka, J., Huang, J., Chen, H., Chen, C., Gao, R., Bao, F. et al. (2016). Assessment of cataract surgery outcome using the modified catquest short-form instrument in China. *PloS One*, 11(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164182>
- Kind, P. M. & Osborne, J. F. (2017). Styles of scientific reasoning: a cultural rationale for science education? *Science Education*, 101(1), 8–31. <https://doi.org/10.1002/sce.21251>
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive science*, 12(1), 1–48. [https://doi.org/10.1016/0364-0213\(88\)90007-9](https://doi.org/10.1016/0364-0213(88)90007-9)
- Knuuttila, T. (2005). *Models as epistemic artefacts: Toward a non-representationalist account of scientific Representation*. Vantaa: EditaPrima Oy.
- Knuuttila, T. (2011). Modelling and representing. An artefactual approach to model-based representation. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 42(2), 262–271. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2010.11.034>
- Koenen, J., Emden, M. & Sumfleth, E. (Hrsg.). (2016). *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung*. Münster: Waxmann.
- Koltun, W. L. (1965). Precision space-filling atomic models, 6(3), 665–679.
- Kozma, R. B. & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949–968.
- Kozma, R. B. & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (Models and Modeling in Science Education, vol. 1, pp. 121–145). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_8
- Krapp, A. & Prenzel, M. (1992). *Interesse, Lernen, Leistung: Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung*: Aschendorff.
- Krapp, A., Schiefele, U. & Schreyer, I. (1993). Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, XXV(2), 120–148.

- Krell, M. & Krüger, D. (2017). University students' meta-modelling knowledge. *Research in Science & Technological Education*, 35(3), 261–273. <https://doi.org/10.1080/02635143.2016.1274724>
- Krell, M., Upmeyer zu Belzen, A. & Krüger, D. (2014). Students' levels of understanding models and modelling in biology: Global or aspect-dependent? *Research in Science Education*, 44(1), 109–132. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9365-y>
- Krell, M., Walzer, C., Hergert, S. & Krüger, D. (2019). Development and application of a category system to describe pre-service science teachers' activities in the process of scientific modelling. *Research in Science Education*, 49(5), 1319–1345. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9657-8>
- Krey, O. & Schwanewedel, J. (2018). Lernen mit externen Repräsentationen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 159–175). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_10
- Krüger, D., Kauertz, A. & Upmeyer zu Belzen, A. (2018). Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (Bd. 17, S. 141–157). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_9
- Kuckartz, U. (2014). *Mixed Methods. Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren* (Aufl. 2014). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Kultusministerkonferenz. (2005). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. Heusenstamm: Wilhelm & Adam.
- Lichtenthaler, F. W. (1994). Hundert Jahre Schlüssel-Schloß-Prinzip: Was führte Emil Fischer zu dieser Analogie? *Angewandte Chemie*, 104, 2456–2467.
- Lin, Y. I., Son, J. Y. & Rudd, J. A. (2016). Asymmetric translation between multiple representations in chemistry. *International Journal of Science Education*, 38(4), 644–662. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1144945>
- Lotz, M., Gabriel, K. & Lipowsky, F. (2013). Niedrig und hoch inferente Verfahren der Unterrichtsbeobachtung. Analysen zu deren gegenseitiger Validierung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 59(3), 357–380.
- Louca, L. T. & Zacharia, Z. C. (2012). Modeling-based learning in science education: Cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. *Educational Review*, 64(4), 471–492.
- Luisi, P.-L. & Thomas, R. M. (1990). The pictographic molecular paradigm. *Naturwissenschaften*, 77(2), 67–74.
- Mahaffy, P. (2004). The future shape of chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 229–245.
- Mahr, B. (2004). *Das Wissen im Modell. KIT-Report Nr. 150*. Berlin: Technische Universität.

- Mahr, B. (2008). Cargo. Zum Verhältnis von Bild und Modell. In I. Reichle, S. Siegel & A. Spelten (Hrsg.), *Visuelle Modelle* (S. 17–40). München: Wilhelm Fink.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 177–186). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32(1), 1–19. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3201_1
- Mayer, R. E. (Hrsg.). (2014). *Cambridge handbook of multimedia learning* (2. Aufl.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse Grundlagen und Techniken* (11. Aufl.). Weinheim und Basel: Beltz.
- Meisert, A. (2008). Vom Modellwissen zum Modellverständnis - Elemente einer umfassenden Modellkompetenz und deren Fundierung durch lernerseitige Kriterien zur Klassifikation von Modellen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 243–261.
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2014). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Chemie*.
- Mocerino, M., Chandrasegaran, A. L. & Treagust, D. F. (2009). Emphasizing multiple levels of representation to enhance students' understandings of the changes occurring during chemical reactions. *Journal of Chemical Education*, 86(12), 1433. <https://doi.org/10.1021/ed086p1433>
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*: Springer-Verlag.
- Morrison, M. & Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments. In M. S. Morgan & M. Morrison (Hrsg.), *Models as mediators* (S. 10–37). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511660108.003>
- Nehring, A., Nowak, K. H., Belzen, A. U. zu & Tiemann, R. (2015). Predicting students' skills in the context of scientific inquiry with cognitive, motivational, and sociodemographic variables. *International Journal of Science Education*, 37(9), 1343–1363. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1035358>
- Nehring, A., Päßler, A. & Tiemann, R. (2017). The complexity of teacher questions in chemistry classrooms. An empirical analysis on the basis of two competence models. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(2), 233–250. <https://doi.org/10.1007/s10763-015-9683-9>
- Nehring, A., Stiller, J., Nowak, K. H., Upmeyer zu Belzen, A. & Tiemann, R. (2016). Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Chemieunterricht – eine modellba-

- sierte Videostudie zu Lerngelegenheiten für den Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 77–96. <https://doi.org/10.1007/s40573-016-0043-2>
- Nerdel, C. (2017). *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53158-7>
- Neumann, K. (2014). Rasch-Analyse naturwissenschaftsbezogener Leistungstests. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 355–369). Berlin: Springer.
- Neumann, K., Fischer, H. E. & Kauertz, A. (2010). From PISA to educational standards: The impact of large-scale assessments on science education in Germany. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(3), 545–563.
- Neumann, K., Kauertz, A., Lau, A., Notarp, H. & Fischer, H. E. (2007). Die Modellierung physikalischer Kompetenz und ihrer Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13(p103-123; 300 KB), 103.
- Nicolaou, C. T. & Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52–73. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>
- Nitz, S. & Fechner, S. (2018). Mentale Modelle. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (Bd. 10, S. 69–86). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_5
- Nitz, S., Nerdel, C. & Pechtl, H. (2012). Entwicklung eines Erhebungsinstruments zur Erfassung der Verwendung von Fachsprache im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18(p117-139), 117–139.
- Oh, P. S. & Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130.
- Oliveira, D. K. B. S., Justi, R. S. & Mendonça, P. C. C. (2015). The use of representations and argumentative and explanatory situations. *International Journal of Science Education*, 37(9), 1402–1435. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1039095>
- Osgood, C. E. (1964). Semantic differential technique in the comparative study of cultures. *American Anthropologist*, 66(3), 171–200.
- Paas, F. G. W. C. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 429–434.
- Paas, F. G. W. C., Tuovinen, J. E., Tabbers, H. & Gerven, P. W. M. van. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63–71. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_8
- Rapp, D. N. & Kurby, C. A. (2008). The ‘ins’ and ‘outs’ of learning: Internal representations and external visualizations. In J. K. Gilbert, M. Reiner & M. B. Nakhleh (Hrsg.),

- Visualization: Theory and practice in science education* (S. 29–52). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5267-5_2
- Rau, M. A. (2017). Conditions for the effectiveness of multiple visual representations in enhancing STEM learning. *Educational Psychology Review*, 29(4), 717–761. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9365-3>
- Rheinberg, F. & Wendland, M. (2003). *Komponenten der Lernmotivation in Mathematik*. Abschlussbericht: Universität Potsdam.
- Ropohl, M. (2010). *Modellierung von Schülerkompetenzen im Basiskonzept Chemische Reaktion. Entwicklung und Analyse von Testaufgaben*. Universität Duisburg-Essen, Duisburg-Essen. Zugriff am 21.10.2016. Verfügbar unter <https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=D7hRG-BbbhS4C&oi=fnd&pg=PA5&dq=modellierung+von+sch%C3%BClerkompetenzen+im+Basiskonzept+chemischer+Reaktion.+Entwicklung+und+Analyse+von+Testaufgaben&ots=Su43OmJcvc&sig=IC8L7lhOe4IMjzcdhYgH3cdITSQ#v=one-page&q=modellierung%20von%20sch%C3%BClerkompetenzen%20im%20Basiskonzept%20chemischer%20Reaktion.%20Entwicklung%20und%20Analyse%20von%20Testaufgaben&f=false>
- Ross, B. & Munby, H. (1991). Concept mapping and misconceptions: A study of high-school students' understandings of acids and bases. *International Journal of Science Education*, 13(1), 11–23.
- Rost, J. (2004). *Lehrbuch Testtheorie - Testkonstruktion*. Bern: Hans Huber Verlag.
- Rumelhart, D. E. & Norman, D. A. (1981). Analogical processes in learning. In J. R. Anderson (Hrsg.), *Cognitive skills and their acquisition* (S. 335–360). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25, 54–67.
- Sanger, M. J. (2005). Evaluating students' conceptual understanding of balanced equations and stoichiometric ratios using a particulate drawing. *Journal of Chemical Education*, 82(1), 131–134.
- Schaper, N. (2014). Validitätsaspekte von Kompetenzmodellen und -tests für hochschulische Kompetenzdomänen. In F. Musekamp & G. Spöttl (Hrsg.), *Kompetenz im Studium und in der Arbeitswelt. Nationale und internationale Ansätze zur Erfassung von Ingenieurkompetenzen* (S. 21–48).
- Schecker, H. & Parchmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 45–66.
- Scheid, J., Müller, A., Hettmannsperger, R. & Kuhn, J. (2017). Erhebung von repräsentationaler Kohärenzfähigkeit von Schülerinnen und Schülern im Themenbereich Strahlenoptik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 181–203. <https://doi.org/10.1007/s40573-017-0065-4>

- Schiepe-Tiska, A., Rönnebeck, S., Schöps, K., Neumann, K., Schmidtner, S., Parchmann, I. et al. (2016). Naturwissenschaftliche Kompetenz in PISA 2015 - Ergebnisse des internationalen Vergleichs mit einem modifizierten Testansatz. In K. Reiss, C. Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme, O. Köller, Reiss et al. (Hrsg.), *PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation* (S. 45–98). Münster: Waxmann.
- Schnotz, W. (2001). Wissenserwerb mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft*, 29(4), 292–313.
- Schnotz, W. (2002). Towards an integrated view of learning from text and visual displays. *Educational Psychology Review*, 14(1), 101–120. <https://doi.org/10.1023/A:1013136727916>
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141–156. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(02\)00017-8](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00017-8)
- Schnotz, W. & Lowe, R. (2003). External and internal representations in multimedia learning. *Learning and Instruction*, 13(2), 117–123.
- Schulte-Coerne, R., Sieve, B. F. & Walory, M. (2014). *Chemie Heute SII. Qualifikationsphase*. Braunschweig: Bildungshaus Schroedel.
- Schwarz, C. V. & Gwekwerere, Y. N. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. *Science Education*, 91(1), 158.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D. et al. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling. Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Seidel, T. (2005). Video analysis strategies of the IPN video study - A methodological overview. In T. Seidel, M. Prenzel & M. Kobarg (Hrsg.), *How to run a video study. Technical report of the IPN video study*. Münster: Waxmann.
- Shadish, W. R., Cook, T. D. & Campbell, D. T. (2002). *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*: Houghton-Mifflin.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien: Springer.
- Stachowiak, H. (1980). Der Modellbegriff in der Erkenntnistheorie. *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, 11(1), 53–68.
- Steinbuch, K. (Hrsg.). (1977). *Denken in Modellen*. Braunschweig: Westermann.
- Stevens, J. P. (2002). *Applied multivariate statistics for the social sciences* (4. Aufl.). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Stiller, J. (2015). *Scientific Inquiry im Chemieunterricht - Eine Videoanalyse zur Umsetzung von Erkenntnisgewinnungsprozessen im internationalen und schulstufenübergreifenden Vergleich*.

- Suárez, M. (2003). Scientific representation against similarity and isomorphism. *International Studies in the Philosophy of Science*, 17(3), 225–244. <https://doi.org/10.1080/0269859032000169442>
- Sweller, J., Merriënboer, J. J. G. van & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296.
- Taber, K. S. (2013). Three levels of chemistry educational research. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 14(2), 151.
- Taber, K. S. & Watts, M. (2000). Learner's explanations for chemical phenomena. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 1(3), 329–353. <https://doi.org/10.1039/B0RP90015J>
- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic. The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education*, 33(2), 179–195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>
- Taskin, V., Bernholt, S. & Parchmann, I. (2015). An inventory for measuring student teachers' knowledge of chemical representations. Design, validation, and psychometric analysis. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(3), 460–477.
- Tegen, H. (2014). *Natur Plus Gesamtband Chemie*. Braunschweig: Bildungshaus Schroedel.
- Terzer, E. (2013). *Modellkompetenz im Kontext Biologieunterricht - Empirische Beschreibung von Modellkompetenz mithilfe von Multiple-Choice Items*, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät I. Zugriff am 04.02.2020. Verfügbar unter <https://e-doc.hu-berlin.de/handle/18452/17303>
- Treagust, D. F. & Chittleborough, G. D. (2001). Chemistry: A matter of understanding representations. In J. E. Brophy (Ed.), *Subject-specific instructional methods and activities* (Advances in research on teaching, v. 8, 1st ed., pp. 239–267). Amsterdam: JAI.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D. & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357–368.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D. & Mamiala, T. L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353–1368.
- Trier, U. & Belzen, A. U. zu. (2009). „Wissenschaftler nutzen Modelle, um etwas Neues zu entdecken, und in der Schule lernt man einfach nur, dass es so ist. Schülervorstellungen zu Modellen. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 8, 23–38.
- Upmeyer zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41–57.
- Vaus, D. de. (2002). *Analyzing social science data: 50 key problems in data analysis*. London: Sage Publication.
- Vosniadou, S. (2002). Mental models in conceptual development. In L. Magnani & N. J. Nersessian (Eds.), *Model-based reasoning. Science, Technology, Values* (pp. 353–

- 368). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0605-8_20
- Waldrip, B. & Prain, V. (2012). Learning from and through representations in science. In B. J. Fraser, K. G. Tobin & C. J. McRobbie (Hrsg.), *Second international handbook of science education* (Springer International Handbooks of Education, Bd. 24, Bd. 16, S. 145–155). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_12
- Walpuski, M., Kampa, N., Kauertz, A. & Wellnitz, N. (2008). Evaluation der Bildungsstandards in den Naturwissenschaften. *MNU*, 61(6), 323–326.
- Walpuski, M. & Sumfleth, E. (2007). Strukturierungshilfen und Feedback zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Chemieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 181–198.
- Wang, W.-C. & Chen, C.-T. (2016). Item parameter recovery, standard error estimates, and fit statistics of the winsteps program for the family of Rasch models. *Educational and Psychological Measurement*, 65(3), 376–404. <https://doi.org/10.1177/0013164404268673>
- Weinert, F. E. (2001). Vergleichende Leistungsmessungen in Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (S. 17–31). Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Wellnitz, N., Fischer, H. E., Kauertz, A., Mayer, J., Neumann, I., Pant, H. A. et al. (2012). Evaluation der Bildungsstandards - eine fächerübergreifende Testkonzeption für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 261–291.
- Wellnitz, N. & Mayer, J. (2013). Erkenntnismethoden in der Biologie – Entwicklung und Evaluation eines Kompetenzmodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 315–345.
- White, B. Y. & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition. Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16(1), 3–118. https://doi.org/10.1207/s1532690xci1601_2
- Wilson, M. (2005). *Construction measures: An item response modeling approach*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wirtz, M. & Caspar, F. (2002). *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität. Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Kategoriensystemen und Ratingskalen*. Göttingen: Hogrefe.
- Wu, H.-K. & Puntambekar, S. (2012). Pedagogical affordances of multiple external representations in scientific processes. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 754–767.
- Wu, H.-K. & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465–492.
- Zander, S. (2010). *Motivationale Lernervoraussetzungen in der Cognitive Load Theory*. Berlin: Logos Verlag.

10.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Zusammenfassende Darstellung der Annahmen des theoretical approach	9
Abbildung 2. Diagramm zum epistemischen Muster des Modellseins (adaptiert nach Mahr, 2008, S.31)	12
Abbildung 3. Agent-based Konzeptualisierung des Modellbegriffes (adaptiert nach Goevea & Passmore, 2017, S. 54)	14
Abbildung 4. Chemiespezifische multiple externe Repräsentationen anhand des Beispiels eines Ethanmoleküls	17
Abbildung 5. Übersicht über die Beziehung der Ebenen zu dem realen Referenzobjekt und den Repräsentationen anhand eines Beispiels (basierend auf Davidowitz & Chittleborough, 2009, S. 172) ...	23
Abbildung 6. Funktionen multipler externer Repräsentationen im Lernprozess nach der DeFT Taxonomie (adaptiert nach Ainsworth, 2008, S. 196)	29
Abbildung 7. Zusammenfassende Übersicht über depiktive und deskriptive Repräsentationen nach Schnotz (2002)	31
Abbildung 8. Schematische Darstellung der kognitiven Verarbeitung von depiktiven und deskriptiven externen Repräsentationen (adaptiert nach Schnotz, 2001, S. 306)	34
Abbildung 9. A model of modelling framework (adaptiert nach Justi & Gilbert, 2002a, S. 371)	37
Abbildung 10. Prozessschema zum naturwissenschaftlichen Modellieren (adaptiert nach Krell et. al., 2019, S. 1321)	38
Abbildung 11. Facetten der Modellkompetenz und entsprechende Wechselwirkungen (nach Meisert, 2008, S. 245)	39
Abbildung 12. Übersicht über die Testinstrumente der ersten Studie	70
Abbildung 13. Concept-Map zu Säuren und Basen (adaptiert und übersetzt nach Ross und Munby, 1991, S. 13)	73
Abbildung 14. Beispielitems aus dem Fachwissenstest	74
Abbildung 15. Schema zu den Schritten der Schulbuchanalyse	76
Abbildung 16. Beispiele für die Ionenschreibweise und Summenformel in Schulbüchern (Frühauf & Tegen, 2014, S. 101; Schulte-Coerne et al., 2014, S. 88)	79
Abbildung 17. Beispiele für die Verwendung von Wörtern als externe Repräsentationen in Schulbüchern (Asselborn et al., 2013, S. 329; Tegen, 2014, S. 296)	79
Abbildung 18. Beispiel für die Strukturformel in Schulbüchern (Frühauf & Tegen, 2014, S. 96)	79
Abbildung 19. Beispiele für das Kalottenmodell in Schulbüchern (Asselborn, Jäckel, Risch & Sieve, 2013, S. 331; Schulte-Coerne, Sieve & Walory, 2014, S. 82)	81
Abbildung 20. Beispiel für zwei Repräsentationsitems, die auf dem gleichen Fachwissensitem basieren	83
Abbildung 21. Exemplarische Items zur lernerorientierten Merkmalsvalidierung von konkreten und abstrakten externen Repräsentationen	88
Abbildung 22. ICCs dreier Items mit unterschiedlichen Itemschwierigkeiten (adaptiert von Moosbrugger & Kelava, 2012, S. 238)	94
Abbildung 23. Gegenüberstellung der t- und wMNSQ- Werte der Fachwissensitems ($N_{\text{Items}} = 33$)	103
Abbildung 24. Gegenüberstellung der t- und wMNSQ- Werte der Fachwissensitems ($N_{\text{Items}} = 32$)	104
Abbildung 25. Gegenüberstellung der t- und wMNSQ- Werte der Repräsentationsitems ($N_{\text{Items}} = 48$) ..	106
Abbildung 26. Wright Map - Verteilung der Fachwissensitems aus der Haupterhebung $N_{\text{Items}} = 28$ (S = Säuren, B = Basen, N = Neutralisation, P = pH-Wert)	113
Abbildung 27. Wright Map – Verteilung der Repräsentationsitems $N_{\text{Items}} = 48$	115
Abbildung 28. Mittelwerte der Repräsentationsitems getrennt nach den externen Repräsentationsformen	116
Abbildung 29. Mittlere Itemschwierigkeiten der Repräsentationsitems getrennt nach den Gruppen und Stichproben WS 17/18 und WS 19/20	117

Abbildung 30. Polaritätsprofil für die konkreten und abstrakten externen Repräsentationen	120
Abbildung 31. Mittelwerte der Skalen für die Kategorien konkret und abstrakt.....	121
Abbildung 32. Mittelwerte der Skalen für die zugrundeliegenden Inhalte.....	122
Abbildung 33. Mittelwerte der Skalen für die Kategorien konkret und abstrakt getrennt nach Gruppen.....	124
Abbildung 34. Schematische Beschreibung der Gruppenzusammensetzung	134
Abbildung 35. Integrierte Strategie eines Mixed-Methods Ansatzes (basierend auf Creswell & Clark, 2006)	137
Abbildung 36. Ausschnitt aus der digitalen Lernumgebung: Menü	141
Abbildung 37. Skizze über die Arbeitsphasen der Lerneinheit.....	141
Abbildung 38. Ausschnitt aus der digitalen Lernumgebung: Übung	142
Abbildung 39. Ausschnitt aus der digitalen Lernumgebung: OpenBoard Datei zur Übung	142
Abbildung 40. Ausschnitt aus der digitalen Lernumgebung: Videos	143
Abbildung 41. Übersicht über die Videosegmente.....	144
Abbildung 42. Screenshots aus dem Segment Vergleich für beide Versuche	146
Abbildung 43. Ausschnitt aus der digitalen Lernumgebung: Auswahl der externen Repräsentationen..	148
Abbildung 44. OpenBoard Datei zur ausgewählten Strukturformel für die Vorbereitung der Erklärung (Neutralisation)	149
Abbildung 45. Ausschnitt aus der digitalen Lernumgebung: Hinweis	152
Abbildung 46. Instrumente.....	153
Abbildung 47. Auszug aus dem Kodiermanual: Oberflächenstruktur	163
Abbildung 48. Auszug aus dem Kodiermanual; Tiefenstruktur; Funktionen	164
Abbildung 49. Auszug aus dem Kodiermanual: Tiefenstruktur; Vermitteltes Konzeptwissen	166
Abbildung 50. Prozentuale Verteilung der gewählten externen Repräsentationsform.....	173
Abbildung 51. Prozentuale Verteilung der gewählten Repräsentationsformen nach Versuch.....	173
Abbildung 52. Prozentuale Verteilung der Kategorien Begründung	175
Abbildung 53. Mittlerer Zuwachs der Personenfähigkeiten im Fachwissen (Gesamtstichprobe N = 80)	178
Abbildung 54. Mittlerer Zuwachs der Personenfähigkeiten im Fachwissen differenziert nach Interventionsgruppen.....	179
Abbildung 55. Mittlerer Zuwachs der Personenfähigkeiten im Repräsentationstest (Gesamtstichprobe N = 80).....	180
Abbildung 56. Mittlerer Zuwachs der Personenfähigkeiten im Repräsentationstest getrennt nach den Interventionsgruppen.....	181
Abbildung 57. Mittlere Itemschwierigkeiten der Itemgruppen zu Prä- und Post	183
Abbildung 58. Häufigkeitsverteilung der Kategorien Funktionen (insgesamt 154 kodierte Ereignisse) ...	185
Abbildung 59. Anzahl der Lernenden für die zugeordneten Funktionen	186
Abbildung 60. Verteilung der Funktionen auf die gewählten externen Repräsentationen	187
Abbildung 61. Mentale Denkanstrengung und Aufgabenschwierigkeit beim Erklären differenziert nach gewählter Repräsentation.....	189
Abbildung 62. Mittelwerte der Personenfähigkeiten im Fachwissen differenziert nach dem Zweck der externen Repräsentation.....	193
Abbildung 63. Mittelwerte der Personenfähigkeiten zur Informationsentnahme differenziert nach dem Zweck der externen Repräsentation	193

