

**Förderung der Modellbildungskompetenz im  
Chemieunterricht durch Anwendung eines  
Modellierungsprozesses unter Integration von  
Differenzierungs- und Digitalisierungsaspekten**

Dissertation  
zur Erlangung des Grades  
des Doktors der Naturwissenschaftslehre  
der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät  
der Universität des Saarlandes

von  
Vanessa Lang

Saarbrücken

2023

**Tag des Kolloquiums:** 10. Juli 2023

**Dekan:** Prof. Dr. Ludger Santen

**Berichterstatter:** Prof. Dr. Christopher W.M. Kay  
Jun.-Prof. Dr. Johann-Nikolaus Seibert  
Prof. Dr. Franziska Perels

**Akad. Mitglied:** Dr. Christian Völzing

**Vorsitz:** Prof. Dr. Gregor Jung

# Danksagung

*„Ohne Spekulation gibt es keine neue Beobachtung.“*

**Charles Darwin**

Nach dreieinhalb Jahren ist es nun soweit, dass diese Dissertationsschrift fertiggestellt werden kann. Diese Zeit war geprägt von spannender Forschung, dem Erleben wissenschaftlichen Austauschs und dem Kennenlernen vieler einzigartiger Personen. An dieser Stelle ist es nun an mir, Danke zu sagen. Mein Dank gilt dabei vor allem den nachfolgenden Personen, ohne deren Unterstützung die Anfertigung dieser Dissertationsschrift niemals in dieser Form möglich gewesen wäre:

Zunächst möchte ich Herrn Prof. Dr. Christopher W. M. Kay, meinem Doktorvater, meinen besonderen Dank für die vielen anregenden Gespräche, die britische Sichtweise auf meinen Werdegang und die Unterstützung im Abschluss meiner Promotion aussprechen. Vielen Dank, dass die finanziellen, räumlichen wie auch personellen Rahmenbedingungen während meiner Promotion meiner Forschung alle Wege öffneten.

Ebenso möchte ich Frau Prof. Dr. Franziska Perels für die Betreuung und Begutachtung dieser Dissertationsschrift danken. Die strukturierenden Gespräche waren mitunter richtungweisend für den weiteren Forschungsprozess. Vielen Dank für den kritischen, bildungswissenschaftlichen Blick auf mein Forschungsvorhaben in jedem Stadium.

Mein Dank gilt außerdem Herrn Jun.-Prof. Dr. Johann-Nikolaus Seibert für die intensive Auseinandersetzung mit fachdidaktischen Fragestellungen, der freundlichen Unterstützung und dem stets anregenden Ideenaustausch. Aus kreativen Synergien entstanden viele gute Ideen, die dieses Forschungsprojekt bereicherten.

Ein ganz besonderes Dankeschön möchte ich Frau Dr. Christine Eckert aussprechen. Die herzliche Betreuung, der fortlaufende, konstruktive Reflexionsprozess sowie die empirische Sichtweise gerade auf die statistischen Komponenten dieses Forschungsprojekts bereicherten die dreieinhalb Jahre meiner Forschung ungemein. Die intellektuellen und persönlichen Gespräche werden mir als ermutigend und motivierend im Gedächtnis bleiben.

Weiterhin bedanke ich mich bei der Arbeitsgruppe der Physikalischen Chemie und Didaktik der Chemie der naturwissenschaftlich-technischen Fakultät an der Universität des Saarlandes. Ich durfte viele freundliche und hilfsbereite Personen kennenlernen. Einen besonderen Dank möchte ich in diesem Zusammenhang meiner Kollegin Annika Eichinger aussprechen. Das stets offene Ohr sowie der anregende fachdidaktische Austausch bleiben für mich unvergessen. Vielen Dank für die Ermutigung, den Zuspruch und die Unterstützung, wenn es in der

Forschung oder dem Beruf mal etwas stressiger wurde. In ähnlichem Maße gilt mein Dank auch Frau Dr. Sabine Fey, die mir während dieser dreieinhalb Jahre stets herzlich, offen und ehrlich gegenüber trat und mich darin bestärkte, mein Vorhaben weiter zu verfolgen. Darüber hinaus möchte ich mich bei allen (ehemaligen) Mitarbeiter\*innen der Arbeitsgruppe Chemiedidaktik bedanken: Michelle Gebhard, Lea Windhäuser, Petra Theobald, Heike Luxenburger-Becker, Thomas Ullinger, Alisha Alexandra Ritz, Anika Hensgen, Lisa Ziegler, Justin Gantenbein, Johanna Fromm, Luca Deeg, Lea Schmitt und Klara Meyer. Vielen Dank für das Engagement in meine fachdidaktische Forschung, die Unterstützung bei der praktischen Umsetzung im NanoBioLab und die emotionale Stütze, die mir diese Arbeitsgruppe während der dreieinhalb Jahre war. An dieser Stelle möchte ich ebenso einen Dank an die Schüler\*innen sowie Lehrkräfte der NanoBioLab Science Schools anschließen, deren Engagement für die praktischen Erprobungen unerlässlich war.