10.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Übersicht der Modi externer Repräsentationen nach Boulter & Buckley (2000), Gilbert (2004), Wu & Puntambekar (2012).....	26
Tabelle 2. Standards für den Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung (KMK, 2005, S. 12).....	46
Tabelle 3. Modelle in den Phasen der Erkenntnisgewinnung	49
Tabelle 4. Kompetenzmodell der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger, 2010, S. 53 ...	53
Tabelle 5. Übersicht über die Ansätze zur Struktur der Repräsentationskompetenz und der Teilfähigkeiten	57
Tabelle 6. Ergebnisse der Schulbuchanalyse	78
Tabelle 7. Ähnlichkeitsbeziehung zwischen externen Repräsentationen und dem atomaren Bereich (Gilbert, 2008, S. 10).....	80
Tabelle 8. Verteilung der externen Repräsentationen des atomaren Bereichs auf die Fachwissensitems	82
Tabelle 9. Verteilung der Repräsentationsitems auf die vier Blöcke.....	84
Tabelle 10. Kombination der Blöcke zu vier Testheften	85
Tabelle 11. Indikatoren für die Merkmalsvalidierung von konkreten und abstrakten Repräsentationen ..	87
Tabelle 12. Stichprobenumfang und drop-out Quote der ersten Studie	90
Tabelle 13. Übersicht über die Studiengänge der Stichprobe	91
Tabelle 14. Übersicht über die Modellparameter des Fachwissenstests in der ersten Pilotierung	102
Tabelle 15. Übersicht über die Modellparameter der Fachwissenstests in der zweiten Pilotierung ($N_{\text{Items}} = 32$).....	103
Tabelle 16. Übersicht über die Modellmerkmale des Fachwissenstests in der Haupterhebung ($N_{\text{Items}} = 28$)	105
Tabelle 17. Übersicht über die Modellmerkmale der Repräsentationsitems in der Pilotierung ($N_{\text{Items}} = 25$)	105
Tabelle 18. Modellmerkmale der Repräsentationsitems in der Haupterhebung ($N_{\text{Items}} = 48$)	107
Tabelle 19. Modellmerkmale für das eindimensionale Rasch-Modell getrennt nach den Stichproben ..	108
Tabelle 20. Ergebnisse der Komponentenanalyse mit Varimax-Rotation der Items aus dem Semantischen Differential.....	109
Tabelle 21. Übersicht über die Skalen zur Erfassung der Merkmalszuordnung	110
Tabelle 22. Übersicht über die interne Konsistenz der Subskalen getrennt nach konkret und abstrakt ..	110
Tabelle 23. Modellvergleich für die Fachwissens- und Repräsentationsitems	111
Tabelle 24. Überprüfung des Modellvergleichs für die Fachwissens- (ohne pH-Items) und Repräsentationsitems.....	112
Tabelle 25. Mittlere Personenfähigkeiten im Fachwissen nach den Studiengängen	114
Tabelle 26. Mittelwertvergleiche für die einzelnen Attribute des Semantischen Differentials	121
Tabelle 27. Stichprobenumfang und der Drop-out Quote der zweiten Studie	139
Tabelle 28. Ziele für die Lerneinheit.....	140
Tabelle 29. Vergleich der Videolängen und Segmente.....	147
Tabelle 30. Übersicht über die Items zur Erfassung von Interesse und Motivation.....	157
Tabelle 31. Kennwerte der Subskalen Interesse und Motivation	157
Tabelle 32. Modellmerkmale für den Fachwissenstest zum Prä- und Post-Testzeitpunkt ($N_{\text{Items}} = 27$) ...	159
Tabelle 33. Modellmerkmale für den Repräsentationstest zum Prä- und Post-Testzeitpunkt ($N_{\text{Items}} = 48$)	161
Tabelle 34. Modellvergleich für die Fachwissens- und Repräsentationsitems (zweite Studie)	162
Tabelle 35. Interrater-Reliabilität für die Variablen der Oberflächenstruktur	168
Tabelle 36. Interrater-Reliabilität für die Variablen der Tiefenstruktur	168
Tabelle 37. Mittelwerte der Variablen nach bearbeiteten Phänomenen	172

10 Verzeichnisse

Tabelle 38. Mittelwerte der Kontrollvariablen (Kognitive Fähigkeiten)	176
Tabelle 39. Mittelwerte der Kontrollvariablen (Interesse und Motivation)	177
Tabelle 40. Zuwachs der mittleren Personenfähigkeiten im Fachwissen getrennt nach Interventionsgruppen.....	180
Tabelle 41. Mittlere Personenfähigkeiten und Wilcoxon-Test getrennt nach Interventionsgruppen	182
Tabelle 42. Ergebnisse der Korrelationsanalysen	191

10.4 Formelverzeichnis

Formel 1. Modellgleichung des Rasch-Modells.....	93
Formel 2. Umformung der Likelihood-Funktion in Deviance (Field, Miles & Field, 2014, S. 316)	98
Formel 3. Formeln der Prüfgrößen AIC, BIC und CAIC (Rost, 2004, S. 242–344).....	99

11 Anhang

I.	Verzeichnisse	232
i.	Tabellenverzeichnis.....	232
ii.	Abbildungsverzeichnis	232
II.	Hinweise zur CD (Anhang in Abgabeverision auf CD)	232
III.	Repräsentationsitems	233
IV.	Semantisches Differential	247
V.	Analyse der Prozessdaten.....	255
i.	Kodierhandbuch für die Analyse der Screencast-Videos.....	255
ii.	Zusammenfassende Inhaltsanalyse (Begründung)	268
VI.	Überprüfung der Voraussetzungen statistischer Verfahren	272
i.	Erste Studie	272
i.	Zweite Studie	273
VII.	Publikationen und Vorträge.....	275
VIII.	Studie I (Anhang bei Abgabeverision auf CD)	277
i.	Allgemeines Datenblatt	277
ii.	Fachwissensitems	278
IX.	Studie II (Anhang bei Abgabeverision auf CD)	285
i.	Kontrollvariable: Interesse und Motivation.....	285
ii.	Abhängige Variablen.....	288
iii.	Prozessbegleitende Variable: Kognitive Belastung.....	299
iv.	Screenshots von der Lernumgebung	300

I. Verzeichnisse

i. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Prüfung der Normalverteilung sowie Varianzhomogenität der Daten der ersten Studie (N = 294)	272
Tabelle 2. Prüfung der Normalverteilung sowie Varianzhomogenität der Daten der Stichprobe WS 18/19 (N = 130)	272
Tabelle 3. Prüfung der Normalverteilung der Daten der zweiten Studie (N = 80)	273
Tabelle 4. Prüfung der Normalverteilung sowie Varianzhomogenität der Itemschwierigkeiten aus dem Repräsentationstest ($N_{\text{Item}} = 48$)	274

ii. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. MAXQDA Interface	255
Abbildung 2. Variablen und Kategorien der Oberflächenstruktur	256
Abbildung 3. Kategorien der Tiefenstruktur	261
Abbildung 4. Variablen und Facetten der Kategorie Vermitteltes Konzeptwissen	261
Abbildung 5. Variablen der Kategorie Funktionen	264

II. Hinweise zur CD (Anhang in Abgabeverision auf CD)

Auf der beigelegten CD befinden sich die Instrumente, die in beiden Studien eingesetzt wurden sowie die Lernumgebung aus der zweiten Studie.

Im folgenden Anhang wurden die Repräsentationsitems, das Semantische Differential sowie das Kodiermanual aufgenommen.

III. Repräsentationsitems

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

mit diesem Fragebogen möchten wir etwas über Ihr Wissen im Fach Chemie über das Thema Säure-Base erfahren.

Bei den möglichen Antworten ist jeweils **eine richtig**. Kreuzen Sie jeweils diejenige Antwort an, von der Sie überzeugt sind, dass sie richtig ist.

Wir bitten Sie, die Aufgaben so gut es geht zu lösen. Wenn Sie die Antwort gar nicht wissen, sollten Sie nicht antworten und nicht raten.

Bitte so ankreuzen:

Die Erde ist ...

- ☐ ein Kontinent.
- ☐ eine Sonne.
- ☒ ein Planet.
- ☐ ein Stern.

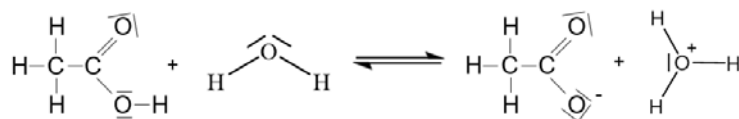
Bitte so korrigieren

Die Erde ist ...

- ☒ ein Kontinent.
- ☐ eine Sonne.
- ☒ ein Planet.
- ☐ ein Stern.

Block I

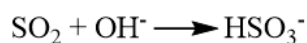
1 In der folgenden Reaktion reagiert Essigsäure im wässrigen Medium als...



- ☐ Protonenakzeptor.
- ☐ Protonendonator.
- ☐ Elektronakzeptor.
- ☐ Elektrondonator.

S2L

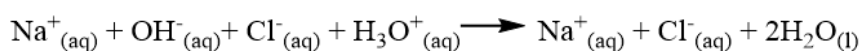
2 In der folgenden Reaktion reagiert das Hydroxid-Ionen als...



- ☐ Elektronenpaarakzeptor also Lewis-Säure.
- ☐ Elektronenpaardonator also Lewis-Base.
- ☐ Protonendonator also Brönsted-Base.
- ☐ Protonenakzeptor also Brönsted-Säure.

B7S

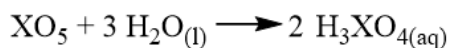
3 Welche der folgenden Aussagen trifft auf das Produkt der Reaktion zu?
Es liegen...



- ☐ Wasserstoff-Ionen und Hydroxid-Ionen gelöst vor.
- ☐ Säurerest-Ionen und Metall-Ionen gelöst vor.
- ☐ Hydroxid-Ionen und Säurerest-Ionen gelöst vor.
- ☐ Metall-Ionen und Wasserstoff-Ionen gelöst vor.

N4I

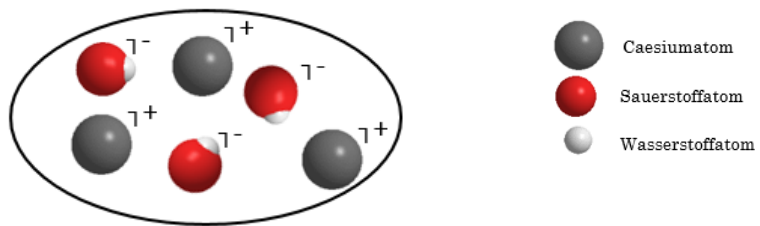
4 Aus den folgenden Edukten (X=Nichtmetall) entsteht...



- ☐ eine Säure.
- ☐ eine Base.
- ☐ ein Salz.
- ☐ ein Azeotrop.

S5I

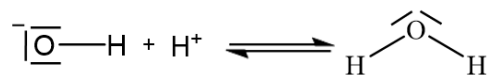
- 5 Folgende Abbildung zeigt eine Base in Wasser gelöst. Welche Aussage trifft auf die Base zu? Es handelt sich um eine...



- ☐ schwache Base, da sie in Wasser vollständig dissoziiert.
- ☐ starke Base, da sie in Wasser vollständig dissoziiert.
- ☐ schwache Base, da die Konzentration der Base in wässriger Lösung hoch ist.
- ☐ starke Base, da die Konzentration der Base in wässriger Lösung hoch ist.

B6K

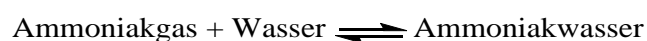
- 6 Was beschreibt die folgende Reaktion? Die Protonen- und Hydroxid-Ionenkonzentration im...



- ☐ neutralen Bereich.
- ☐ basischen Bereich.
- ☐ sauren Bereich.
- ☐ negativen Bereich.

N2L

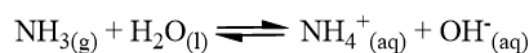
- 7 In der folgenden Reaktionsgleichung reagiert Wasser als...



- ☐ Reduktionsmittel.
- ☐ Oxidationsmittel.
- ☐ Brönsted-Base.
- ☐ Brönsted-Säure.

S4W

- 8 Ammoniak reagiert in der folgenden Reaktion als...



- ☐ Protonenakzeptor.
- ☐ Protonendonator.
- ☐ Elektronenakzeptor.
- ☐ Elektronendonator.

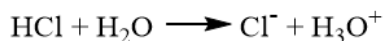
9 Welche Aussage trifft auf die folgende Reaktion zu? Bei der Reaktion handelt es sich um eine...



- ☐ Elektronenübertragung.
- ☐ Redoxreaktion.
- ☐ Knallgasreaktion
- ☐ Neutralisationsreaktion.

N9W

10 Welche Aussage bezüglich der folgenden Reaktion ist richtig?



- ☐ Das Wassermolekül überträgt ein Elektron auf die Salzsäure.
- ☐ Das Wassermolekül nimmt ein Elektron von der Salzsäure auf.
- ☐ Chlorwasserstoff nimmt ein Proton auf.
- ☐ Chlorwasserstoff bildet in Wasser Oxonium-Ionen.

S3S

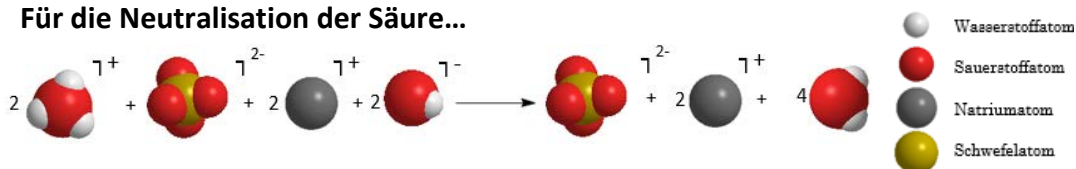
11 Welche Ionen werden bei der folgenden Reaktion gebildet?



- ☐ Natrium-Ionen und Hydroxid-Ionen.
- ☐ Wasserstoff-Ionen und Hydroxid-Ionen.
- ☐ Natrium-Ionen und Oxonium-Ionen.
- ☐ Wasserstoff-Ionen und Oxonium-Ionen.

B4W

**12 Welche Aussage bezüglich der folgenden Reaktion ist richtig?
Für die Neutralisation der Säure...**

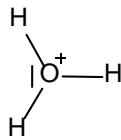


- ☐ wird die gleiche Menge an Hydroxid-Ionen benötigt.
- ☐ werden 2mol Natronlauge benötigt.
- ☐ wird die gleiche Menge an Oxonium-Ionen verbraucht.
- ☐ wird die gleiche Menge Natronlauge verbraucht.

N8K

Block III

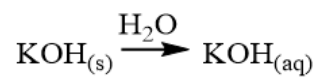
13 Welche Aussage trifft auf das folgende Molekül zu? Es entsteht...



- ☐ bei der Bildung einer sauren Lösung.
- ☐ bei der Bildung einer basischen Lösung.
- ☐ als Produkt einer Neutralisationsreaktion.
- ☐ als Produkt einer Reduktion.

S1L

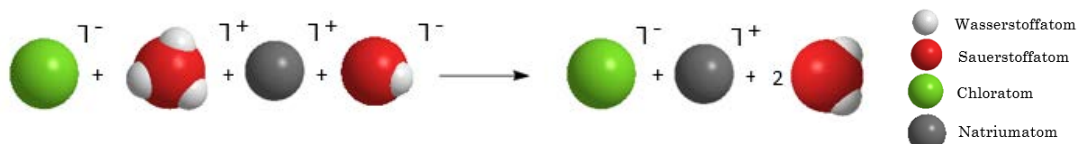
14 Bei der folgenden Reaktion entsteht...



- ☐ eine basische Lösung,
- ☐ eine saure Lösung.
- ☐ eine neutrale Lösung.
- ☐ eine azeotrope Lösung.

B5S

15 Worum handelte es sich bei dem folgenden Produkt? Bei dem Produkt handelt es sich um eine...



- ☐ Salzlösung.
- ☐ basische Lösung.
- ☐ saure Lösung.
- ☐ geladene Lösung.

N3K

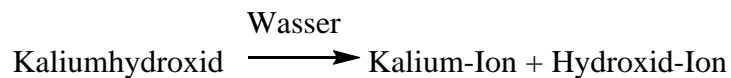
16 Aluminiumchlorid reagiert in der folgenden Reaktion als...



- ☐ Lewis-Base.
- ☐ Lewis-Säure.
- ☐ Brönsted-Base.
- ☐ Brönsted-Säure.

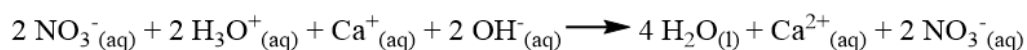
S7L

17 Welche Aussage trifft auf die folgende Reaktion zu?



- ☐ Protonen sind die Ursache für den neutralen Charakter.
- ☐ Kalium-Ionen sind die Ursache für den basischen Charakter.
- ☐ Wassermoleküle sind die Ursache für den neutralen Charakter.
- ☐ Hydroxid-Ionen sind die Ursache für den basischen Charakter.

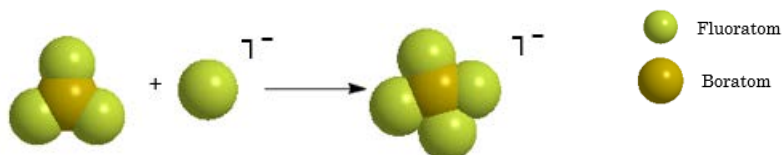
B2S

18 Welche Aussage bezüglich der Produkte folgender Reaktion ist richtig?
Nach der Reaktion liegen....

- ☐ keine Ionen vor.
- ☐ nur positiv geladene Ionen vor.
- ☐ nur negativ geladene Ionen vor.
- ☐ positiv und negativ geladene Ionen vor.

N1I

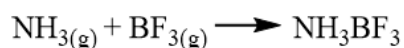
19 In der folgenden Reaktion reagiert Bortrifluorid als...



- ☐ Elektronenpaarakzeptor.
- ☐ Elektronenpaardonator.
- ☐ Protonendonator.
- ☐ Protonenakzeptor.

S8K

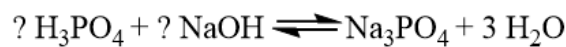
20 Ammoniak reagiert in der folgenden Reaktion als...



- ☐ Elektronendonator.
- ☐ Elektronenakzeptor.
- ☐ Elektronenpaardonator.
- ☐ Elektronenpaarakzeptor.

B8I

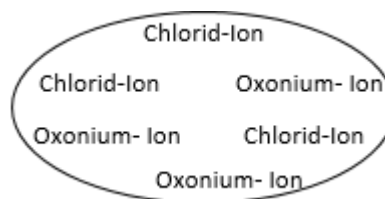
- 21 In welchem Stoffmengenverhältnis liegen folgende Edukte der vollständigen Neutralisation von Phosphorsäure vor? (Phosphorsäure zu Natronlauge)



- ☐ 3:1
- ☐ 1:3
- ☐ 2:1
- ☐ 1:2

N6S

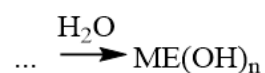
- 22 Folgende Abbildung zeigt eine Säure gelöst in Wasser. Welche Aussage trifft auf die Abbildung zu?
Es handelt sich um...



- ☐ eine schwache Säure, da die Konzentration der Säure in wässriger Lösung gering ist.
- ☐ eine starke Säure, da die Konzentration der Säure in wässriger Lösung höher ist.
- ☐ eine starke Säure, da sie in wässriger Lösung vollständig zu Oxonium-Ionen und Säurerest-Ionen dissoziiert.
- ☐ eine schwache Säure, da sie in wässriger Lösung vollständig zu Oxonium-Ionen und Säurerest-Ionen dissoziiert.

S6W

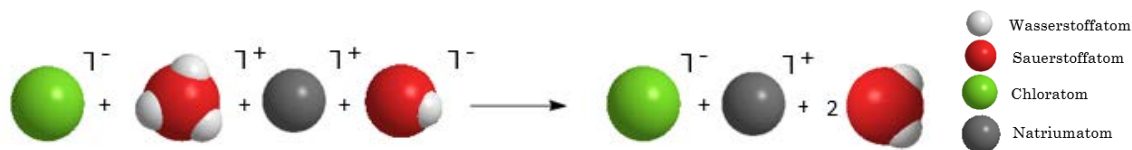
- 23 Welche der folgenden Möglichkeiten entspricht dem fehlenden Edukt der folgenden Reaktion? (ME= Metall)



- ☐ Metalloxyd.
- ☐ Nichtmetalloxyd.
- ☐ Schwermetall.
- ☐ Leichtmetall.

B3S

24 Welche Aussage trifft auf die folgende Reaktion im wässrigen Medium zu?



- ☐ Beteiligte Ionen verbinden sich zu einem Salz und ihre Ladung wird neutralisiert.
- ☐ Nur elektroneutrale Moleküle sind an der Reaktion beteiligt.
- ☐ Wasser ist ein Produkt dieser Reaktion, sodass es neutral ist.
- ☐ Elektronen werden übertragen, sodass eine elektroneutrale Lösung vorliegt.

N5K

Block II

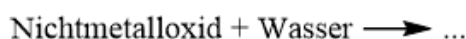
25 In der folgenden Reaktion reagiert Essigsäure als...



- ☐ Protonenakzeptor.
- ☐ Protonendonator.
- ☐ Elektronakzeptor.
- ☐ Elektrondonator.

S2I

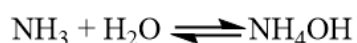
26 Bei der folgenden Reaktion entsteht...



- ☐ eine Säure.
- ☐ eine Base.
- ☐ ein Salz.
- ☐ ein Azeotrop.

S5W

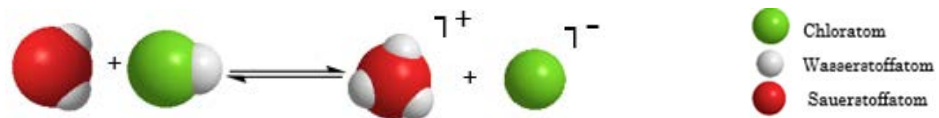
27 In der folgenden Reaktionsgleichung reagiert Wasser als...



- ☐ Reduktionsmittel.
- ☐ Oxidationsmittel.
- ☐ Brönsted-Base.
- ☐ Brönsted-Säure.

S4S

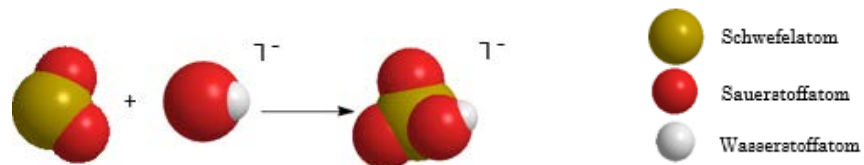
28 Welche Aussage bezüglich der folgenden Reaktion ist richtig?



- ☐ Das Wassermolekül überträgt ein Elektron auf die Salzsäure.
- ☐ Das Wassermolekül nimmt ein Elektron von der Salzsäure auf.
- ☐ Chlorwasserstoff ist eine Base und nimmt Protonen auf.
- ☐ Salzsäure bildet in Wasser Oxonium-Ionen.

S3K

29 Welche Aussage trifft auf folgende Reaktion zu? Das Hydroxid-Ionen reagiert als...



- ☐ Elektronenpaarakzeptor also Lewis-Säure.
- ☐ Elektronenpaardonator also Lewis-Base.
- ☐ Protonendonator also Brönsted-Base.
- ☐ Protonenakzeptor also Brönsted-Säure.

B7K

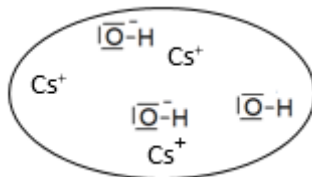
30 Ammoniak reagiert in der folgenden Reaktion als...



- ☐ Protonenakzeptor.
- ☐ Protonendonator.
- ☐ Elektronenpaarakzeptor.
- ☐ Elektronenpaardonator.

B1W

- 31 Folgende Abbildung zeigt eine Base gelöst in Wasser. Welche Aussage trifft auf die Abbildung zu? Es handelt sich um...



- ☐ eine schwache Base, da sie in Wasser vollständig dissoziiert.
- ☐ eine starke Base, da sie in Wasser vollständig dissoziiert.
- ☐ eine... schwache Base, da die Konzentration der Base in wässriger Lösung hoch ist.
- ☐ eine starke Base, da die Konzentration der Base in wässriger Lösung hoch ist.

B6L

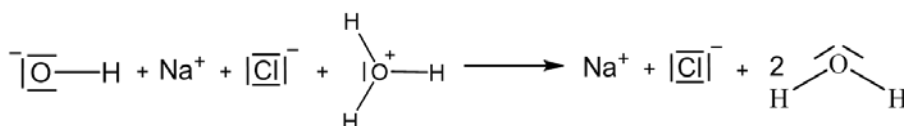
- 32 Welche Ionen werden bei der goldenen Reaktion gebildet?



- ☐ Natrium-Ionen und Hydroxid-Ionen.
- ☐ Wasserstoff-Ionen und Hydroxid-Ionen.
- ☐ Natrium-Ionen und Oxonium-Ionen.
- ☐ Wasserstoff-Ionen und Oxonium-Ionen.

B4I

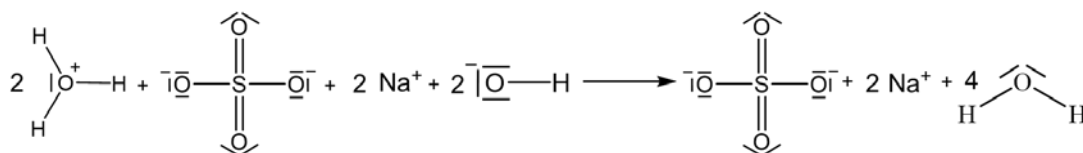
- 33 Nach der Reaktion liegen ...



- ☐ Wasserstoff-Ionen und Hydroxid-Ionen gelöst vor.
- ☐ Säurerest-Ionen und Metall-Ionen gelöst vor.
- ☐ Hydroxid-Ionen und Säurerest-Ionen gelöst vor.
- ☐ Metall-Ionen und Wasserstoff-Ionen gelöst vor.

N4L

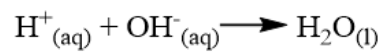
- 34 Welche Aussage bezüglich der folgenden Reaktion ist richtig?
Für die Neutralisation der Säure...



- ☐ werden Oxonium-Ionen benötigt.
- ☐ werden 2mol Natronlauge benötigt.
- ☐ wird die gleiche Menge an Oxonium-Ionen verbraucht.
- ☐ wird die gleiche Menge Natronlauge verbraucht.

N8L

35 Was beschreibt die folgende Reaktion? Die Protonen- und Hydroxid-Ionenkonzentration im...



- ☐ neutralen Bereich.
- ☐ basischen Bereich.
- ☐ sauren Bereich.
- ☐ negativen Bereich.

N2I

36 Welche Aussage trifft auf die folgende Reaktion zu? Bei der Reaktion handelt es sich um eine...



- ☐ Elektronenübertragung.
- ☐ Redoxreaktion.
- ☐ Knallgasreaktion.
- ☐ Neutralisationsreaktion.

N9S

Block IV

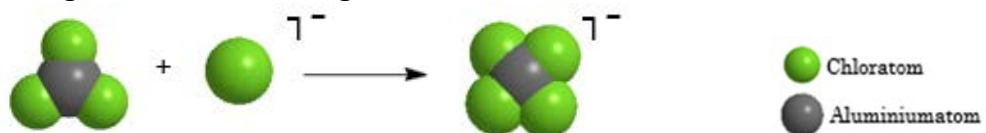
37 Welche Aussage trifft auf folgende Moleküle zu? Es ist...



- ☐ die Ursache einer sauren Lösung.
- ☐ die Ursache einer basischen Lösung.
- ☐ das Produkt einer Neutralisationsreaktion.
- ☐ das Produkt einer Redoxreaktion.

S1I

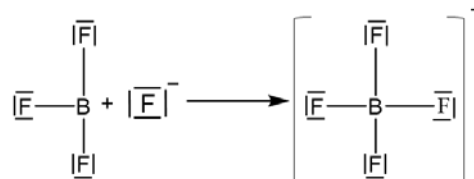
38 In der folgenden Reaktion reagiert Aluminiumchlorid als...



- ☐ Lewis-Base.
- ☐ Lewis-Säure.
- ☐ Brönsted-Base.
- ☐ Brönsted-Säure.

S7K

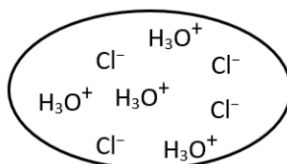
39 In der folgenden Reaktion reagiert Bortriflourid als...



- ☐ Elektronenpaarakzeptor.
- ☐ Elektronenpaardonator.
- ☐ Protonenakzeptor.
- ☐ Protonendonator.

S8L

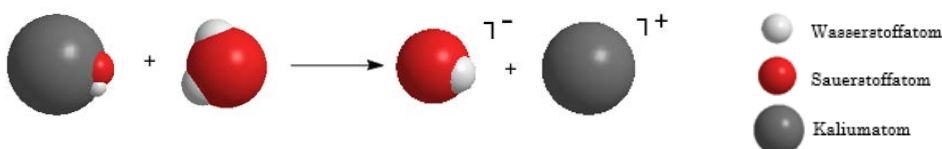
40 Folgende Abbildung zeigt eine Säure gelöst in Wasser. Welche Aussage trifft auf die Abbildung zu? Es handelt sich um...



- ☐ eine schwache Säure, da die Konzentration der Säure in wässriger Lösung geringer ist.
- ☐ eine starke Säure, da die Konzentration der Säure in wässriger Lösung höher ist.
- ☐ eine starke Säure, da sie in wässriger Lösung vollständig zu Oxo-nium-Ionen und Säurerest-Ionen dissoziiert.
- ☐ eine schwache Säure, da sie in wässriger Lösung vollständig zu Oxo-nium-Ionen und Säurerest-Ionen dissoziiert.

S6I

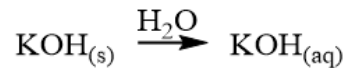
41 Was entsteht bei der folgenden Reaktionsgleichung?



- ☐ Eine basische Lösung.
- ☐ Eine saure Lösung.
- ☐ Eine neutrale Lösung.
- ☐ Eine azeotrope Lösung.

B5K

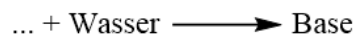
42 Was ist ausschlaggebend für den basischen Charakter der folgenden Lösung?



- ☐ Protonen
- ☐ Kalium- Ion
- ☐ Wassermolekül
- ☐ Hydroxid- Ion

B2S

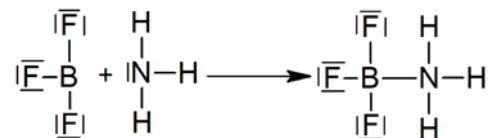
43 Welche der folgenden Möglichkeiten entspricht dem fehlenden Edukt der folgenden Reaktion?



- ☐ Metalloxid
- ☐ Nichtmetalloxid
- ☐ Schwermetall
- ☐ Metallhydroxid

B3W

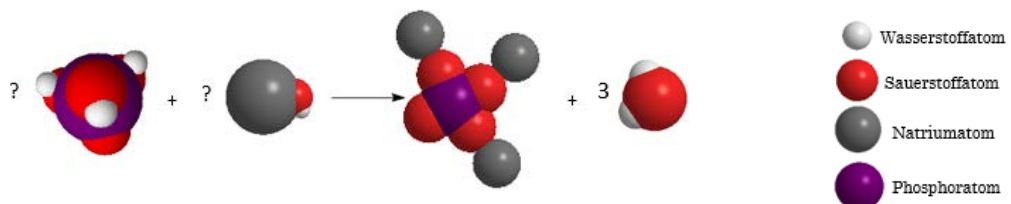
44 Ammoniak reagiert in der folgenden Reaktion als...



- ☐ Protonenakzeptor.
- ☐ Protonendonator.
- ☐ Elektronenpaarakzeptor.
- ☐ Elektronenpaardonator.

B8L

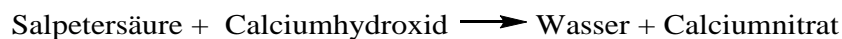
45 In welchem Stoffmengenverhältnis liegen folgende Edukte der vollständigen Neutralisation von Phosphorsäure vor? (Phosphorsäure zu Natronlauge)



- ☐ 3:1
- ☐ 1:3
- ☐ 2:1
- ☐ 1:2

N6K

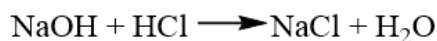
**46 Welche Aussage bezüglich der Produkte folgender Reaktion ist richtig?
Nach der Reaktion liegen...**



- ☐ keine Ionen vor.
- ☐ nur positiv geladene Ionen vor.
- ☐ nur negativ geladenen Ionen vor.
- ☐ positiv und negativ geladene Ionen vor.

N1W

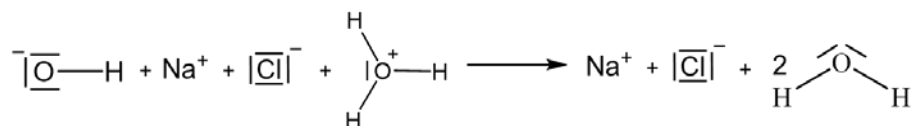
47 Worum handelt es sich bei dem folgenden Produkt? Bei dem Produkt handelt es sich um eine...



- ☐ Salzlösung.
- ☐ basische Lösung.
- ☐ saure Lösung.
- ☐ geladene Lösung.

N3S

48 Welche Aussage trifft auf die folgende Reaktion im wässrigen Medium zu?



- ☐ Beteiligte Ionen verbinden sich zu einem Salz und ihre Ladung wird neutralisiert.
- ☐ Nur elektroneutrale Moleküle sind an der Reaktion beteiligt.
- ☐ Wasser ist ein Produkt dieser Reaktion, sodass sie neutral ist.
- ☐ Elektronen werden übertragen, sodass eine elektroneutrale Lösung vorliegt.

N5L

IV. Semantisches Differential

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

im ersten Teil haben Sie Fragen bezüglich Ihres Wissens im Bereich Chemie bearbeitet.

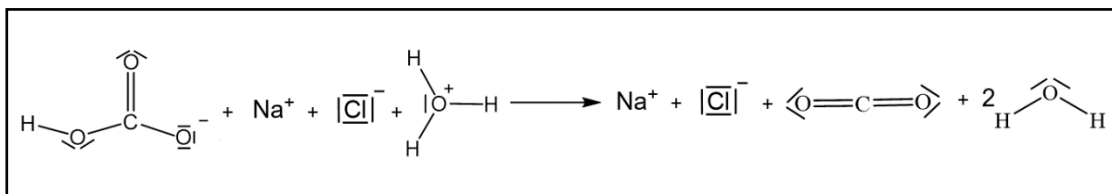
Nun erhalten Sie drei Reaktionen in den unterschiedlichen Darstellungsformen, die Sie bereits aus dem ersten Teil kennen.

Schätzen Sie die einzelnen Darstellungsformen im nächsten Schritt anhand der gegensätzlichen Adjektivpaare/Beschreibungen auf einer Skala ein. Anhand der abgestuften Skala können Sie entscheiden, in welchem Grad die Repräsentationsform das Merkmal Ihrer Meinung nach erfüllt. Kreuzen Sie das Kästchen an, was Ihrer Einschätzung entspricht!

Da es sich um eine **persönliche Einschätzung** handelt, gibt es **keine falschen oder richtigen Antworten**.

1 Reaktion I

1.1 Strukturformel



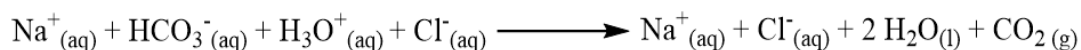
leicht Informationen zu entnehmen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	schwer Informationen zu entnehmen
bekannt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unbekannt
geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/Molekül	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
einfach	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	kompliziert
nicht informativ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	informativ
bildet die Form eines Moleküls/ Atoms ab	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	bildet die Form eines Moleküls/ Atoms nicht ab
verständlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nicht verständlich
beschreibend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	erklärend
Original ist gut vorstellbar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Original ist nicht gut vorstellbar
enthält nur die wichtigsten Informationen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	enthält überflüssige Informationen

1.2 Wortgleichung



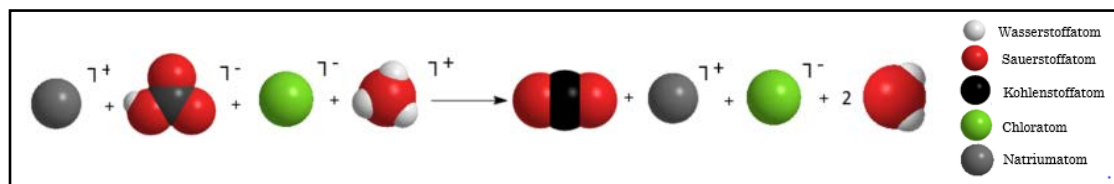
leicht Informationen zu entnehmen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schwer Informationen zu entnehmen
bekannt	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbekannt
geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/Molekül	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	kompliziert
nicht informativ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	informativ
bildet die Form eines Moleküls/ Atoms ab	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	bildet die Form eines Moleküls/ Atoms nicht ab
verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nicht verständlich
beschreibend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	erklärend
Original ist gut vorstellbar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Original ist nicht gut vorstellbar
enthält nur die wichtigsten Informationen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	enthält überflüssige Informationen

1.3 Ionenschreibweise



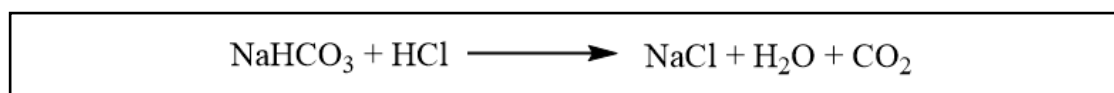
leicht Informationen zu entnehmen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schwer Informationen zu entnehmen
bekannt	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbekannt
geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/Molekül	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	kompliziert
nicht informativ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	informativ
bildet die Form eines Moleküls/ Atoms ab	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	bildet die Form eines Moleküls/ Atoms nicht ab
verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nicht verständlich
beschreibend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	erklärend
Original ist gut vorstellbar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Original ist nicht gut vorstellbar
enthält nur die wichtigsten Informationen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	enthält überflüssige Informationen

1.4 Kalottenmodell



leicht Informationen zu entnehmen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schwer Informationen zu entnehmen
bekannt	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbekannt
geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/Molekül	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	kompliziert
nicht informativ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	informativ
bildet die Form eines Moleküls/ Atoms ab	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	bildet die Form eines Moleküls/ Atoms nicht ab
verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nicht verständlich
beschreibend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	erklärend
Original ist gut vorstellbar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Original ist nicht gut vorstellbar
enthält nur die wichtigsten Informationen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	enthält überflüssige Informationen

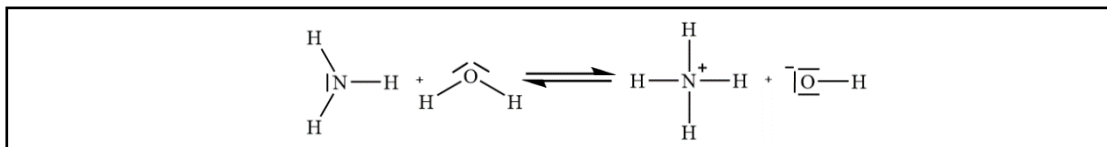
1.5 Summenformel



leicht Informationen zu entnehmen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schwer Informationen zu entnehmen
bekannt	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbekannt
geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/Molekül	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	kompliziert
nicht informativ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	informativ
bildet die Form eines Moleküls/ Atoms ab	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	bildet die Form eines Moleküls/ Atoms nicht ab
verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nicht verständlich
beschreibend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	erklärend
Original ist gut vorstellbar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Original ist nicht gut vorstellbar
enthält nur die wichtigsten Informationen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	enthält überflüssige Informationen

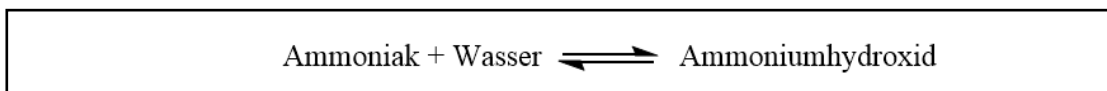
2 Reaktion II

2.1 Strukturformel



leicht Informationen zu entnehmen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schwer Informationen zu entnehmen
bekannt	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbekannt
geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/Molekül	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	kompliziert
nicht informativ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	informativ
bildet die Form eines Moleküls/ Atoms ab	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	bildet die Form eines Moleküls/ Atoms nicht ab
verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nicht verständlich
beschreibend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	erklärend
Original ist gut vorstellbar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Original ist nicht gut vorstellbar
enthält nur die wichtigsten Informationen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	enthält überflüssige Informationen

2.2 Wortgleichung



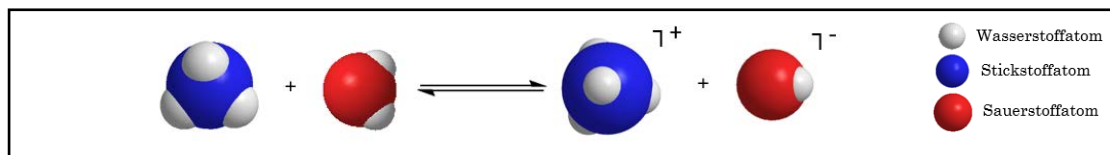
leicht Informationen zu entnehmen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schwer Informationen zu entnehmen
bekannt	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbekannt
geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/Molekül	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	kompliziert
nicht informativ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	informativ
bildet die Form eines Moleküls/ Atoms ab	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	bildet die Form eines Moleküls/ Atoms nicht ab
verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nicht verständlich
beschreibend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	erklärend
Original ist gut vorstellbar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Original ist nicht gut vorstellbar
enthält nur die wichtigsten Informationen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	enthält überflüssige Informationen

2.3 Ionenschreibweise



leicht Informationen zu entnehmen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schwer Informationen zu entnehmen
bekannt	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbekannt
geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/Molekül	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	kompliziert
nicht informativ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	informativ
bildet die Form eines Moleküls/ Atoms ab	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	bildet die Form eines Moleküls/ Atoms nicht ab
verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nicht verständlich
beschreibend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	erklärend
Original ist gut vorstellbar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Original ist nicht gut vorstellbar
enthält nur die wichtigsten Informationen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	enthält überflüssige Informationen

2.4 Kalottenmodell



leicht Informationen zu entnehmen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schwer Informationen zu entnehmen
bekannt	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbekannt
geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/Molekül	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	kompliziert
nicht informativ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	informativ
bildet die Form eines Moleküls/ Atoms ab	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	bildet die Form eines Moleküls/ Atoms nicht ab
verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nicht verständlich
beschreibend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	erklärend
Original ist gut vorstellbar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Original ist nicht gut vorstellbar
enthält nur die wichtigsten Informationen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	enthält überflüssige Informationen

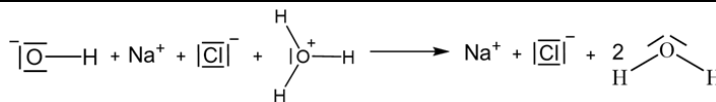
2.5 Summenformel



leicht Informationen zu entnehmen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schwer Informationen zu entnehmen
bekannt	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbekannt
geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/Molekül	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	kompliziert
nicht informativ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	informativ
bildet die Form eines Moleküls/ Atoms ab	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	bildet die Form eines Moleküls/ Atoms nicht ab
verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nicht verständlich
beschreibend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	erklärend
Original ist gut vorstellbar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Original ist nicht gut vorstellbar
enthält nur die wichtigsten Informationen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	enthält überflüssige Informationen

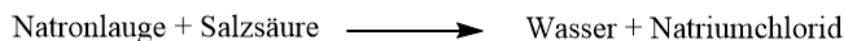
3 Reaktion III

3.1 Strukturformel



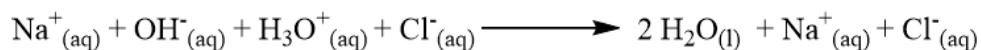
leicht Informationen zu entnehmen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schwer Informationen zu entnehmen
bekannt	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbekannt
geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/Molekül	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	kompliziert
nicht informativ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	informativ
bildet die Form eines Moleküls/ Atoms ab	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	bildet die Form eines Moleküls/ Atoms nicht ab
verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nicht verständlich
beschreibend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	erklärend
Original ist gut vorstellbar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Original ist nicht gut vorstellbar
enthält nur die wichtigsten Informationen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	enthält überflüssige Informationen