Während meiner Forschungszeit an der Universität des Saarlandes durfte ich campusweit Kontakte knüpfen. Auch unter diesen möchte ich einige in meinen Dankesworten namentlich nennen. Zunächst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Markus Peschel bedanken. Durch ihn flammte mein Ehrgeiz auch in schwierigen Phasen immer wieder neu auf. Mein Dank richtet sich außerdem an Frau Dr. Sarah Bach und Frau Luisa Lauer, die neben einer reibungslosen beruflichen Zusammenarbeit auch für den privaten Austausch sehr schätzenswert waren.

Abschließend möchte ich den Dank an meine Familie und Freunde besonders herausstellen. Diese vielen wundervollen Personen haben mich während der gesamten dreieinhalb Jahre unterstützt, beraten, und darin bestärkt, an mich und meine Fähigkeiten zu glauben. Ein besonderer Dank geht dabei an meinen Partner, der mir nicht zuletzt während der stressigen Finalisierungsphase den Rücken frei gehalten und mich motiviert hat.

## **Zusammenfassung**

In dieser Dissertation wird eine Fördereinheit für die Modellbildungskompetenz (MBK) von Schüler\*innen im Chemieunterricht entwickelt und interdisziplinär evaluiert. Da es für die Chemie nur wenige evaluierte Ansätze gibt, die sich, wie z.B. bei Feige et al. (2012) oder Koch et al. (2015) an Modellierungsprozessen orientieren, werden zunächst im Rahmen einer Befragung zwei Modellierungsprozesse aus der Mathematik und Biologie vorgestellt und von Expert\*innen aus der Chemiedidaktik auf ihre Passung für die Chemie hin bewertet. Auf dieser Grundlage wird ein fusionierter Modellbildungskreislauf für die Chemie entwickelt, woraus eine Lerneinheit im Umfang von vier Stunden zum Thema „Gesetz der Erhaltung der Masse“ für den chemischen Anfangsunterricht entwickelt wird. Die Wirksamkeit der Einheit wird in einem 2-Gruppen-Design mit Messwiederholung beurteilt. Dabei zeigt sich, dass es bei allen teilnehmenden Schüler\*innen zu einem Zuwachs an MBK und Fachwissen gekommen ist. In einer anschließenden Studie wird die Lerneinheit als interaktive Präsentation digital angereichert. In einem 2x2-Design mit Messwiederholung unterscheidet sich die Art der digitalen Modelldarstellung zwischen statisch und dynamisch sowie die Art der Differenzierung in ihrem inhaltlichen Bezug (Fachwissen oder MBK). Es konnten hierfür keine Interaktionseffekte gemessen werden. Allerdings zeigt sich, dass für die MBK inhaltlich bezogene Hilfen signifikant effektiver sind als Hilfen zum Fachwissen.

## **Abstract**

This dissertation develops and evaluates a course unit to enhance students' modeling competence (MBK) in chemistry lessons. Since there are limited evaluated approaches for chemistry that focus on modeling processes, such as Fleige et al. (2012) or Koch et al. (2015), two modeling processes from mathematics and biology are presented in an expert survey and evaluated by chemistry education experts for their suitability in chemistry. Based on the merged cycle resulting from the expert survey, a four-lessons learning course is developed on the topic of "Law of Conservation of Mass" for eighth-grade students, which considers fundamental principles of chemistry didactics. The unit's effectiveness is evaluated in a 2-group design with repeated measurements, which shows that all students have increased their MBK and subject knowledge during the course. In a subsequent study using a 2x2 design with repeated measures, the learning unit is extended as a digital, interactive presentation, with the type of digital model presentation differing between static and dynamic, and the type of differentiation in content-related reference between subject knowledge and MBK. Although no interaction effects are observed, content-related assistance is found to be significantly more effective for MBK than assistance for subject-specific knowledge. These findings contribute to the development of effective approaches for teaching modeling competence in chemistry.

# Inhaltsverzeichnis

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>II</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2 THEORIE</b> .....	<b>4</b>
2.1 MODELLE IN DEN NATURWISSENSCHAFTEN.....	4
2.2 MODELLKOMPETENZ .....	13
2.3 SCHÜLER*INNENVORSTELLUNGEN ZU MODELLEN IM UNTERRICHT.....	16
<b>3 EMPIRISCHE ARBEIT</b> .....	<b>18</b>
3.1 TEIL I: MODELLIERUNGSPROZESS DER CHEMIE .....	18
3.1.1 THEORETISCHER HINTERGRUND.....	18
3.1.2 ZIELSETZUNG UND FRAGESTELLUNG.....	25
3.1.3 METHODISCHES VORGEHEN.....	26
3.1.4 ERGEBNISSE.....	36
3.1.5 DISKUSSION.....	51
3.2 TEIL II: EINSATZ EINES SCHEMAS ZUR FÖRDERUNG DER MODELLBILDUNGSKOMPETENZ UND DES FACHWISSENS IM CHEMIEUNTERRICHT .....	59
3.2.1 THEORETISCHER HINTERGRUND.....	59
3.2.2 ZIELSETZUNG UND FRAGESTELLUNG.....	78
3.2.3 METHODISCHES VORGEHEN.....	81
3.2.4 ERGEBNISSE.....	98
3.2.5 DISKUSSION.....	111
3.3 TEIL III: INTEGRATION VON DIFFERENZIERUNGS- UND DIGITALISIERUNGSASPEKTEN .....	120
3.3.1 THEORETISCHER HINTERGRUND.....	120
3.3.2 ZIELSETZUNG UND FRAGESTELLUNG.....	134
3.3.3 METHODISCHES VORGEHEN.....	139
3.3.4 ERGEBNISSE.....	167
3.3.5 DISKUSSION.....	183
<b>4 ALLGEMEINE DISKUSSION</b> .....	<b>198</b>
4.1 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE.....	198
4.2 LIMITATIONEN UND IMPLIKATIONEN .....	201
4.3 AUSBLICK .....	202