3.2 Wortgleichung



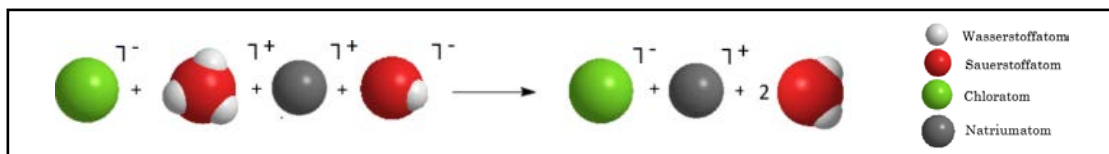
leicht Informationen zu entnehmen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schwer Informationen zu entnehmen
bekannt	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbekannt
geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/Molekül	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	kompliziert
nicht informativ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	informativ
bildet die Form eines Moleküls/ Atoms ab	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	bildet die Form eines Moleküls/ Atoms nicht ab
verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nicht verständlich
beschreibend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	erklärend
Original ist gut vorstellbar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Original ist nicht gut vorstellbar
enthält nur die wichtigsten Informationen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	enthält überflüssige Informationen

3.3 Ionenschreibweise



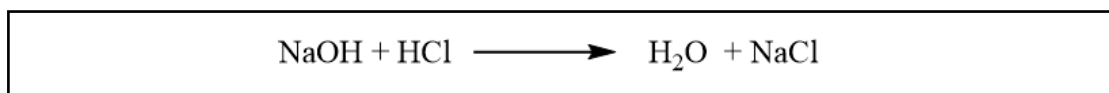
leicht Informationen zu entnehmen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schwer Informationen zu entnehmen
bekannt	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbekannt
geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/Molekül	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	kompliziert
nicht informativ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	informativ
bildet die Form eines Moleküls/ Atoms ab	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	bildet die Form eines Moleküls/ Atoms nicht ab
verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nicht verständlich
beschreibend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	erklärend
Original ist gut vorstellbar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Original ist nicht gut vorstellbar
enthält nur die wichtigsten Informationen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	enthält überflüssige Informationen

3.4 Kalottenmodell



leicht Informationen zu entnehmen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schwer Informationen zu entnehmen
bekannt	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbekannt
geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/Molekül	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	kompliziert
nicht informativ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	informativ
bildet die Form eines Moleküls/ Atoms ab	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	bildet die Form eines Moleküls/ Atoms nicht ab
verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nicht verständlich
beschreibend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	erklärend
Original ist gut vorstellbar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Original ist nicht gut vorstellbar
enthält nur die wichtigsten Informationen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	enthält überflüssige Informationen

3.5 Summenformel



leicht Informationen zu entnehmen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	schwer Informationen zu entnehmen
bekannt	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unbekannt
geringe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/Molekül	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ähnlichkeit mit dem realen Atom/ Molekül
einfach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	kompliziert
nicht informativ	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	informativ
bildet die Form eines Moleküls/ Atoms ab	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	bildet die Form eines Moleküls/ Atoms nicht ab
verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	nicht verständlich
beschreibend	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	erklärend
Original ist gut vorstellbar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Original ist nicht gut vorstellbar
enthält nur die wichtigsten Informationen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	enthält überflüssige Informationen

V. Analyse der Prozessdaten

i. Kodierhandbuch für die Analyse der Screencast-Videos

Die zu kodierenden Dateien befinden sich in dem Ordner Screencasts, der über den Arbeitsgruppenserver AG Fechner zu finden ist ([..\..\..\..\AG Fechner\Projekte\Promotionsprojekte\Perihan Akman\Daten\Studie II](#)). Die Dateien liegen in den Formaten .wmv und .mp4 vor. Für die Kodierung wird jeweils die .mp4 Datei genutzt. Die Sortierung der Screencasts in Unterordnern erfolgt nach der Schule (z.B. P), Kursart Grund- oder Leistungskurs (z.B. PG) und Kursnummer sofern mehrere Kurse der gleichen Schule teilnahmen (z.B. PG1). Die Screencasts der einzelnen Lernenden enthalten die Code-nummer, die die Lernenden für die Intervention erhielten (PG1_1). In dem Unterordner Screencasts_Organisation befindet sich eine Exeldatei, die eine Auflistung von Screencasts enthält, die aufgrund von technischen Schwierigkeiten oder dem Ausschluss aus der Stichprobe, nicht zur Hauptanalyse, jedoch für die Pilotierung des Kodiermanuals herangezogen werden ([..\..\Daten\Screencasts\Screencasts Organisation](#)). Der Ordner Masterdatei enthält die für die Kodierung benötigte Datei (Erklärung_Masterdatei). In dieser Datei sind alle Screencasts verlinkt. Wird diese Datei geöffnet, erscheint das

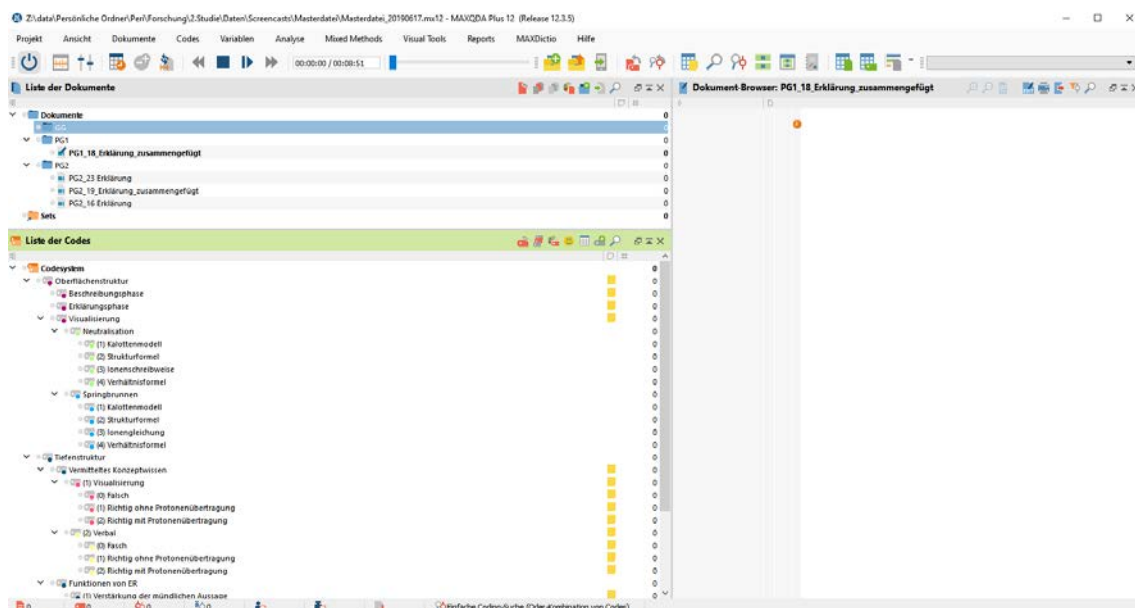


Abbildung 1. MAXQDA Interface

MAXQDA-Interface:

Das MAXQDA-Interface ist in vier Hauptfenster unterteilt. Die für die Kodierung herangezogenen Dateien werden in der *Liste der Dokumente* aufgeführt. In der Liste der Codes sind die Variablen und Kategorien des zugrundeliegenden Kategoriensystems enthalten. Eine Operationalisierung und Definition der Codes befindet sich in dem jeweiligen Memo.

Die Auswahl einer zu kodierenden Datei erfolgt über einen Doppelklick der entsprechenden Datei aus *der Liste der Dokumente*. Soll eine Kodierung einer entsprechenden Stelle in der Datei mit einem Code versehen werden, erfolgt dies durch *drag and drop* des Codes an die entsprechende Stelle.

Nach der Bearbeitung der Datei wird die Datei neu gespeichert. Die Benennung der neuen Datei ist nach dem folgenden Schema vorzunehmen: Name des Bearbeiters_Jahr-MonatTag. Das separate Speichern der Datei durch die Kodierer ist für die Ermittlung der Interraterübereinstimmung unerlässlich.

Vorgehensweise bei der Kodierung

1 Kodierung der Oberflächenmerkmale

Bevor eine Zuordnung der Codes zu dem entsprechenden Material erfolgt, sollte jeder Screencast einmal von Beginn bis zum Ende durchgesehen werden. Erst in einem zweiten Durchgang erfolgt die Kodierung zunächst der Oberflächenmerkmale und im Anschluss der Tiefenstruktur.

Die in der Abbildung dargestellten Oberflächenmerkmale sind in der Masterdatei in dem Fenster Liste der Codes in violetten Farbtönen hinterlegt. Die Oberflächenmerkmale sind für die Markierung des Vorhandenseins einer für das Kodieren relevanten Aussagen

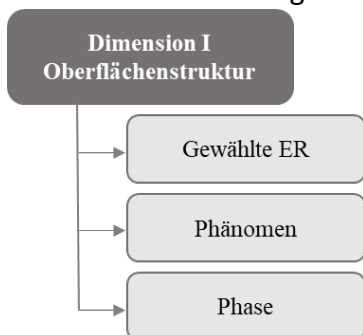


Abbildung 2. Variablen und Kategorien der Oberflächenstruktur

wichtig.

Die Variable *gewählte ER* enthält die disjunktiven Kategorien (1) *Kalottenmodell*, (2) *Strukturformel*, (3) *Ionschreibweise* sowie (4) *Summenformel*. Die Variable *Phänomen* wird in die zwei Kategorien (1) *Springbrunnen* und (2) *Neutralisation* differenziert. Anhand der Kategorien wird festgestellt, welchen Versuch die Lernenden auf atomarer Ebene visualisieren und welche der zu Verfügung gestellten externe Repräsentationen sie hierfür wählen.

Die Zuordnung der einzelnen Kategorien erfolgt anhand der ersten zwei Sekunden des Bildmaterials, aus denen diese hervorgehen. Zusätzlich werden Aussagen der Lernenden nach der disjunktiven Zuordnung einem Oberflächenmerkmal *Beschreibungsphase* oder *Erklärungsphase* zugewiesen.

Beschreibungsphase: Aussagen werden der Kategorie Beschreibungsphase dann zugeordnet, wenn sie die erste Aufgabe erfüllen und überwiegend das in dem Video dargestellte Phänomen wiedergeben.

Erklärungsphase: Aussagen werden der Kategorie Erklärungsphase zugeordnet, wenn Lernende überwiegend ihrem Partner das in dem Video beobachtete Verhalten des Phänomens mithilfe der Analyse von Ursachen und Wirkungen erläutern.

Formal: Charakteristika einer zu kodierenden Aussage

Bei einer Schüleräußerung handelt es sich dann um eine Aussage, wenn sie die Form einer Proposition aufweist. Eine Proposition zeichnet sich dadurch aus, dass sie eine in sich geschlossene Sinneinheit aus einem Subjekt und Prädikat bildet (Bußmann, 2008). Für die Tiefenstruktur werden nur solche Propositionen kodiert, dessen Subjekt sich auf eine Einheit aus der Repräsentation bezieht. Eine Proposition wird unabhängig von Illukotionstyp kodiert. Entsprechend der semantischen Charakteristika einer Proposition wird eine Äußerung dann als neue Aussage kodiert, wenn sich das Subjekt ändert. Die Proposition kann auch zwei Prädikate umfassen, sofern das Subjekt gleichbleibt. Eine Proposition ist die Grundlage der kleinsten Einheit des verbalen Materials, die ausgewertet werden kann.

Inhalt: Sinneinheiten

Für die Analyse werden Aussagen der Lernenden kodiert, die in Bezug zu den Inhalten der Videos aus der Intervention, Phänomene aus den Videos und externen Repräsentationen stehen. Es erfolgt eine Analyse der gesamten Videoaufnahmen bezüglich der Oberflächenmerkmale.

Nicht kodiert werden die Äußerungen des Partners, die sich auf den jeweils anderen Versuch beziehen. Dies kann der Fall sein, wenn der Lernende während der gesamten Zeit die Aufnahme laufen lässt und somit beide Erklärungsphasen aufnimmt. Zudem werden keine Äußerungen der Lernenden kodiert, die nicht in Relation zu den Inhalten der Intervention stehen oder keine wichtige Rolle für die Fachinhalte, das Phänomen oder den externen Repräsentationen spielen. Dies betrifft ebenfalls die Wiederholung der Aufgabenstellung.

Länge der Kodiereinheit

Als Aussage werden vollständige Sinneinheiten kodiert, die mehr als eine Proposition umfassen können (Ereignisstichprobenplan). Denkpausen und kleinere Unterbrechungen während einer Sinneinheit werden mitkodiert. Der *In-Point* ist unmittelbar vor dem ersten Wort der Sinneinheit während der *Out-Point* nach dem letzten Wort zu setzen ist.

Die Kodierung der Oberflächenstruktur wird mit der Berechnung der Interraterübereinstimmung und einer Auseinandersetzung der Kodierenden mit dem Material beendet. Für die Kodierung der Oberflächenstruktur wird eine gemeinsame Masterdatei angelegt,

die für die Betrachtung der Tiefenstruktur für die Kodierenden als Grundlage genutzt wird.

1.1 Gewählte externe Repräsentation (ER)

Regel: Sowohl die Vergabe der Variable Gewählte ER als auch Versuch erfolgt anhand des Bildmaterials. Zudem werden die Kategorien innerhalb der Variablen disjunktiv vergeben

Variable	Kategorie	Definition
Gewählte ER	1 Kalottenmodell	Betrifft Videoabschnitte, aus denen hervorgeht, dass die Lernenden das Kalottenmodell wählen und für die Erklärung beibehalten.
	2 Strukturformel	Betrifft Videoabschnitte, aus denen hervorgeht, dass die Lernenden die Strukturformel wählen und für die Erklärung beibehalten.
	3 Ionenschreibweise	Betrifft Videoabschnitte, aus denen hervorgeht, dass die Lernenden die Ionenschreibweise wählen und für die Erklärung beibehalten.
	4 Summenformel	Betrifft Videoabschnitte, aus denen hervorgeht, dass die Lernenden die Summenformel wählen und für die Erklärung beibehalten.

1.2 Versuch

Variable	Kategorie	Definition
Versuch	1 Springbrunnen	Betrifft Videoabschnitte, aus denen hervorgeht, dass die Lernenden den Versuch zum Thema basische Lösung behandelt haben.
	2 Neutralisation	Betrifft Videoabschnitte, aus denen hervorgeht, dass die Lernenden den Versuch zum Thema Neutralisation behandelt haben.

1.3 Phase Beschreibungsphase

Variable	Kategorie	Definition	Signalwörter	Ankerbeispiel
Beschreibungsphase	Beschreibungsphase	Betrifft Videoabschnitte in denen die Lernenden überwiegend das in dem Video dargestellte Phänomen wiedergeben. Sie stellen den Sachverhalt in eigenen Worten dar und nennen sowie umschreiben Merkmale des Phänomens, die sichtbar sind.	In dem Video konnte man sehen..., in meinem Video..., man konnte sehen...,	„Man hatte im Prinzip einfach ein kleines Becken, einfach so ein kleines breites Becken. Da waren 500 ml Wasser drin und dann hat man so einen fetten Rundkolben genommen, der gefüllt war mit Ammoniak, gasförmig natürlich. Das war damit gefüllt, eben umgekippt, sodass das Ammoniak ähm genau. Da war aber ein Tropfen drin, wo aber so ein kleines Pipetten ähnliches Ding durchsteckte [...]. Das wurde dann in das Wasser gestülpt. Das ging durch den Stopfen und in dem Rundkolben war Ammoniak, unten drin war Wasser mit ein bisschen Phenolphthalein übrigens, nein Thymolphthalein. Das wird blau statt pinkt, das ist der Unterschied. Genau dann hat man gesehen ganz lange passierte nichts. Dann hat man langsam gesehen wie langsam Wasser nach oben steigt und sich leicht blau anfärbt. Bis es plötzlich sprudelte wie aus dem Springbrunnen und das ganze Ding wurde tief blau, Es wurde die pH-Skala gezeigt d.h. ab 9,3, glaube ich wurde gesagt, schlägt es um. Das heißt das hatte einen anderen pH-Wert deutlich über 9,3. Ja und das war das ganze Ding.“ (PL_4, 0:08-1:24)

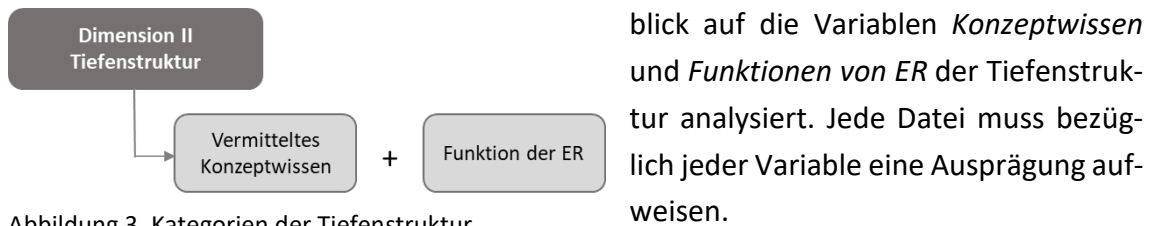
Erklärungsphase

Variable	Kategorie	Definition	Signalwörter	Ankerbeispiel
Erklärungsphase	Erklärungsphase	Betrifft Videoabschnitte in denen die Lernenden überwiegend, das beobachtbare Verhalten des Phänomens auf Ursachen und Wirkung der Einheiten, aus denen es besteht, zurückführen.	Die Reaktion, die abläuft ist..., auf der atomaren Ebene...	„Also auf der atomaren Ebene hat man das Ammoniakgas gehabt, NH_3 gasförmig und H_2O liquid. Und dann hat das H_2O eins von seinen Hs abgegeben an das NH_3 . Dadurch wurde das NH_3 zum NH_4^+ gelöst in Wasser. Und das Wasser wurde zu OH^- . Und das OH^- sorgt dafür, dass es eine Base ist.“ (PL_19, 4:42-5:00)

2 Tiefenstruktur

Für die Analyse der Tiefenstruktur wird auf die Masterdatei, die die kodierten Oberflächenmerkmale beinhaltet, zurückgegriffen. Nach dem Öffnen der Masterdatei erscheint erneut das MAXQDA Interface mit den vier Fenstern. Die zu kodierenden Dateien befinden sich in der *Liste der Dokumente* und sind durch das Anklicken auszuwählen.

Die Merkmale der Tiefenstruktur sind in der Masterdatei in dem Fenster *Liste der Codes* in der Familie der Blautöne hinterlegt. Die zuvor kodierten Segmente der Oberflächenmerkmale nach den Variablen *Erklärungsphase* und *Beschreibungsphase* werden im Hinblick



auf die Variablen *Konzeptwissen* und *Funktionen von ER* der Tiefenstruktur analysiert. Jede Datei muss bezüglich jeder Variable eine Ausprägung aufweisen.

2.1 Vermitteltes Konzeptwissen

Das vermittelte Konzeptwissen wird in die Kategorien *Visualisierung* und *Verbalisierung* differenziert. Die Kategorie *Visualisierung* umfasst die erstellte Visualisierung der Lernenden für die Erklärung des Phänomens aus dem Video.

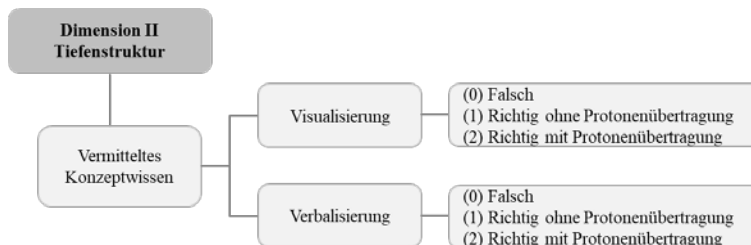


Abbildung 4. Variablen und Facetten der Kategorie Vermitteltes Konzeptwissen

Die Kategorie *Visualisierung* ist in den Facetten (0) falsch, (1) richtig ohne Protonenübertragung und (2) richtig mit Protonenübertragung differenziert. Die Zuordnung der Codes erfolgt disjunktiv. Der Code

(0) falsch wird vergeben, wenn die Lernenden eine visuelle Anordnung der Edukte und Produkte oder Ergänzungen nicht entsprechend fachlicher Korrektheit vornehmen. Der Code (1) richtig ohne Protonenübertragung wird dementsprechend vergeben, wenn sowohl die Edukte als auch die Produkte der Reaktion sowie Ergänzungen visuell entsprechend fachlicher Korrektheit angeordnet sind, jedoch die Protonenübertragung nicht explizit zu sehen ist. Der Code (2) richtig mit Protonenübertragung wird dementsprechend vergeben, wenn die Inhalte der Visualisierung der fachlichen Korrektheit entsprechend sind und die Protonenübertragung explizit aus dieser visualisiert ist. Die Codes der Variable *Visualisierung* werden anhand der Beurteilung der letzten eingeblendeten 2 Sekunden des Bildmaterials vergeben.

Neben der erstellten Visualisierung der Reaktion wird das vermittelte Konzeptwissen zusätzlich anhand der Aussagen der Lernenden kodiert. Die Vergabe der Codes der Facetten (0) *falsch*, (1) *richtig ohne Protonenübertragung* und (2) *richtig mit Protonenübertragung* erfolgt analog zu der Definition wie bei der Kategorie *Visualisierung*, allerdings werden hier die Aussagen (Ton) der Lernenden als Sinneinheit in Bezug auf die dargestellten Fachinhalte kodiert und kategorisiert (disjunktive Zuordnung).

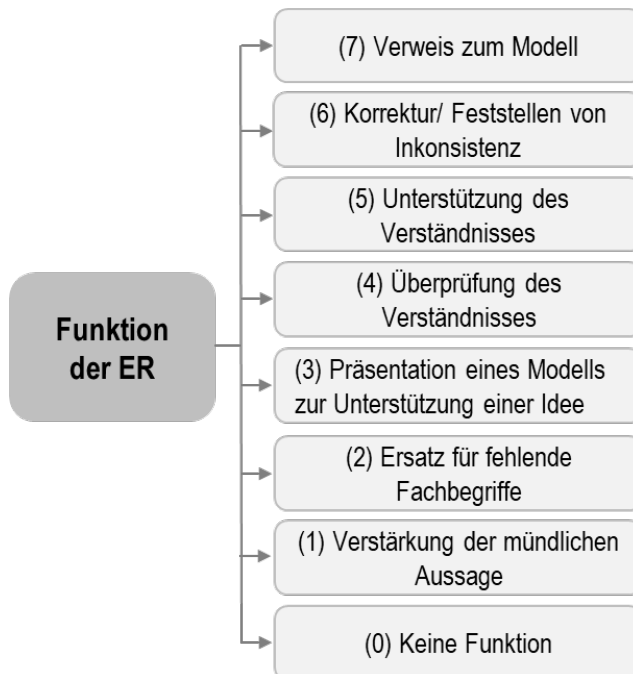
2.1 Vermitteltes Konzeptwissen:

Regel: Pro Lernenden wird jeweils eine Facette der Visualisierung und eine Facette Verbal disjunktiv vergeben.

Variable	Kategorie	Facette	Definition	Ankerbeispiel
Vermitteltes Konzeptwissen	1 Visualisierung	0 Falsch	Die Kategorie wird vergeben, wenn die Lernenden die beteiligten Edukte und/oder Produkte der Reaktion visuell falsch, also nicht entsprechend der fachlichen Korrektheit anordnen.	
		1 Richtig ohne Protonenübertragung	Die Kategorie wird vergeben, wenn die Lernenden die beteiligten Edukte und Produkte der Reaktion visuell richtig, also entsprechend der fachlichen Korrektheit, anordnen ohne die Protonenübertragung explizit zu visualisieren.	$\text{Cl}^-_{(\text{aq})} \quad \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} \quad + \quad \text{NH}_3_{(\text{aq})} \quad \text{OH}^-_{(\text{aq})} \quad \longrightarrow \quad \text{NH}_4^+_{(\text{aq})} \quad \text{Cl}^-_{(\text{aq})} \quad + \quad 2 \quad \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$ (Pilotierung_Proband 3, 0:21-0:23)
		2 Richtig mit Protonenübertragung	Die Kategorie wird vergeben, wenn die Lernenden die beteiligten Edukte und Produkte der Reaktion visuell richtig, also entsprechend der fachlichen Korrektheit, anordnen und zusätzlich die Protonenübertragung explizit enthalten ist.	
	2 Verbal	0 Falsch	Die Kategorie wird vergeben, wenn die Lernenden Aussagen über die beteiligten Edukte und/oder Produkte der Reaktion sowie Ergänzungen visuell falsch, also nicht entsprechend der fachlichen Korrektheit, verbalisieren.	„Und dann hat das Ammoniak mit dem Wasser reagiert und das Wasser hat ein Elektron abgegeben, was das Ammoniak dann aufgenommen hat, wozu es dann zu NH_4^+ geworden ist und das Wasser wird zu Wasserstoff und OH^- , was ein Elektron abgegeben hat.“ (PG2_23, 0:27-0:54)
		1 Richtig ohne Protonenübertragung	Die Kategorie wird vergeben, wenn die Lernenden Aussagen über die beteiligten Edukte und Produkte der Reaktion sowie Ergänzungen richtig, also entsprechend der fachlichen Korrektheit, verbalisieren ohne die Protonenübertragung explizit zu erwähnen.	„Die Reaktion, die da abläuft ist, Ammoniak reagiert mit Wasser zu dem anderen Ding, das ich nicht benennen kann und Hydroxidionen. Die sind dann halt beide in Wasser gelöst, davor war Wasser Wasser sprich flüssig und Ammoniak gasförmig.“ (PL_4, 1:24-2:08)
		2 Richtig mit Protonenübertragung	Die Kategorie wird vergeben, wenn die Lernenden Aussagen über die beteiligten Edukte und Produkte der Reaktion sowie Ergänzungen entsprechend richtig, also fachlichen Korrektheit, verbalisieren und zusätzlich die Protonenübertragung erwähnen.	„Also auf der atomaren Ebene hat man das Ammoniakgas gehabt, NH_3 gasförmig und H_2O liquid. Und dann hat das H_2O eins von seinen Hs abgegeben an das NH_3 . Dadurch wurde das NH_3 zum NH_4^+ gelöst in Wasser. Und das Wasser wurde zu OH^- . Und das OH^- sorgt dafür, dass es eine Base ist.“ (PL_19, 4:42-5:00)

2.2 Funktionen der externen Repräsentationen

Neben dem Konzeptwissen werden die Segmente der Oberflächenmerkmale *Erklärungs-* und *Beschreibungsphase* tiefenanalytisch im Hinblick auf die Variable *Funktion der externen Repräsentationen* kodiert. Es werden ausschließlich solche Situationen tie-



fenanalytisch in Hinblick auf die Funktionen der ER kodiert, in denen die Lernenden neben verbaler Äußerungen die ER nutzen bzw. Bezug zu dieser nehmen. Die Funktionen werden anhand folgender Facetten unterschieden; (1) *Verstärkung der mündlichen Aussage* und (2) *Ersatz für fehlende Fachbegriffe*, (3) *Präsentation eines Modells zur Unterstützung einer Idee*, (4) *Überprüfung des Verständnisses*, (5) *Unterstützung des Verständnisses*, (6) *Korrektur*, und (7) *Verweis zum Modell*. Die Kategorien weisen die höchste Inferenz auf, da die Funktion der ER auf

Abbildung 5. Variablen der Kategorie Funktionen

der Grundlage der Interaktion zwischen Aussage und Visualisierung (z.B. nonverbale Handlungen, Deixis) bzw. dem Kontext kodiert wird. Jede Sinneinheit kann mehrere Funktionen enthalten und somit mehr als einer Facette zugeordnet werden, da hier zum einen der Inhalt und zum anderen die Interaktion zwischen den verbalen Aussagen und der ER in Betracht gezogen werden. Daraus folgt, dass pro Lernenden mehrere Facetten zugeordnet werden und mehrfach vorkommen können.

Die Facette (1) *Verstärkung der mündlichen Aussage* wird vergeben, wenn die ER genutzt wird, um das mündlich Ausgedrückte zu verstärken. ER steht unabhängig von der Erklärung d.h. die Erklärung kann auch ohne ER verstanden werden.

Eine Zuordnung der Kategorie (2) *Ersatz für fehlende Fachbegriffe* wird vergeben, wenn aus den Aussagen der Lernenden hervorgeht, dass das Wissen über das Fachvokabular z.B. Stoffnamen etc. nicht vorhanden ist. Indikatoren hierfür sind bspw. eine explizite Aussage darüber, dass sie für auf die verwiesene Entität der Begriff fehlt.

Der Code (4) *Präsentation der ER* wird nur dann vergeben, wenn die Lernenden ihre erstellte ER oder Elemente dieser ER präsentieren, die eine Idee/ Vermutung unterstützen. Dies kann der Fall sein, wenn Lernende die Anordnung der Elemente begründen oder die Bedeutung eines Elements aus der ER in Beziehung mit ihrer Vorhersage bzw. Idee in Verbindung erläutern. Der Code (5) *Überprüfung des Verständnisses* wird vergeben,

wenn die Lernenden oder der Partner/die Partnerin Unsicherheiten oder Fragen bezüglich der ER oder des Inhalts stellen. Die Kodiereinheit wird mit dem letzten Wort der Aussage, die die Frage bzw. Unsicherheit beinhaltet, beendet. Die Funktion (6) *Unterstützung des Verständnisses* wird dann zugeordnet, wenn die Lernenden sich inhaltlich auf der Ebene des Konzepts befinden (Donator-Akzeptor-Prinzip) oder Teilaspekte des Konzepts (Protonenübertragung, Donator oder Akzeptor) erläutert und währenddessen Bezug zur ER nehmen. Die Facette (6) *Korrektur* wird dann einer Sinneinheit zugeordnet, wenn Lernende die ER nutzen, um Inkonsistenz bezüglich ihrer ER und dem Konzept oder ihren Vorstellungen aufzeigen und Korrekturen vornehmen d.h. nach einer anderen Darstellungsweise/Äußerung suchen. Die Kodierung der Sinneinheit wird mit der vorgenommenen Korrektur beendet. Eine Zuordnung des Codes (7) *Verweis* wird vergeben, wenn die Lernenden sich in der Auswertungs-, Testungs- oder Modellierungsphase befinden und zu ihren Aussagen auf die ER verweisen, ohne zu erwähnen worauf sie sich genau beziehen. Indikatoren für diese Kategorie stellen insbesondere Deixes dar (z.B. Lokaladverbien (hier, da...), Artikel (das, dies...)).

2.2 Funktionen von ER

Regel: Einem Lernenden kann mehr als eine Kategorie zugeordnet werden.

Variable	Kategorie	Definition	Ankerbeispiel	Indikatoren	Abgrenzungsbeispiel
Funktion der ER	Verstärkung mündlicher Aussagen	Die Kategorie wird vergeben, wenn die ER genutzt wird, um das mündlich Ausgedrückte zu verstärken. ER steht unabhängig von der Erklärung d.h. die Erklärung kann auch ohne ER verstanden werden.	„Der war gefüllt mit Ammoniak, gasförmig natürlich deshalb steht da NH_3 G.“ (PL_21, 11:14-11:21)	Betonungen von Einheiten, die in der ER zu sehen sind, Hervorhebungen durch Anstreichen bestimmter Einheiten	
	Ersetzen fehlender Fachbegriffe	Die Kategorie wird vergeben, wenn Lernende die ER nutzen, um fehlendes/vergessenes Fachvokabular zu ersetzen, indem sie mithilfe der ER auf die entsprechende Entität verweisen oder sie reproduzieren. Diese Kategorie wird zum Beispiel vergeben, wenn Lernende a) explizit darauf verweisen, dass ihnen das Fachvokabular fehlt.	a) „Die Reaktion, die da abläuft ist, Ammoniak reagiert mit Wasser zu dem anderen Ding, das ich nicht benennen kann und Hydroxidionen.“ (PL_21, 12:20-12:25)	Substantiv „Ding“, Aussage, dass sie den Begriff nicht kennen	„(...) das Ammoniak dann aufgenommen hat, wozu es dann zu NH_4^+ geworden ist und das Wasser wurde zu Wasserstoff und OH^- .“ (PG2_23, 0:40-0:50)
	Präsentation des Modells zur Unterstützung einer Idee	Diese Kategorie wird vergeben, wenn die Lernenden ihre erstellte externe Repräsentation oder Teilaspekte der Repräsentation präsentieren, die Informationen enthalten, mit denen sie eine ihrer Ideen/Vorhersagen unterstützen. (z.B. Ladung, Gleichgewichtsreaktionspfeil, Anordnungen etc.). Die Kategorie umfasst auch die Situationen, in denen die Lernenden ihre externe Repräsentation allgemein präsentieren, d.h. wenn sie ihr Modell gerade erstellt oder neu erstellt haben.	„Ach so, ja sicher doch. Ich habe zwei Reaktionspfeile gezeichnet. Einen in die Richtung, einen in die andere (...). Natürlich gibt es noch Wasser.“ (PL_21, 1:47-1:52)		„Also auf der atomaren Ebene hat man das Ammoniakgas gehabt, NH_3 gasförmig und H_2O liquid. Und dann hat das H_2O eins von seinen Hs abgegeben an das NH_3 . Dadurch wurde das NH_3 zum NH_4^+ gelöst in Wasser. Und das Wasser wurde zu OH^- . Und das OH^- sorgt dafür, dass es eine Base ist.“ (PL_19, 4:42-5:00)

Überprüfung des Verständnisses	Diese Kategorie wird vergeben, wenn die Lernenden die ER nutzen, um eigene Rückfragen und Rückfragen des Partners zu beantworten. Dies umschließt sowohl Fragen und Unsicherheiten bezüglich der ER als auch des Inhaltes.	„Gibt es kein Wasser mehr, also es gibt kein H ₂ O mehr danach?“ (PL_4,1:41-1:46)		Partner „Ist das ein Plus?“ Erklärender: „Was?“ Partner „Das ist ein (unverständliches Wort)“ Erklärender „+ Na ⁺ + H ₂ O“ (PL_20, 16:13 – 16:23)
Unterstützung des Verständnisses	Diese Kategorie wird vergeben, wenn Lernende eine externe Repräsentation verwenden, um eine Erklärung zu einem Konzept oder einem bestimmten Aspekt des Konzepts abzugeben und explizit Rückbezug zu der ER nehmen. Unter Konzept wird in diesem Fall das Donator-Akzeptor-Prinzip verstanden. Unter Teilaspekte des Konzepts fallen demnach die Protonenübertragung, sowie der Donator und Akzeptor. Im Allgemeinen nutzen Lernende dies, wenn sie es für notwendig halten, auf die Darstellung als Werkzeug zurückzugreifen, um den Dialog mit dem Partner zu erleichtern.	„Also auf der atomaren Ebene hat man das Ammoniakgas gehabt, NH ₃ gasförmig und H ₂ O liquid. Und dann hat das H ₂ O eins von seinen Hs abgegeben an das NH ₃ . Dadurch wurde das NH ₃ zum NH ₄ ⁺ gelöst in Wasser. Und das Wasser wurde zu OH ⁻ . Und das OH ⁻ sorgt dafür, dass es eine Base ist.“ (PL_19, 4:42-5:00)	Konzept + Reproduktion der Elementsymbole, Allgemeine Erklärung des Konzepts mit anschließender Benennung des Donators und Akzeptors in der ER	„Der war gefüllt mit Ammoniak, gasförmig natürlich deshalb steht da NH ₃ G.“ (PL_21, 11:14-11:21)
Zur Korrektur	Diese Kategorie wird vergeben, wenn Lernende die ER nutzen, um Inkonsistenz bezüglich ihrer ER und dem Konzept oder ihren Vorstellungen aufzuzeigen und Korrekturen vornehmen d.h. nach einer anderen Darstellungsweise/Äußerung suchen.	„Dann musst das ja wirklich... das muss ja genau anders herum dann sein. [Umordnung der ER]. Weil es war ja auch am Anfang... Ne... ne... doch so. So muss das also sein.“ (PG2_19, 6:36-7:30)		
Verweis	Diese Kategorie wird vergeben, wenn Lernende Aussagen bezüglich des Konzepts machen und auf eine ER verweisen. Sie wird nur vergeben, wenn die Verweise während der Phasen der Modellierung, des Testens oder der Auswertung stattfindet und nicht ausdrücklich erwähnt wird worauf sie verweisen.	„H ₃ O ⁺ und OH ⁻ werden zu H ₂ O, weil die haben ja Minus und Plus. Und dann geht ein H da hier rüber und ist dann auch nicht mehr geladen.“ (PL_8, 9:34-9:44)	Lokaladverbien (hier, da...), Artikel (das, dies...) Nutzen des digitalen Pointers	

ii. Zusammenfassende Inhaltsanalyse (Begründung)

ID	Zeit	Nr.	Paraphrase	Generalisierung	Reduktion
GG_01	11:51-12:20	1	Ich finde es viel leichter zu verstehen. In der Schule haben wir das so gelernt, deshalb finde ich das einfacher.	In der Schule erlernt deshalb leichter Umgang	K1: Bekanntheit der externen Repräsentation: - Durch den Lehrer - Durch die Lernenden selbst Durch das Auftreten im Chemieunterricht (nicht näher erläutert)
GG_03	13:59 – 14:00	2	Ich habe das Verfahren benutzt, weil es mir am leichtesten vorkommt.	Leichter Umgang (wahrgenommen)	K2: Externe Repräsentation wird eine einfache Verständlichkeit, Übersichtlichkeit zugewiesen.
		3	Der Lehrer erklärt es auch so, sodass ich es leichter verstehe.	Lehrer nutzt es auch.	
GG_05	5:48 – 5:57	4	Ich habe die Darstellungsweise genutzt, weil die anderen zu schwer waren.	Anderen zu schwer	
GG_07		5	Ich habe das (Ionenschreibweise), weil wir das immer so machen.	Proband selbst nutzt diese selbst auch.	
GG_15	5:06 - 5:07	6	Ich habe die Darstellungsweise genommen, weil wir sie im Unterricht hatten.	Im Unterricht wird diese auch genutzt.	
PG2_1	3:47 – 4:06	7	Ich habe die Darstellungsweise genutzt, weil ich glaube, dass sie für mich und andere am einfachsten zu verstehen ist.	Einfachsten zu verstehen.	
		8	Weil sie am ehesten zeigt, was etwas abgibt und aufnimmt.	Visualisiert Bestandteile, die abgeben und aufnehmen.	
PG2_3	10:54 – 11:18	9	Ich habe das gewählt, weil man ganz genau die einzelnen Elemente sehen kann und nicht nur diese Kreise hat. Da kann man nicht direkt sehen, was ist da, da muss man nachdenken. Hier ist das einfacher zu sehen.	Visualisiert Elemente, einfacher zu verstehen und zu sehen.	
PG2_5	6:23 – 6:49	10	Einfach nur, weil du drin hattest, dass alles in Wasser gelöst war. Dann konntest du sehen was überhaupt in dem Gemisch drin war.	Visualisiert die Bestandteile, die im Gemisch waren.	
PG2_10	3:28-3:48	11	Ich habe mich für die Darstellungsweise entschieden, weil ich das übersichtlicher finde als das Kugelteilchenmodell, man sieht halt das Plus und Minus.	Visualisiert die Ladung. Übersichtlich	K3: Begründung über Eigenschaften der ER für den Zweck:

- Die für die Erklärung relevanten Informationen, sind enthalten

PG2_11	0:10-0:20	12	Ich finde, dass die Lewisformel am sinnvollsten ist, da man hier nur die wesentlichsten Sachen sieht und mir die bunte Scheiße auf den S*** geht.	Visualisiert, die wesentlichsten Bestandteile.	
PG2_14	6:48-7:10	13	Ich habe diese Darstellungsweise gewählt, weil man hier sehr gut die einzelnen Ionen sehen kann und sehen kann, wie es sich am Ende ausgleicht. Am Ende lag halt Natriumchlorid gelöst in Wasser vor.	Visualisiert die Ionen und den Ausgleich.	
PG2_18	4:56-5:10	14	Ich habe die gewählt, weil wir sie kennen und es am besten damit nachvollziehen können.	Kennen die Repräsentation	
PG1_3	11:33-11:45	15	Ich habe mich für die Summenformel entschieden, weil ich sie anschaulicher finde und sie irritiert mich nicht so.	Anschaulich	
PG1_4	14:16-14:20	16	Ich finde sei verdeutlicht gut den Ablauf der Reaktion.	Visualisiert den Ablauf.	
PG1_5	15:15-15:28	17	Ich habe mich für diese Darstellungsweise entschieden, weil ich sie für diesen Versuch äußerst einfach und dennoch erklärend und deutlich einfach finde.	Einfach, erklärend	
PG1_6	14:05-14:20	18	Ich habe mich auch für die Summenformel entschieden, weil es dadurch gut zu verstehen ist und anschaulich.	Anschaulich	
PG1_8	5:45-5:55	19	Ich habe mich für die Ionenschreibweise entschieden, weil wir das immer mit der machen.	Verständlich zu verstehen	
PG1_10	2:12-2:25	20	Ich habe mich für die Ionenschreibweise entschieden, weil sie am besten strukturiert und übersichtlich ist.	Im Unterricht wird diese auch genutzt.	
PG1_11	4:54-5:18	21	Ich habe mich für die Strukturformel entschieden, weil man die Elektronenpaare direkt sieht und ich es übersichtlicher finde. Die Ladung ist halt direkt erkennbar und die Moleküle kann man besser auseinanderhalten.	Strukturiert und übersichtlich	
PG1_12	15:20-15:39	22		Übersichtlich	
PG1_13	10:42-10:50	23	Ich habe mich für die Strukturformel entschieden, weil man ganz gut nachverfolgen kann, dass die Neutralisation stattgefunden hat.	Visualisiert Elektronenpaare, Ladung und Moleküle	
PG1_14	0:00-0:08	24	Ich habe mich für die Ionenschreibweise entschieden, weil wir das im Unterricht auch immer so machen.	Übersichtlich, Visualisiert, welche Moleküle miteinander reagieren	
				Neutralisation gut nachvollziehbar.	K4: Begründung über die Eignung der ER, um ein Modell/Vorstellungen zum Ausdruck zu bringen.
				Im Unterricht wird diese auch genutzt.	

PG1_15	6:48-7:40	25	Ich habe die Ionenschreibweise genommen, weil ich die eigentlich am einfachsten finde.	Einfacher Umgang
		26	Dennoch habe ich leider nichts verstanden.	
PG_16	6:31-6:52	27	Ich habe die Summenformel genutzt, weil es am einfachsten ist.	Einfacher Umgang
PG1_17	14:12-14:31	28	Ich habe mich auch für die Ionenschreibweise entschieden, weil wir das im Unterricht hatten.	Im Unterricht wird diese auch genutzt.
		29	So habe ich auch den Überblick, wer mit wem reagiert.	Visualisiert, wer mit wem reagiert.
PG1_21	12:34-13:05	30	Ich habe die genommen, weil es die einzige ist, die ich gut kenne und die einfachste, von den die ich kann. Die rechts davon (Summenformel) ist noch einfacher aber die ist dumm, weil man da nix erkennt und die links (Strukturformel) hätte ich noch gekonnt aber die ist schwieriger.	Bekannt, einfacher Umgang
				Visualisiert Bestandteile, die man benötigt
PG1_22	13:10-13:54	31	Ich habe die Strukturformel gewählt, weil sie in diesem Fall sehr gut veranschaulicht, erstmal in welcher Form die Moleküle vorliegen und dass hier quasi der Arm des Wassermoleküls (verweist) einfach rüber schnappt.	Situationsspezifisch passendste Modell, Visualisiert die Form, anhand der Form lassen sich Rückschlüsse ziehen
PG1_23		32	Ich habe die Ionenschreibweise gewählt, weil man all Informationen sieht, die man braucht.	Visualisiert benötigte Informationen
PG1_24		33	Ich habe mich für die Strukturformel entschieden, weil ich glaube, dass man gut erkennen kann, um welche Stoffe es sich handelt. Wir haben das auch oft in der Schule gemacht also denke ich, dass mein Partner das versteht.	Verständlichkeit
				Im Unterricht wird diese auch genutzt und beigebracht.
PL_2	11:54-12:18	34	Ich habe die Ionenschreibweise genommen, weil man die Ladung sieht aber man sieht die Bindung nicht, das war für den Versuch nicht nötig. Zudem sieht man den Zustand also flüssig, gasförmig oder so.	Visualisiert die Ladung und keine für die Reaktion unnötigen Informationen und den Zustand
PL_5	9:52-9:59	35	Ich habe das gewählt, weil man sieht was sich zusammen tut, was sich abspaltet.	Visualisiert die Reaktionen zwischen den Molekülen/Ionen

PL_7	16:07-16:14	36	Ich habe mich für das Modell entschieden, weil der Vorteil daran war, dass diese drei Moleküle (verweist auf die Legende) vorgestellt wurden und man nicht mehr nachdenken musste.	setzt keine großen Kenntnisse voraus
PL_9	16:32-16:37	37	Ich habe das gewählt, weil wir das so gelernt haben.	Im Unterricht wird diese auch genutzt und beigebracht.
PL_12	12:02-12:09	38	Ich habe das ausgewählt, weil ich damit (Ionenschreibweise) am besten umgehen kann.	Leichter Umgang
PL_14	15:31-16:31	39	Wir haben die Summenformel, weil wir das damit gelernt haben vielleicht könnte man aber auch ergänzen, dass das hier gasförmig ist und das andere flüssig.	Im Unterricht wird diese auch genutzt und erlernt.
PL_18	12:55-13:05	40	Wir haben uns beide für die Ionenschreibweise entschieden, weil man gut erkennen kann, was da passiert.	Visualisiert den Vorgang auf verständliche Art und Weise
PL_21	07:35-07:49	41	Ich habe eine ganz normale Reaktion und die ist nützlich genug. Es geht ja um die atomare Ebene, sprich da wären Strukturformeln nicht sehr nützlich, weil die ist ja nicht groß wichtig (... <i>unverständlich</i>) um das sonst zu verstehen.	Zeigt das Wesentliche

VI. Überprüfung der Voraussetzungen statistischer Verfahren

i. Erste Studie

Tabelle 1. Prüfung der Normalverteilung sowie Varianzhomogenität der Daten der ersten Studie ($N = 294$)

Testinstrument	Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov Test)	Varianzhomogenität (Levene-Test)
Personenfähigkeiten Fachwissen	$D(294) = 0.049, p > .05$	$(F(2, 275) = 1.73, p > .05)$
Personenfähigkeiten Repräsentations- test	$D(294) = 0.064, p < .001$	$(F(2, 275) = 0.30, p > .05)$
Itemschwierigkeiten Fachwissen	$D(28) = 0.074, p > .05$	$(F(3, 24) = 1.16, p > .05)$
Itemschwierigkeiten Repräsentations- test	$D(48) = 0.09, p > .05$	$(F(4, 43) = 2.27, p > .05)$

Tabelle 2. Prüfung der Normalverteilung sowie Varianzhomogenität der Daten der Stichprobe WS 18/19 ($N = 130$)

Testinstrument	Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov Test)	Varianzhomogenität (Levene-Test)
Fachwissen	$D(130) = 0.085, p < .05$	$(F(2, 127) = 9.07, p > .05)$
Repräsentationstest	$D(130) = 0.085, p < .05$	$(F(2, 127) = 2.45, p > .05)$
Subskalen Semantisches Differential		
Subskala I – Konkrete ER	$D(130) = 0.073, p > .05$	$(F(2, 127) = 2.07, p > .05)$
Subskala I – Abstrakte ER	$D(130) = 0.063, p > .05$	$(F(2, 127) = 0.87, p > .05)$
Subskala II – Konkrete ER	$D(130) = 0.054, p > .05$	$(F(2, 127) = 2.11, p > .05)$
Subskala II – Abstrakte ER	$D(130) = 0.058, p > .05$	$(F(2, 127) = 0.60, p > .05)$

i. Zweite Studie

Der Stichprobenumfang beträgt $N = 80$ Teilnehmende. Bei fehlender Normalverteilung der Daten wurde auf nicht parametrische Testverfahren zurückgegriffen, da sich die Stichprobe auf $N \geq 100$ beläuft.

Tabelle 3. Prüfung der Normalverteilung der Daten der zweiten Studie ($N = 80$)

Testinstrument	Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov Test)
Kontrollvariablen	
Wortanalogien (V3-Skala)	$D(80) = 0.14, p < .001$
Figurenanalogien (N2-Skala)	$D(80) = 0.14, p < .05$
Fachinteresse	$D(80) = 0.13, p < .01$
Sachinteresse	$D(80) = 0.11, p < .05$
Generelle Tätigkeitsanreize	$D(80) = 0.23, p < .001$
Folgen- & Folgenanreize – Gute Noten	$D(80) = 0.18, p < .001$
Fachbezogenes Selbstkonzept	$D(80) = 0.10, p < .05$
Kooperationsverhalten	$D(78) = 0.20, p < .001$
Funktionen ER	$D(80) = 0.26, p < .001$
Repräsentationstest (Prä)	$D(80) = 0.09, p > .05$
Repräsentationstest (Post)	$D(80) = 0.17, p < .001$
Fachwissen (Prä)	$D(80) = 0.11, p < .05$
Fachwissen (Post)	$D(80) = 0.10, p < .05$
Itemschwierigkeiten	
Repräsentationsitems (Prä)	$D(48) = 0.07, p > .05$
Repräsentationsitems (Post)	$D(48) = 0.1, p > .05$
Prozessbegleitende Variablen	
Selbsteingeschätzte mentale Denkanstrengung	
Erklären	$D(80) = 0.16, p < .001$
Zuhören	$D(80) = 0.17, p < .001$
Selbsteingeschätzte Aufgabenschwierigkeit	
Erklären	$D(80) = 0.25, p < .001$
Zuhören	$D(80) = 0.20, p < .001$

Tabelle 4. Prüfung der Normalverteilung sowie Varianzhomogenität der Itemschwierigkeiten aus dem Repräsentationstest ($N_{\text{Item}} = 48$)

Repräsentationstest	Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov Test)	Varianzhomogenität (Levene-Test)
Itemschwierigkeiten (Prä)	$D(48) = 0.07, p > .05$	$(F(4, 43) = 2.02, p > .05)$
Itemschwierigkeiten (Post)	$D(48) = 0.1, p > .05$	$(F(4, 43) = 2.26, p > .05)$

VII. Publikationen und Vorträge

Tagungsbandbeiträge

Akman, P. & Fechner, S. (2019). Die Wahrnehmung des Abstraktionsgrades, In: C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018* (S. 811 – 814). Universität Regensburg.

Akman, P. & Fechner, S. (2018). Concrete and abstract external representations in chemistry education. In Finlayson, O. E., McLoughlin, E., Erduran, S., Childs, P. (Eds.), *Electronic Proceedings of the ESERA 2017 Conference. Research, Practice and Collaboration in Science Education*, Part 1 (co-ed. Finlayson, O. & Roser, P.), pp. 65-72. Dublin, Ireland: Dublin City University.

Akman, P. & Fechner, S. (2018). Konkrete und abstrakte Repräsentationen im Chemieunterricht. In: C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht- normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017* (S. 691-694). Universität Regensburg.

Vorträge

Akman, P. & Fechner, S. (2019). *Multiple externe Repräsentationen beim Erklären chemischer Phänomene*. GDGP Jahrestagung, Wien, Österreich.

Akman, P. & Fechner, S. (2019). *Choosing an External Representation to Explain a Chemical Phenomenon*. ESERA Conference, Bologna, Italy. (peer reviewed)

Akman, P. & Fechner, S. (2019). *The Perception and Use of Multiple External Representations in Chemistry Education*. NARST Conference, Baltimore, USA. (peer reviewed)

Akman, P. & Fechner, S. (2018). *Students' Perception and Use of Concrete and Abstract External Representations in Chemistry Education*. ESERA Summer School, Jyväskylä, Finland. (peer reviewed)

Akman, P. & Fechner, S. (2017). *Konkrete und abstrakte Repräsentationen im Chemieunterricht*. GDGP Doktorierendenkolloquium, Essen.

Wissenschaftliche Poster

Akman, P. & Fechner, S. (2019). *Choosing an External Representation to Explain a Chemical Phenomenon*. ESERA Conference, Bologna, Italy. (eingeladenes Poster)

Akman, P. & Fechner, S. (2018). *Students' Perception and Use of Concrete and Abstract External Representations in Chemistry Education*. ESERA Summer School, Jyväskylä, Finland. (peer reviewed)

Akman, P. & Fechner, S. (2018). *Die Wahrnehmung des Abstraktionsgrades von multiplen externen Repräsentationen*. GDCP Jahrestagung, Kiel.

Akman, P. & Fechner, S. (2017). *Concrete and Abstract External Representation in Chemistry Education*. ESERA Conference, Dublin, Ireland.

Akman, P. & Fechner, S. (2017). *Konkrete und abstrakte Repräsentationen im Chemieunterricht*. GDCP Jahrestagung, Regensburg.

VIII. Studie I (Anhang bei Abgabeverversion auf CD)

i. Allgemeines Datenblatt

Allgemeine Daten

Vermerken Sie zunächst Ihren Code. Generieren Sie diesen nach dem folgenden Schema.

Die ersten zwei Ziffern Ihres Geburtstages.

Bsp.: Geburtstag = 09.11.1991

Ersten zwei Ziffern = 09

Der Anfangsbuchstabe des Vornamens Ihrer Mutter: B

Der Anfangsbuchstabe Ihres Vornamens: S

Der Beispielcode würde lauten: 09BS

Ihr vierstelliger Code: ____ ____ ____ ____

Übertragen Sie diesen Code auf die erste Seite des Fachwissenstests bevor Sie mit diesem starten!

Geschlecht: weiblich ☐ männlich ☐ sonstiges ☐

Alter: _____

Studiengang:

☐ Chemie Bachelor of Science

☐ Chemie Bachelor of Education

☐ HRSGe

☐ GyGe

☐ BK

☐ Ernährungslehre Bachelor of Education GyGe

☐ CIW Bachelor of Science

☐ Physik (Variante: Naturwissenschaften/Technik) Bachelor of Science

Hochschulsemester: _____

Fachsemester: _____

Chemie in der Schule: ☐ GK ☐ LK ☐ nur bis Ende der Sek. I

ii. Fachwissensitems

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

mit diesem Fragenbogen möchten wir etwas über Ihr Wissen im Fach Chemie über das Thema Säure- Base erfahren. Hierbei handelt es sich um keine Leistungsüberprüfung. Die von Ihnen erhobenen Daten werden in anonymisierter Form und unter Wahrung der Persönlichkeitsrechte ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke verwendet, sodass ein Rückschluss auf Ihre Person nicht möglich ist.

Bei den möglichen Antworten ist jeweils **eine richtig**. Kreuzen Sie jeweils diejenige Antwort an, von der Sie überzeugt sind, dass sie richtig ist.

Wir bitten Sie, die Aufgaben so gut es geht zu lösen. Wenn Sie die Antwort gar nicht wissen, sollten Sie nicht antworten und nicht raten

Bitte so ankreuzen:

Die Erde ist ...

- ☐ ein Kontinent.
- ☐ eine Sonne.
- ☒ ein Planet.
- ☐ ein Stern.

Bitte so korrigieren

Die Erde ist ...

- ☒ ein Kontinent.
- ☐ eine Sonne.
- ☒ ein Planet.
- ☐ ein Stern.

- S3 Säuren...
- ☐ nehmen in Wasser Oxonium- Ionen (H_3O^+) auf.
 - ☐ bilden in Wasser Laugen.
 - ☐ bilden in Wasser Oxonium- Ionen (H_3O^+).
 - ☐ nehmen in Wasser Protonen (H^+) auf.
- mod.MR, 11
- B6 Welche der Aussagen bezüglich starker und schwacher Basen ist richtig?
- ☐ Bei schwachen Basen ist die Konzentration der Base in wässriger Lösung geringer.
 - ☐ Bei starken Basen ist die Konzentration der Base in wässriger Lösung höher.
 - ☐ Starke Basen liegen in wässriger Lösung vollständig protolysiert/ionisiert vor.
 - ☐ Schwache Basen liegen in wässriger Lösung vollständig protolysiert/ionisiert vor.
- P7 Was versteht man unter dem pH- Wert? Unter pH- Wert versteht man den...
- ☐ dekadischen Logarithmus der OH^- -Konzentration .
 - ☐ dekadischen Logarithmus der H_3O^+ -Konzentration.
 - ☐ negativen dekadischen Logarithmus der OH^- -Konzentration.
 - ☐ negativen dekadischen Logarithmus der H_3O^+ -Konzentration.
- N4 Welche Ionen liegen hauptsächlich nach einer Neutralisation von Salzsäure mit Natronlauge in Wasser gelöst vor?
- ☐ Wasserstoff- Ionen und Hydroxid- Ionen (OH^-).
 - ☐ Säurerest- Ionen und Metall- Ionen.
 - ☐ Hydroxid- Ionen (OH^-) und Säurerest- Ionen.
 - ☐ Metall- Ionen und Wasserstoff- Ionen.
- MR, 54
- N8 Welche Aussage trifft auf den Graphen einer Titration von Schwefelsäure mit Natronlauge zu?
- ☐ Schwefelsäure ist eine zweiprotonige Säure und weist somit zwei Äquivalenzpunkte vor.
 - ☐ Schwefelsäure ist eine dreiprotonige Säure und weist somit drei Äquivalenzpunkte vor.
 - ☐ Der Graph beginnt im basischen Bereich.
 - ☐ Der Äquivalenzpunkt fällt mit dem Neutralpunkt zusammen.
- mod. MR,2

P6 Der Universalindikator färbt sich in Gegenwart von Lauge...

- ☐ blau.
- ☐ gelb.
- ☐ rot.
- ☐ orange.

Mod. SF, S1F2

B7 Welcher der folgenden Stoffe reagiert mit Bortrifluorid (BF_3) nach dem Säure- Base Konzept von Lewis?

- ☐ Fluorid-Ion
- ☐ Wasser
- ☐ Ammoniak
- ☐ Chlorid-Ion

Mod. MR, 6

N7 Welchen Angaben werden benötigt, um nach einer Titration die unbekannte Konzentration der zu titrierenden sauren Lösung zu berechnen?

- ☐ Volumen und Konzentration der Lauge sowie das Volumen der Säure.
- ☐ Nur das Volumen der verbrauchten Lauge.
- ☐ Die Konzentration lässt sich nur über die Veränderung des pH- Wertes berechnen.
- ☐ Masse und Konzentration der Lauge sowie die Masse der Salzsäure.

S6 Welche Aussage bezüglich der Säurestärke ist richtig?

- ☐ Bei schwachen Säuren ist die Konzentration der Säure in wässriger Lösung geringer.
- ☐ Bei starken Säuren ist die Konzentration der Säure in wässriger Lösung höher.
- ☐ Starke Säuren dissoziieren in wässriger Lösung vollständig zu H_3O^+ - Ionen und Säurerest- Ionen.
- ☐ Schwache Säuren dissoziieren in wässriger Lösung vollständig zu H_3O^+ -Ionen und Säurerest- Ionen.

B4 Welche Ionen werden beim Lösen von Natriumhydroxidplättchen in Wasser gebildet?

- ☐ Wasserstoff- Ionen und Hydroxid- Ionen.
- ☐ Natrium- Ionen und Chlorid- Ionen.
- ☐ Natrium- Ionen und Hydroxid- Ionen.
- ☐ Ammoniak- Ionen und Hydroxid- Ionen.

Mod., MR,34

- P4 Der Universalindikator färbt sich in Gegenwart von sauren Lösungen...
- ☐ blau.
 - ☐ grün.
 - ☐ rot.
 - ☐ gelb.
- Mod.SF, S1F2
- S1 Welche Ionen sind die Ursache für eine saure Lösung?
- ☐ Chlorid- Ionen.
 - ☐ Oxonium- Ionen.
 - ☐ Natrium- Ionen.
 - ☐ Hydroxid- Ionen.
- Mod. FK
- B2 Welche Ionen sind die Ursache für eine basische Lösung?
- ☐ Chlorid- Ionen.
 - ☐ Wasserstoff- Ionen.
 - ☐ Natrium- Ionen.
 - ☐ Hydroxid- Ionen.
- AH,12,FK
- N1 Nach einer Neutralisation liegen in einer wässrigen Lösung...
- ☐ keine Ionen vor.
 - ☐ nur positive geladenen Ionen vor.
 - ☐ nur negative geladene Ionen vor.
 - ☐ positiv und negativ geladene Ionen vor.
- MR, 34
- P8 Warum ändert trockenes pH- Papier beim Kontakt mit Chlorwasserstoffgas seine Farbe nicht?
- ☐ Das pH- Papier ändert seine Farbe nicht, da der Indikator nur in wässrigem Medium reagieren kann.
 - ☐ Das pH- Papier ändert seine Farbe nicht, da das Chlorwasserstoffgas nicht sauer genug ist.
 - ☐ Das pH- Papier ändert seine Farbe nicht, da das Chlorwasserstoffgas nicht basisch genug ist.
 - ☐ Das pH- Papier ändert seine Farbe nicht, da das Chlorwasserstoffgas erst sauer reagiert, wenn es mit Wasser zu Oxonium- Ionen und Chlorid- Ionen reagiert hat.
- MR, 39

N6 In welchem Stoffmengenverhältnis liegen die Edukte der Neutralisationsreaktion von Phosphorsäure und Natronlauge vor? (Phosphorsäure zu Natronlauge)

- ☐ 3:1
- ☐ 1:3
- ☐ 2:1
- ☐ 1:2

MR, 30

P2 Welche Aussage über den pH- Wert trifft zu?

- ☐ Der pH- Wert kann nicht unter 1 sinken.
- ☐ Je stärker eine Säure ist, desto höher ist ihr pH- Wert.
- ☐ Der pH- und der pOH- Wert sind immer gleich.
- ☐ Je stärker eine Säure ist, desto niedriger ist der pH- Wert.

MR, 4

S2 Eine Säure ist nach der Definition von Brönsted ein...

- ☐ Protonenakzeptor.
- ☐ Protonendonator.
- ☐ Elektronenpaarakzeptor.
- ☐ Elektronenpaardonator.

MR,2

B1 Eine Base ist nach der Definition von Brönsted ein...

- ☐ Protonenakzeptor.
- ☐ Protonendonator.
- ☐ Elektronenpaarakzeptor.
- ☐ Elektronenpaardonator.

mod. MR,2

S5 Eine Säure entsteht durch eine Reaktion von ...

- ☐ Metalloxiden mit Wasser.
- ☐ Nichtmetalloxiden mit Wasser.
- ☐ Schwermetallen mit Wasser.
- ☐ Metallhydroxiden mit Wasser.

P1 Der Universalindikator färbt sich in Gegenwart von neutraler Lösungen...

- ☐ blau.
- ☐ orange.
- ☐ rot.
- ☐ grün.

Mod.SF,S1F2

- S4 In der Reaktion von Wasser mit Ammoniak reagiert Wasser...
- ☐ als Brönsted- Säure, da es ein Proton abgeben kann.
 - ☐ als Brönsted- Base, da es ein Proton aufnehmen kann.
 - ☐ gar nicht.
 - ☐ weder als Brönsted- Base noch Brönsted- Säure.
- mod. CK, 12
- N2 Am Äquivalenzpunkt einer Titration von einer starken Säure mit einer starken Base...
- ☐ liegen gleiche Stoffmengen von H^+ - und OH^- -Ionen vor.
 - ☐ liegen mehr OH^- Ionen als H^+ -Ionen vor.
 - ☐ liegen mehr H^+ -Ionen als OH^- -Ionen vor.
 - ☐ liegen freie Elektronen vor.
- mod.MR, 31
- P3 Je mehr Lauge zu einer sauren Lösung gegeben wird, desto...
- ☐ saurer wird die Lösung.
 - ☐ höher steigt der pH-Wert.
 - ☐ niedriger sinkt der pH-Wert.
 - ☐ höher steigt der pOH-Wert.
- Mod.MR, 13
- B5 Eine Base entsteht durch eine Reaktion von...
- ☐ Metalloxiden mit Wasser.
 - ☐ Nichtmetalloxiden mit Wasser.
 - ☐ Schwermetallen mit Wasser.
 - ☐ Leichtmetallen mit Wasser.
- S8 Eine Säure ist nach der Definition von Lewis ein...
- ☐ Elektronenpaarakzeptor.
 - ☐ Elektronenpaardonator.
 - ☐ Elektronendonator.
 - ☐ Elektronakzeptor.
- N3 Bei der Reaktion von gleichen Stoffmengen an saurer und basischer Lösung entsteht eine...
- ☐ saure Lösung.
 - ☐ basische Lösung.
 - ☐ geladene Lösung.
 - ☐ Salzlösung .
- Mod. MR, 6

B3 Alle Metallhydroxide setzen die gleichen Ionen frei, wenn man sie in Wasser löst. Welche Ionen sind das?

- ☐ Wasserstoff- Ionen.
- ☐ Hydroxid- Ionen.
- ☐ Oxonium- Ionen.
- ☐ Sauerstoff- Ionen.

mod. AH, 10, FK

S7 Welche der folgenden Verbindungen reagiert mit Cl^- als Säure nach dem Säure- Base- Konzept von Lewis?

- ☐ Aluminiumchlorid
- ☐ Bromwasserstoff
- ☐ Natronlauge
- ☐ Fluorwasserstoff

Mod. MR, 6

P5 Welche der folgenden Aussagen über das Verhältnis der OH^- und H_3O^+ - Konzentrationen ist richtig?

- ☐ Eine OH^- -Konzentration von 10^{-13} und eine H_3O^+ -Konzentration von 10^{-1} beschreiben den pH- Wert 1.
- ☐ Eine OH^- -Konzentration von 10^{-1} und eine H_3O^+ - Konzentration von 10^{-13} beschreiben den pH- Wert 1.
- ☐ Bei einem pH- Wert von 1 liegt die gleiche Konzentration von H_3O^+ und OH^- vor.
- ☐ Bei einem pH- Wert von 1 liegt die doppelte Konzentration von OH^- vor.

B8 Eine Base ist nach der Definition von Lewis ein...

- ☐ Elektronenpaarakzeptor.
- ☐ Elektronenpaardonator.
- ☐ Elektronendonator.
- ☐ Elektronakzeptor.

N9 Welche der folgenden Stoffe kann für die Neutralisation von Salzsäure verwendet werden?

- ☐ Kaliumpermanganat
- ☐ Natriumhydrogencarbonat
- ☐ Calciumcarbonat
- ☐ Aluminiumchlorid

IX. Studie II (Anhang bei Abgabeverision auf CD)

i. Kontrollvariable: Interesse und Motivation

Allgemeine Hinweise

Mit diesem Fragebogen möchten wir etwas über Ihre Interessen im Fach Chemie erfahren. Es geht um Ihre persönliche Meinung und es handelt sich dabei nicht um eine Leistungsüberprüfung.

Bei den folgenden Aussagen sollen Sie von den verschiedenen Antwortmöglichkeiten immer die ankreuzen, die am ehesten Ihre Meinung wiedergibt. Bitte versuchen Sie dabei immer möglichst spontan zu entscheiden.

Hier ist erst einmal eine **Beispielfrage**:

	stimmt gar nicht	stimmt wenig	stimmt ziemlich	stimmt völlig
Ich gehe gerne zur Schule.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Lesen Sie zuerst die Aussage und die vier Antwortmöglichkeiten durch.

Je nachdem, ob Sie gerne zur Schule gehst oder nicht, kreuzen Sie ein Kästchen an.

- Wenn Sie gar nicht gerne zur Schule gehen, dann kreuzen Sie in der ersten Spalte das Kästchen bei '*stimmt gar nicht*' an.
- Wenn Sie nur selten gerne zur Schule gehen, dann kreuzen Sie in der zweiten Spalte das Kästchen bei '*stimmt wenig*' an.
- Wenn Sie öfter gerne zur Schule gehen und nur manchmal nicht so gerne, dann kreuzen Sie in der dritten Spalte das Kästchen bei '*stimmt ziemlich*' an.
- Wenn Sie immer gerne zur Schule gehen, dann kreuzen Sie in der vierten Spalte das Kästchen bei '*stimmt völlig*' an.

Wichtig ist, dass Sie immer nur ein Kästchen ankreuzen.

Wenn Sie unsicher sind, welches Kästchen Sie ankreuzen sollen, dann entscheiden Sie sich für das Kästchen, das Ihrer Meinung am nächsten kommt.

Denken Sie daran: **Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten.**

Viel Spaß!

Geben Sie hier bitte an, in wie weit folgende Aussagen auf Sie zutreffen.		stimmt gar nicht	stimmt wenig	stimmt ziemlich	stimmt völlig
TOSRA _E_26	1. Chemieunterricht langweilt mich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PMI_SA I_42	2. Wenn ich Chemie abwählen könnte, so würde ich dies so- fort tun.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PMI_F GN_93	3. Im Chemieunterricht viel zu können und gut zu sein, ist für mich wichtig, weil ich einen guten Durchschnitt in Chemie haben möchte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PMI_SA I_18	4. In meiner Freizeit beschäftige ich mich auch unabhängig vom Unterricht mit Dingen, die mit Chemie zu tun haben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TOSRA _E_05	5. Chemieunterricht macht mir Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PMI_F GN_91	6. In Chemie viel zu können und gut zu sein ist für mich wich- tig, weil ich gute Noten bekommen möchte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PMI_G TA_41	7. Ich wünschte mir, dass ich mich nicht mit Chemie beschäf- tigen müsste.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TOSRA _E_33	8. Chemie ist eines der interessantesten Schulfächer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PMI_SA I_26	9. Ich mache für Chemie mehr als ich für die Schule brauchen würde.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PMI_SA I_71	10. Chemische Themen interessieren mich nicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PMI_FB F_86	11. Im Chemieunterricht viel zu können und gut zu sein ist für mich wichtig, damit meine Chemielehrerin/mein Chemie- lehrer mit mir zufrieden ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TOSRA _E_12	12. Ich mag keinen Chemieunterricht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PMI_G TA_47	13. Zu Chemie muss ich mich zwingen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TOS- RAE_19	14. Ich hätte gerne mehr Chemieunterricht in der Woche.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Geben Sie hier bitte an, in wie weit folgende Aussagen auf Sie zutreffen.		stimmt gar nicht	stimmt wenig	stimmt ziemlich	stimmt völlig
TOS- RAE_40	15. Chemieunterricht ist Zeitverschwendung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PMI_FB F_82	16. Im Chemieunterricht viel zu können und gut zu sein ist für mich wichtig, damit ich von meinen Mitschülern ge- schätzt werde.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PMI_G TA_35	17. Was wir in Chemie machen, ist schrecklich langweilig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TOS- RAE_61	18. Ich freue mich auf den Chemieunterricht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TOS- RAE_68	19. Ich würde Schule ohne Chemieunterricht besser finden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Manche Fächer findet man ziemlich schwer und in anderen wiederum kommt man besser zurecht. Wie geht es Ihnen mit Chemie?

		stimmt gar nicht	stimmt wenig	stimmt ziemlich	stimmt völlig
FS Sbk1	1. Ich bin in Chemie gut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FS Sbk2	2. Chemie fällt mir leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FS Sbk3	3. Wenn der Chemielehrer eine Frage stellt, weiß ich meistens die richtige Antwort.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FS Sbk4	4. In Chemie bin ich gut, auch ohne dass ich dafür lerne.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FS Sbk5	5. Im Chemie-Unterricht mitzukommen fällt mir leicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FS Sbk6	6. Chemieaufgaben kann ich gut lösen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sie arbeiten im Unterricht sicherlich öfter auch mal in Partnerarbeit. Wie gefällt Ihnen die Partnerarbeit?

		stimmt gar nicht	stimmt wenig	stimmt ziemlich	stimmt völlig
FS Koop1	1. Meine Mitschüler hören mir zu, wenn ich in einer Partnerarbeit etwas zu sagen habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FS Koop2	2. Bei einer Partnerarbeit arbeite ich gut mit meinen Mitschülern zusammen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FS Koop3	3. Ich arbeite gern mit meinen Mitschülern in Gruppen zusammen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ii. Abhängige Variablen

Fachwissenstest

S3 Säuren...

- ☐ nehmen in Wasser Oxonium- Ionen (H_3O^+) auf.
- ☐ bilden in Wasser Laugen.
- ☐ bilden in Wasser Oxonium- Ionen (H_3O^+).
- ☐ nehmen in Wasser Protonen (H^+) auf.

mod.MR, 11

B6 Welche der Aussagen bezüglich starker und schwacher Basen ist richtig?

- ☐ Bei schwachen Basen ist die Konzentration der Base in wässriger Lösung geringer.
- ☐ Bei starken Basen ist die Konzentration der Base in wässriger Lösung höher.
- ☐ Starke Basen liegen in wässriger Lösung vollständig protolysiert/ionisiert vor.
- ☐ Schwache Basen liegen in wässriger Lösung vollständig protolysiert/ionisiert vor.

N4 Welche Ionen liegen hauptsächlich nach einer Neutralisation von Salzsäure mit Natronlauge in Wasser gelöst vor?

- ☐ Wasserstoff- Ionen und Hydroxid- Ionen (OH^-).
- ☐ Säurerest- Ionen und Metall- Ionen.
- ☐ Hydroxid- Ionen (OH^-) und Säurerest- Ionen.
- ☐ Metall- Ionen und Wasserstoff- Ionen.

MR, 54

P6 Der Universalindikator färbt sich in Gegenwart von Lauge...

- ☐ blau.
- ☐ gelb.
- ☐ rot.
- ☐ orange.

Mod. SF, S1F2

N7 Welchen Angaben werden benötigt, um nach einer Titration die unbekannte Konzentration der zu titrierenden sauren Lösung zu berechnen?

- ☐ Volumen und Konzentration der Lauge sowie das Volumen der Säure.
- ☐ Nur das Volumen der verbrauchten Lauge.
- ☐ Die Konzentration lässt sich nur über die Veränderung des pH- Wertes berechnen.
- ☐ Masse und Konzentration der Lauge sowie die Masse der Salzsäure.

S6 Welche Aussage bezüglich der Säurestärke ist richtig?

- ☐ Bei schwachen Säuren ist die Konzentration der Säure in wässriger Lösung geringer.
- ☐ Bei starken Säuren ist die Konzentration der Säure in wässriger Lösung höher.
- ☐ Starke Säuren dissoziieren in wässriger Lösung vollständig zu H_3O^+ -Ionen und Säurerest- Ionen.
- ☐ Schwache Säuren dissoziieren in wässriger Lösung vollständig zu H_3O^+ -Ionen und Säurerest- Ionen.

B4 Welche Ionen werden beim Lösen von Natriumhydroxidplättchen in Wasser gebildet?

- ☐ Wasserstoff- Ionen und Hydroxid- Ionen.
- ☐ Natrium- Ionen und Chlorid- Ionen.
- ☐ Natrium- Ionen und Hydroxid- Ionen.
- ☐ Ammoniak- Ionen und Hydroxid- Ionen.

Mod., MR,34

P4 Der Universalindikator färbt sich in Gegenwart von sauren Lösungen...

- ☐ blau.
- ☐ grün.
- ☐ rot.
- ☐ gelb.

Mod.SF, S1F2

S1 Welche Ionen sind die Ursache für eine saure Lösung?

- ☐ Chlorid- Ionen.
- ☐ Oxonium- Ionen.
- ☐ Natrium- Ionen.
- ☐ Hydroxid- Ionen.

Mod. FK

B2 Welche Ionen sind die Ursache für eine basische Lösung?

- ☐ Chlorid- Ionen.
- ☐ Wasserstoff- Ionen.
- ☐ Natrium- Ionen.
- ☐ Hydroxid- Ionen.

AH,12,FK

N1 Nach einer Neutralisation liegen in einer wässrigen Lösung...

- ☐ keine Ionen vor.
- ☐ nur positive geladenen Ionen vor.
- ☐ nur negative geladene Ionen vor.
- ☐ positiv und negativ geladene Ionen vor.

MR, 34

P2 Welche Aussage über den pH- Wert trifft zu?

- ☐ Der pH- Wert kann nicht unter 1 sinken.
- ☐ Je stärker einer Säure ist, desto höher ist ihr pH- Wert.
- ☐ Der pH- und der pOH- Wert sind immer gleich.
- ☐ Je stärker eine Säure ist, desto niedriger ist der pH- Wert.

MR, 4

S2 Eine Säure ist nach der Definition von Brönsted ein...

- ☐ Protonenakzeptor.
- ☐ Protonendonator.
- ☐ Elektronenpaarakzeptor.
- ☐ Elektronenpaardonator.

MR,2

B1 Eine Base ist nach der Definition von Brönsted ein...

- ☐ Protonenakzeptor.
- ☐ Protonendonator.
- ☐ Elektronenpaarakzeptor.
- ☐ Elektronenpaardonator.

mod. MR,2

S5 Eine Säure entsteht durch eine Reaktion von ...

- ☐ Metalloxiden mit Wasser.
- ☐ Nichtmetalloxiden mit Wasser.
- ☐ Schwermetallen mit Wasser.
- ☐ Metallhydroxiden mit Wasser.

P1 Der Universalindikator färbt sich in Gegenwart von neutraler Lösungen...

- ☐ blau.
- ☐ orange.
- ☐ rot.
- ☐ grün.

Mod.SF,S1F2

S4 In der Reaktion von Wasser mit Ammoniak reagiert Wasser...

- ☐ als Brönsted- Säure, da es ein Proton abgeben kann.
- ☐ als Brönsted- Base, da es ein Proton aufnehmen kann.
- ☐ gar nicht.
- ☐ weder als Brönsted- Base noch Brönsted- Säure.

mod. CK, 12

N2 Am Äquivalenzpunkt einer Titration von einer starken Säure mit einer starken Base...

- ☐ liegen gleiche Stoffmengen von H^+ - und OH^- -Ionen vor.
- ☐ liegen mehr OH^- Ionen als H^+ -Ionen vor.
- ☐ liegen mehr H^+ -Ionen als OH^- -Ionen vor.
- ☐ liegen freie Elektronen vor.

mod.MR, 31

P3 Je mehr Lauge zu einer sauren Lösung gegeben wird, desto...

- ☐ saurer wird die Lösung.
- ☐ höher steigt der pH-Wert.
- ☐ niedriger sinkt der pH-Wert.
- ☐ höher steigt der pOH- Wert.

mod.MR, 13

B5 Eine Base entsteht durch eine Reaktion von...

- ☐ Metalloxiden mit Wasser.
- ☐ Nichtmetalloxiden mit Wasser.
- ☐ Schwermetallen mit Wasser.
- ☐ Leichtmetallen mit Wasser.

N3 Bei der Reaktion von gleichen Stoffmengen an saurer und basischer Lösung entsteht eine...

- ☐ saure Lösung.
- ☐ basische Lösung.
- ☐ geladene Lösung.
- ☐ Salzlösung .

Mod. MR, 6

B3 Alle Metallhydroxide setzen die gleichen Ionen frei, wenn man sie in Wasser löst. Welche Ionen sind das?

- ☐ Wasserstoff- Ionen.
- ☐ Hydroxid- Ionen.
- ☐ Oxonium- Ionen.
- ☐ Sauerstoff- Ionen.

mod. AH, 10, FK

- P5 Welche der folgenden Aussagen über das Verhältnis der OH^- und H_3O^+ - Konzentrationen ist richtig?
- ☐ Eine OH^- -Konzentration von 10^{-13} und eine H_3O^+ -Konzentration von 10^{-1} beschreiben den pH- Wert 1.
 - ☐ Eine OH^- -Konzentration von 10^{-1} und eine H_3O^+ - Konzentration von 10^{-13} beschreiben den pH- Wert 1.
 - ☐ Bei einem pH- Wert von 1 liegt die gleiche Konzentration von H_3O^+ und OH^- vor.
 - ☐ Bei einem pH- Wert von 1 liegt die doppelte Konzentration von OH^- vor.
- N9 Welche der folgenden Stoffe kann für die Neutralisation von Salzsäure verwendet werden?
- ☐ Kaliumpermanganat
 - ☐ Natriumhydrogencarbonat
 - ☐ Calciumcarbonat
 - ☐ Aluminiumchlorid

*Repräsentationsitems***Allgemeine Informationen**

Vermerken Sie zunächst Ihren Code.

Geschlecht: weiblich ☐ männlich ☐ sonstiges ☐

Alter: _____

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

mit diesem Fragenbogen möchten wir etwas über Ihr Wissen im Fach Chemie über das Thema Säure-Base erfahren. Hierbei handelt es sich um keine Leistungsüberprüfung.

Bei den möglichen Antworten ist jeweils **eine richtig**. Kreuzen Sie jeweils diejenige Antwort an, von der Sie überzeugt sind, dass sie richtig ist.

Wir bitten Sie, die Aufgaben so gut es geht zu lösen. Wenn Sie die Antwort gar nicht wissen, sollten Sie nicht antworten und nicht raten.

Bitte so ankreuzen:

Die Erde ist ...

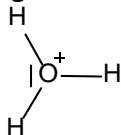
- ☐ ein Kontinent.
- ☐ eine Sonne.
- ☒ ein Planet.
- ☐ ein Stern.

Bitte so korrigieren

Die Erde ist ...

- ☒ ein Kontinent.
- ☐ eine Sonne.
- ☒ ein Planet.
- ☐ ein Stern.

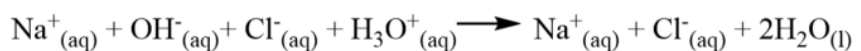
- 1 Welche Aussage trifft auf das folgende Molekül zu? Es entsteht...



- ☐ bei der Bildung einer sauren Lösung.
- ☐ bei der Bildung einer basischen Lösung.
- ☐ als Produkt einer Neutralisationsreaktion.
- ☐ als Produkt einer Reduktion.

S1L

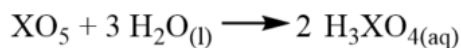
- 2 Welche der folgenden Aussagen trifft auf das Produkt der Reaktion zu? Es liegen...



- ☐ Wasserstoff-Ionen und Hydroxid-Ionen gelöst vor.
- ☐ Säurerest-Ionen und Metall-Ionen gelöst vor.
- ☐ Hydroxid-Ionen und Säurerest-Ionen gelöst vor.
- ☐ Metall-Ionen und Wasserstoff-Ionen gelöst vor.

N4I

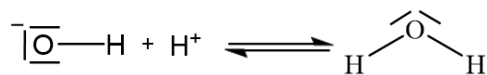
- 3 Aus den folgenden Edukten (X=Nichtmetall) entsteht...



- ☐ eine Säure.
- ☐ eine Base.
- ☐ ein Salz.
- ☐ ein Azeotrop.

S5I

- 4 Was beschreibt die folgende Reaktion? Die Protonen- und Hydroxid-Ionenkonzentration im...



- ☐ neutralen Bereich.
- ☐ basischen Bereich.
- ☐ sauren Bereich.
- ☐ negativen Bereich.

N2L

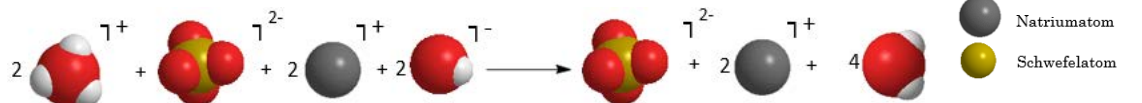
5 Ammoniak reagiert in der folgenden Reaktion als...



- ☐ Protonenakzeptor.
- ☐ Protonendonator.
- ☐ Elektronenakzeptor.
- ☐ Elektronendonator.

B1I

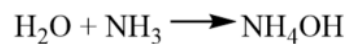
6 Welche Aussage bezüglich der folgenden Reaktion ist richtig?
Für die Neutralisation der Säure...



- ☐ wird die gleiche Menge an Hydroxid-Ionen benötigt.
- ☐ werden 2mol Natronlauge benötigt.
- ☐ wird die gleiche Menge an Oxonium-Ionen verbraucht.
- ☐ wird die gleiche Menge Natronlauge verbraucht.

N8K

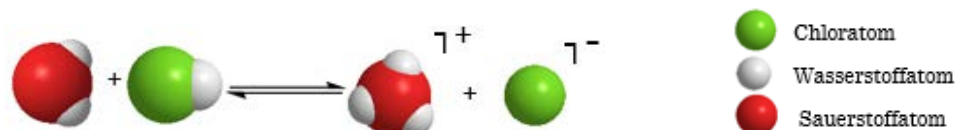
7 In der folgenden Reaktionsgleichung reagiert Wasser als...



- ☐ Reduktionsmittel.
- ☐ Oxidationsmittel.
- ☐ Brönsted-Base.
- ☐ Brönsted-Säure.

S4S

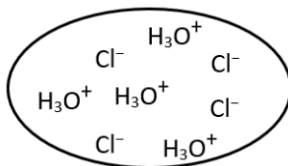
8 Welche Aussage bezüglich der folgenden Reaktion ist richtig?



- ☐ Das Wassermolekül überträgt ein Elektron auf die Salzsäure.
- ☐ Das Wassermolekül nimmt ein Elektron von der Salzsäure auf.
- ☐ Chlorwasserstoff ist eine Base und nimmt Protonen auf.
- ☐ Salzsäure bildet in Wasser Oxonium-Ionen.

S3K

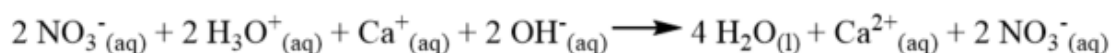
- 9 Folgende Abbildung zeigt eine Säure gelöst in Wasser. Welche Aussage trifft auf die Abbildung zu? Es handelt sich um...



- ☐ eine schwache Säure, da die Konzentration der Säure in wässriger Lösung geringer ist.
- ☐ eine starke Säure, da die Konzentration der Säure in wässriger Lösung höher ist.
- ☐ eine starke Säure, da sie in wässriger Lösung vollständig zu Oxo-nium-Ionen und Säurerest-Ionen dissoziiert.
- ☐ eine schwache Säure, da sie in wässriger Lösung vollständig zu Oxo-nium-Ionen und Säurerest-Ionen dissoziiert.

S6I

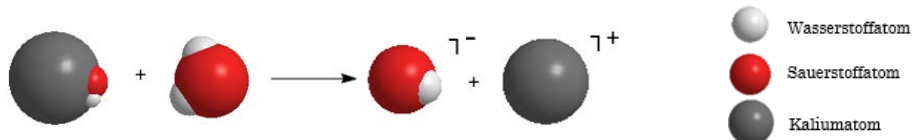
- 10 Welche Aussage bezüglich der Produkte folgender Reaktion ist richtig? Nach der Reaktion liegen....



- ☐ keine Ionen vor.
- ☐ nur positiv geladene Ionen vor.
- ☐ nur negativ geladene Ionen vor.
- ☐ positiv und negativ geladene Ionen vor.

N1I

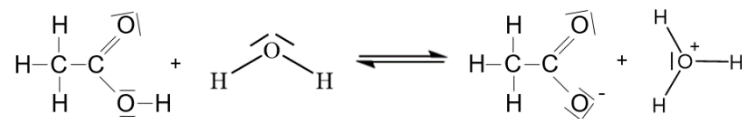
- 11 Was entsteht bei der folgenden Reaktionsgleichung?



- ☐ Eine basische Lösung.
- ☐ Eine saure Lösung.
- ☐ Eine neutrale Lösung.
- ☐ Eine azeotrope Lösung.

B5K

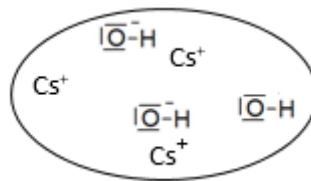
- 12 In der folgenden Reaktion reagiert Essigsäure im wässrigen Medium als...



- ☐ Protonenakzeptor.
☐ Protonendonator.
☐ Elektronakzeptor.
☐ Elektrondonator.

S2L

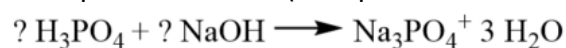
- 13 Folgende Abbildung zeigt eine Base in Wasser gelöst. Welche Aussage trifft auf die Base zu? Es handelt sich um eine...



- ☐ schwache Base, da sie in Wasser vollständig dissoziiert.
☐ starke Base, da sie in Wasser vollständig dissoziiert.
☐ schwache Base, da die Konzentration der Base in wässriger Lösung hoch ist.
☐ starke Base, da die Konzentration der Base in wässriger Lösung hoch ist.

B6L

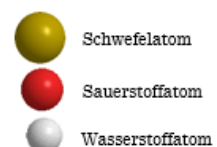
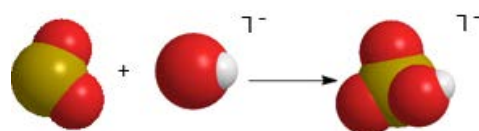
- 14 In welchem Stoffmengenverhältnis liegen folgende Edukte der vollständigen Neutralisation von Phosphorsäure vor? (Phosphorsäure zu Natronlauge)



- ☐ 3:1
☐ 1:3
☐ 2:1
☐ 1:2

N6S

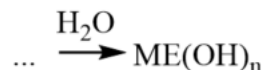
- 15 Welche Aussage trifft auf folgende Reaktion zu? Das Hydroxid-Ionen reagiert als...



- ☐ Elektronenpaarakzeptor also Lewis- Säure.
☐ Elektronenpaardonator also Lewis- Base.
☐ Protonendonator also Brönsted- Säure.
☐ Protonenakzeptor also Brönsted- Base.

B7K

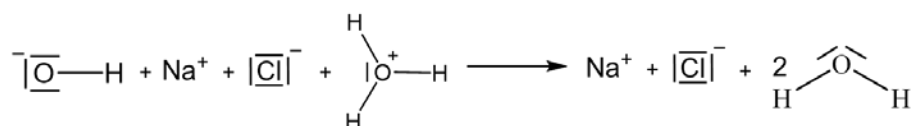
- 16 Welche der folgenden Möglichkeiten entspricht dem fehlenden Edukt der folgenden Reaktion? (ME= Metall)



- ☐ Metalloxid.
- ☐ Nichtmetalloxid.
- ☐ Schwermetall.
- ☐ Leichtmetall.

B3S

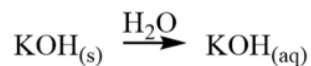
- 17 Welche Aussage trifft auf die folgende Reaktion im wässrigen Medium zu?



- ☐ Beteiligte Ionen verbinden sich zu einem Salz und ihre Ladung wird neutralisiert.
- ☐ Nur elektroneutrale Moleküle sind an der Reaktion beteiligt.
- ☐ Wasser ist ein Produkt dieser Reaktion, sodass sie neutral ist.
- ☐ Elektronen werden übertragen, sodass eine elektroneutrale Lösung vorliegt.

N5L

- 18 Was ist ausschlaggebend für den basischen Charakter der folgenden Lösung?



- ☐ Protonen
- ☐ Kalium-Ion
- ☐ Wassermolekül
- ☐ Hydroxid-Ion

B2S

iii. Prozessbegleitende Variable: Kognitive Belastung

Vermerken Sie zunächst Ihren Code. Mit diesem Fragebogen möchten wir erfahren, wie Sie die Einheit einschätzen. Wichtig ist, dass Sie immer nur ein Kästchen ankreuzt. Wenn Sie nicht wissen, welches Kästchen Sie ankreuzen sollen, dann entscheide Sie sich für das Kästchen, das Ihrer Meinung am nächsten kommt. Denken Sie daran: **Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten.** Nachdem Sie die Erklärung vorbereitet haben, würden wir gerne Ihre Einschätzung zum Material und Ihren Denk-Anstrengungen erfahren.

Wie leicht oder schwer war das Material bei der Vorbereitung der Erklärung zu verstehen?

sehr leicht	leicht	eher leicht	weder leicht noch schwer	eher schwer	schwer	sehr schwer
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bei der Vorbereitung der Erklärung war meine geistige Denk-Anstrengung...

sehr gering	gering	eher gering	weder gering noch hoch	eher hoch	hoch	sehr hoch
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Nun würden wir gerne Ihre Einschätzung zum Material und Ihren Denk-Anstrengungen während des Zuhörens der Erklärung Ihres Partners erfahren.

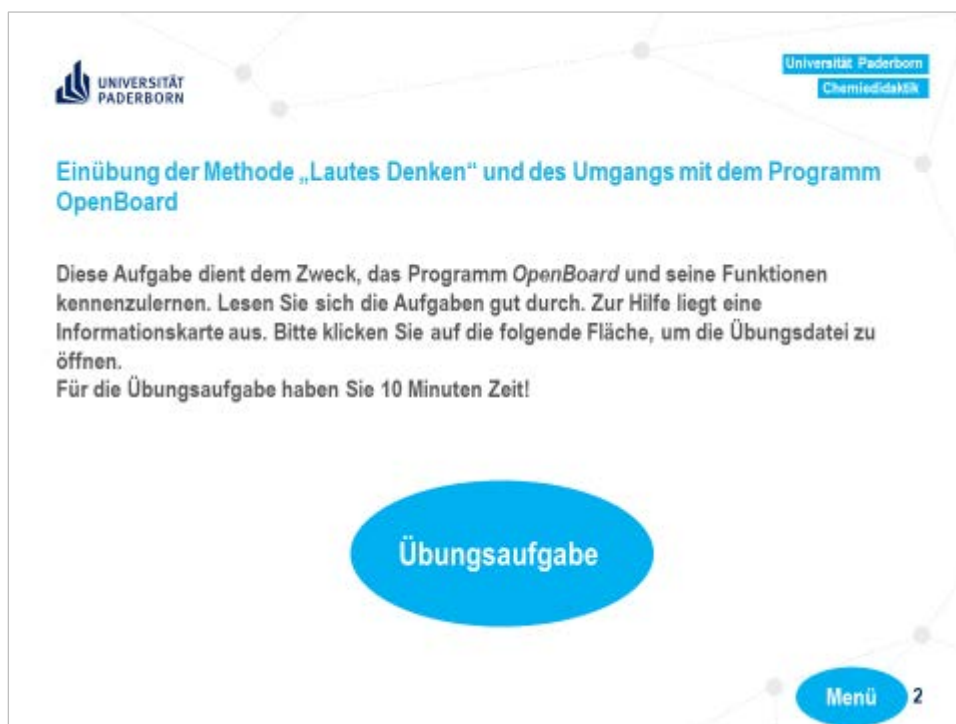
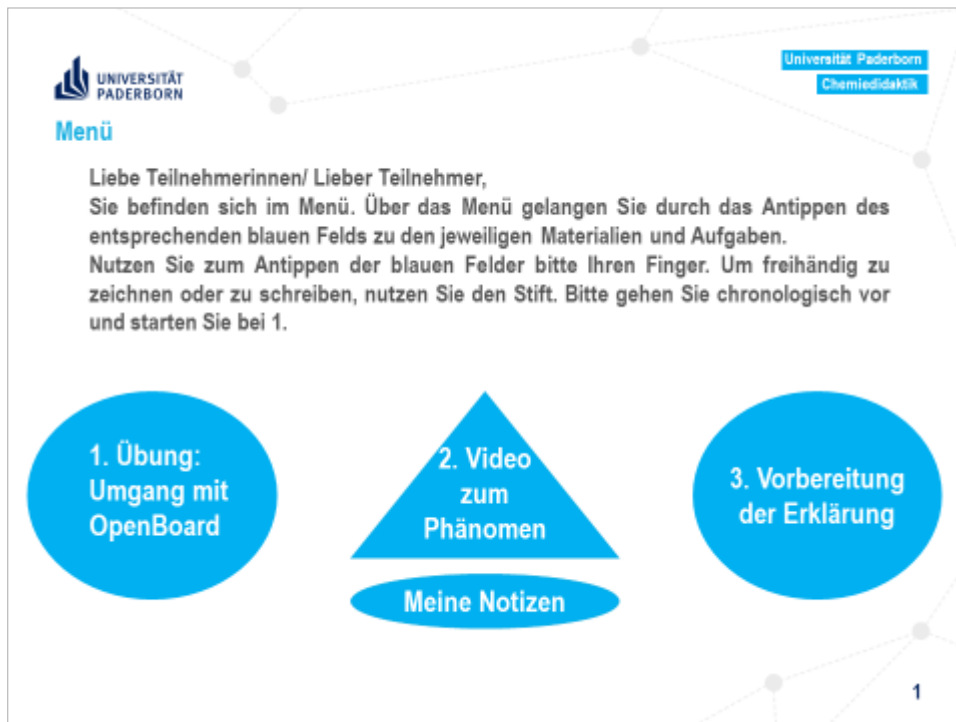
Wie leicht oder schwer war das Material bei der Erklärung Ihres Partners zu verstehen?

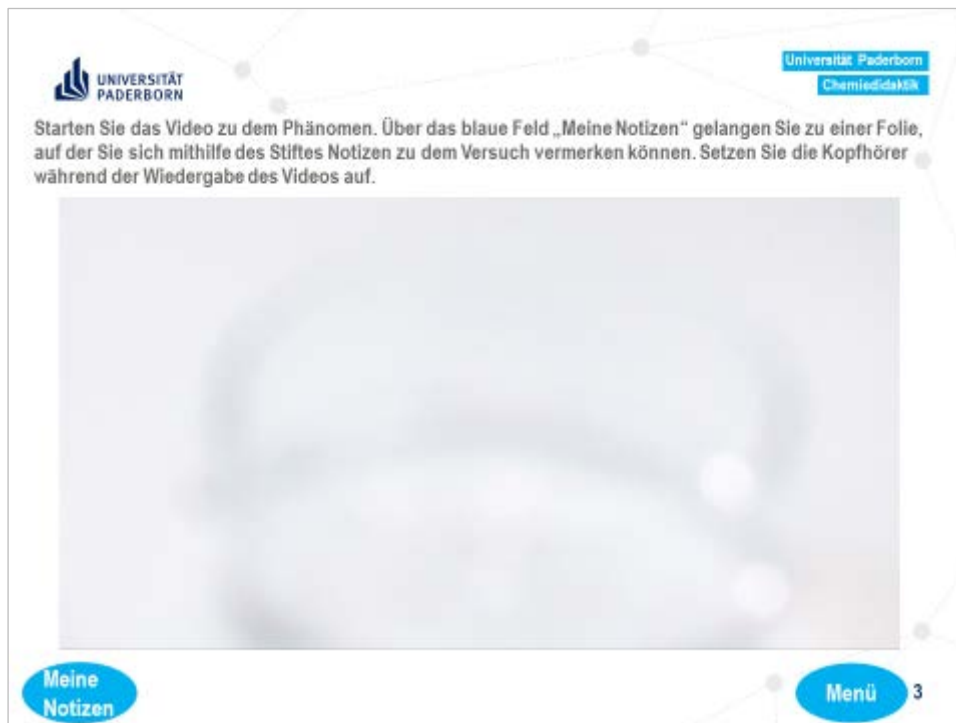
sehr leicht	leicht	eher leicht	weder leicht noch schwer	eher schwer	schwer	sehr schwer
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Beim Zuhören der Erklärung war meine geistige Denk-Anstrengung...

sehr gering	gering	eher gering	weder gering noch hoch	eher hoch	hoch	sehr hoch
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

iv. Screenshots von der Lernumgebung





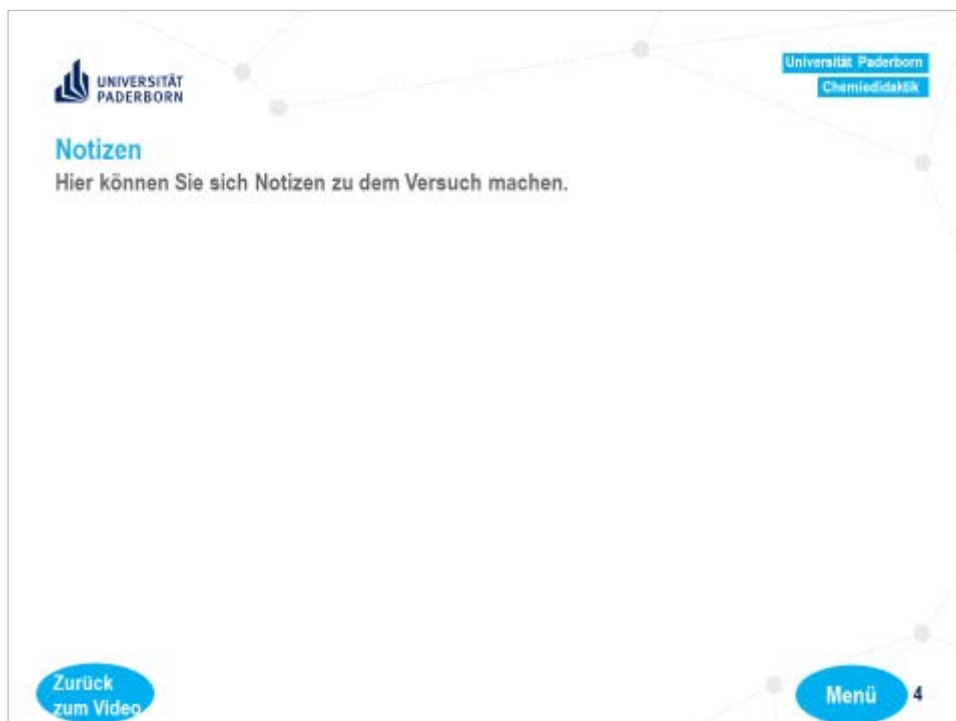
UNIVERSITÄT PADERBORN

Universität Paderborn
Chemiedidaktik

Starten Sie das Video zu dem Phänomen. Über das blaue Feld „Meine Notizen“ gelangen Sie zu einer Folie, auf der Sie sich mithilfe des Stiftes Notizen zu dem Versuch vermerken können. Setzen Sie die Kopfhörer während der Wiedergabe des Videos auf.

Meine Notizen

Menü 3



UNIVERSITÄT PADERBORN


Universität Paderborn
Chemiedidaktik

Notizen

Hier können Sie sich Notizen zu dem Versuch machen.

Zurück zum Video

Menü 4




Universität Paderborn
 Chemiedidaktik

Bitte trennen Sie zunächst die Kopfhörer von dem Tablet, bevor Sie die Erklärung vorbereiten.

Weiter zur
Vorbereitung der
Erklärung

5




Universität Paderborn
 Chemiedidaktik

Vorbereitung der Erklärung

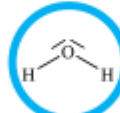
Aufgabe

Sie haben ein Phänomen im Video beobachtet, bereiten Sie eine Erklärung des ablaufenden Phänomens auf der atomaren Ebene für Ihren Partner vor. Gehen Sie davon aus, dass Ihr Partner das Phänomen nicht kennt.

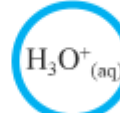
Für die Erklärung stehen Ihnen unterschiedliche Darstellungsformen des atomaren Bereichs zur Wahl. Wählen Sie eine aus und erstellen Sie eine Darstellung/Reaktionsgleichung mit der Sie das Phänomen erklären möchten.




Kalottenmodell



Strukturformel



Ionenschreibweise



Verhältnisformel

Menü

6

Übungsaufgabe zum Programm OpenBoard

The screenshot shows the OpenBoard application window. The top menu bar includes options like 'Stylus', 'Farbe', 'Linie', 'Löschen', 'Hintergründe', 'Rückgängig machen', 'Wiederherstellen', 'Seiten', 'Vorherige', 'Nächste', 'Löschen', 'Board', 'Internet', 'Dokumente', 'Desktop anzeigen', and 'OpenBoard'. The main workspace contains a worksheet with the following text:

Übung: Bearbeiten Sie die folgenden Aufgaben. Auf dem gedruckten Arbeitsblatt finden Sie Hilfe bezüglich der benötigten Funktionen des Programms.

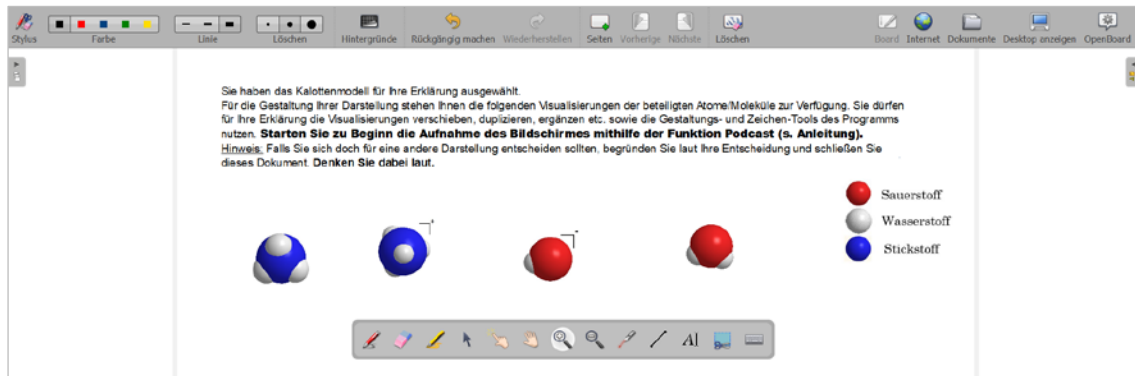
1. Öffnen Sie zunächst mithilfe der Anleitung Podcast.
2. Wählen Sie die Abbildung aus, die sich rechts im Bild befindet.
 - Vergrößern Sie die Abbildung.
 - Duplizieren/Verdoppeln Sie die Abbildung.
 - Verschieben Sie die folgende Abbildung auf die eingezeichnete Linie.
3. Schreiben Sie freihändig das Wort "Molekül" neben die folgende Abbildung.
 - Löschen Sie anschließend das Wort wieder.
4. Sie sehen zwei Darstellungsweisen eines Wassermoleküls. Welche der Darstellungen wurden Sie für die Darstellung eines Wassermoleküls nutzen? DENKEN SIE BITTE LAUT während der Entscheidung.
5. Wechseln Sie von OpenBoard zur Präsentation und wieder zurück.
6. Schließen Sie nun OpenBoard und starten Sie mit dem Arbeitsauftrag bzw. Video.

On the right side of the worksheet, there is a red sphere with a small 'T' above it, and a horizontal line below it. Below the line, there is a chemical structure of a water molecule (H₂O) drawn with lines.

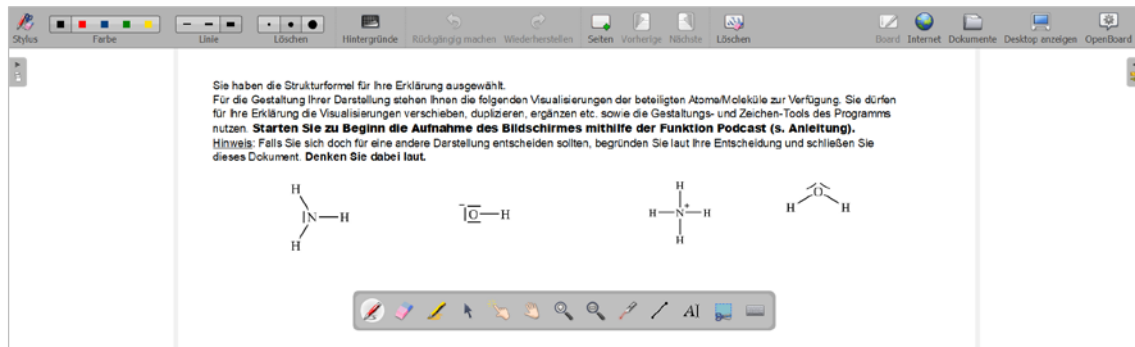
At the bottom of the window, there is a toolbar with various drawing tools like a stylus, eraser, highlighter, selection tools, and text tools.

Screenshots von den OpenBoard Dateien zum Phänomen Springbrunnen

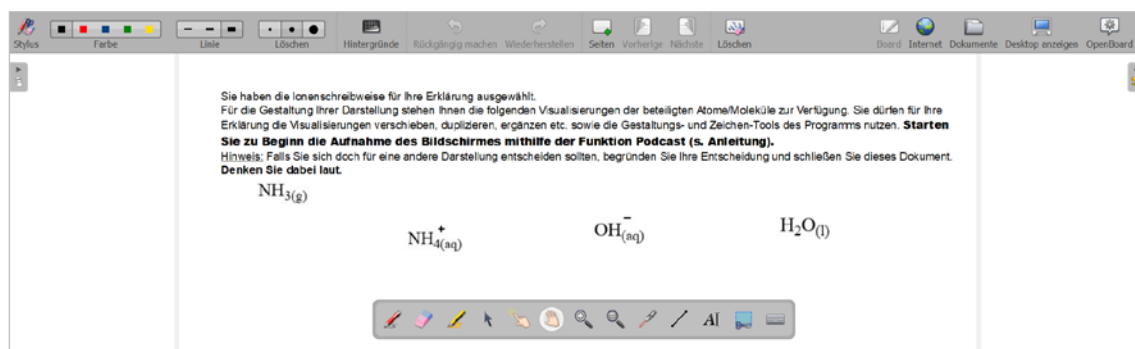
1 Kalottenmodell



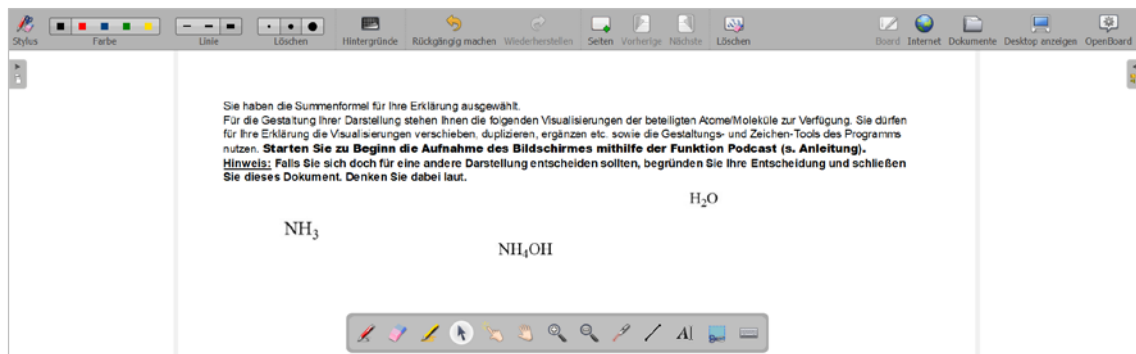
2 Strukturformel



3 Ionenschreibweise

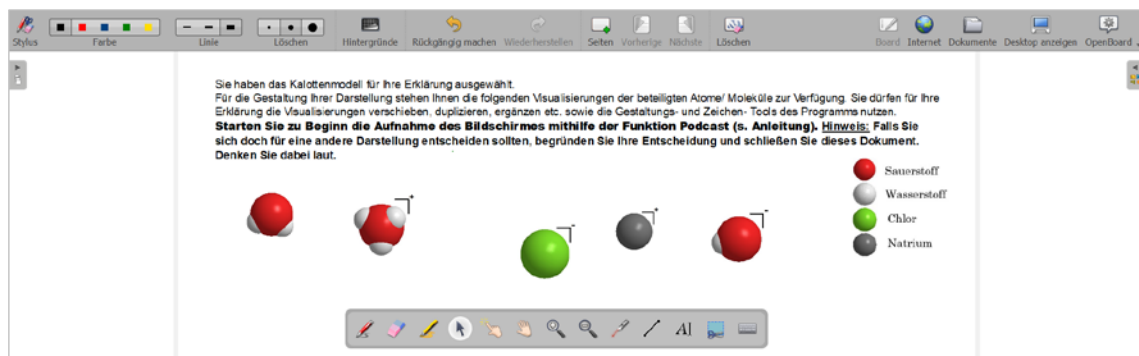


4 Summenformel

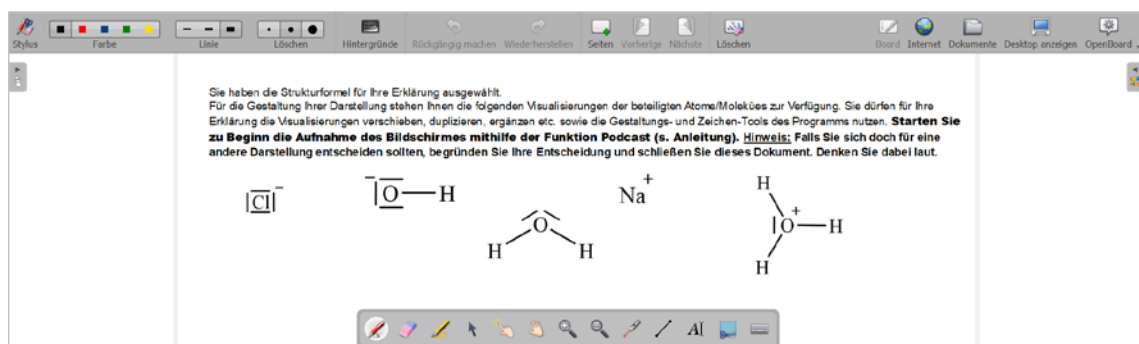


Screenshots von den OpenBoard Datei zum Phänomen Neutralisation

1 Kalottenmodell



2 Strukturformel



3 Ionenschreibweise

Sie haben die Ionenschreibweise für Ihre Erklärung ausgewählt.
Für die Gestaltung Ihrer Darstellung stehen Ihnen die folgenden Visualisierungen der beteiligten Atome/Moleküle zur Verfügung. Sie dürfen für Ihre Erklärung die Visualisierungen verschieben, duplizieren, ergänzen etc. sowie die Gestaltungs- und Zeichen-Tools des Programms nutzen. **Starten Sie zu Beginn die Aufnahme des Bildschirms mithilfe der Funktion Podcast (s. Anleitung).** Hinweis: Falls Sie sich doch für eine andere Darstellung entscheiden sollten, begründen Sie Ihre Entscheidung und schließen Sie dieses Dokument. Denken Sie dabei laut.

$\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$ $\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$ $\text{Na}^+_{(\text{aq})}$ $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ $\text{OH}^-_{(\text{aq})}$

4 Summenformel

Sie haben die Summenformel für Ihre Erklärung gewählt.
Für die Gestaltung Ihrer Darstellung stehen Ihnen die folgenden Visualisierungen der beteiligten Atome/Moleküle zur Verfügung. Sie dürfen für Ihre Erklärung die Visualisierungen verschieben, duplizieren, ergänzen etc. sowie die Gestaltungs- und Zeichen-Tools des Programms nutzen. **Starten Sie zu Beginn die Aufnahme des Bildschirms mithilfe der Funktion Podcast (s. Anleitung).** Hinweis: Falls Sie sich doch für eine andere Darstellung entscheiden sollten, begründen Sie Ihre Entscheidung und schließen Sie dieses Dokument. Denken Sie dabei laut.

NaCl NaOH HCl H_2O