**ANHANG..... I**

**I. ANSCHREIBEN DER EXPERTENBEFRAGUNG..... I**

**II. ANSCHREIBEN BEI BEFRAGTEN MIT PERSÖNLICHEM BEZUG:..... II**

**III. FRAGEBOGEN DER EXPERTENBEFRAGUNG..... III**

**IV. CHARAKTERISIERUNG DER STICHPROBE BEI DER EXPERTENBEFRAGUNG..... XI**

**V. ERGEBNISSE DER EXPERTENBEFRAGUNG.....XIX**

**VI. MATERIALIEN DER INTERVENTION IN TEIL II.....LXXV**

**VII. FRAGEBOGEN I-III, STUDIE IN TEIL II..... LXXXVIII**

**VIII. KODIERMANUAL FRAGEBÖGEN, TEIL II..... XCV**

**IX. SPSS-SYNTAX ZUR DATENAUSWERTUNG IN TEIL II ..... C**

**X. ERGEBNISSE DER STUDIE IN TEIL II.....CVI**

**XI. FRAGEBOGEN I-II, STUDIE IN TEIL III .....CXI**

**XII. KODIERMANUAL FRAGEBÖGEN, TEIL III..... CXX**

**XIII. MATERIALIEN DER INTERVENTION IN TEIL III ..... CXXIV**

**XIV. ERGEBNISSE DER STUDIE IN TEIL III.....CXLV**

**XV. SYNTAX ZUR AUSWERTUNG IN TEIL III .....CXLVIII**

## Abkürzungsverzeichnis

MBK Saar	Ministerium für Bildung und Kultur Saarland
KMK	Ständige Vertretung der Kultusministerkonferenz
PISA	Programme for International Student Assessment
MMK	Modellmethodische Kompetenz
MBK	Modellbildungskompetenz
MK	Modellkompetenz
E	Eigenschaften von Modellen
Al	Alternative Modelle
Z	Zweck von Modellen
T	Testen von Modellen
Ae	Ändern von Modellen
FI	Fachinteresse
FSK	Fähigkeitsselbstkonzept
EG	Experimentalgruppe
KG	Kontrollgruppe
UV	Unabhängige Variable
AV	Abhängige Variable



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einteilung von Modellen nach verschiedenen Gesichtspunkten (Eschenhagen et al., 1993, S. 326).....	6
Abbildung 2: Schwefel in den drei Repräsentationsebenen der Chemie: makroskopische, submikroskopische und symbolische Ebene.....	13
Abbildung 3: Modellierungsprozess nach Justi und Gilbert (2006), S. 122.....	20
Abbildung 4: Modellierungsprozess zum Zweck der Erkenntnisgewinnung (Fleige et al., 2016, S. 7).....	21
Abbildung 5: Modellbildungskreislauf nach Schupp (1988), S. 11.....	22
Abbildung 6: Modellierungskreislauf für den Chemieunterricht (Emden et al., 2019, S. 9)...	23
Abbildung 7: Prozessschema naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung durch Modellieren nach Göhner & Krell (2018), S. 47.....	24
Abbildung 8: Übersicht über vorgestellte Modellierungsprozesse (blau: ohne Übergänge, rosa: mit Übergängen) .....	25
Abbildung 9: Ausschnitt aus dem Video zur Vorstellung der Subdimensionen zur Modellkompetenz (Video abrufbar über den QR-Code rechts neben dem Bild) .....	33
Abbildung 10: Ausschnitte aus den Videos zur Erklärung der Modellierungsprozesse.....	35
Abbildung 11: Ergebnisse der Expertenbefragung zu verschiedenen Modellen in der Ausbildung (Frage 1), Vergleich der praxis- und forschungsorientierten Beziehung .....	37
Abbildung 12: Ergebnisse der Expertenbefragung zur Modellkompetenz in der Ausbildung (Fragen 2-3), Vergleich der praxis- und forschungsorientierten Beziehung .....	39
Abbildung 13: Ergebnisse der Expertenbefragung zu Modellen in der fachdidaktischen Forschung (Fragen 4 a+b und 5 a+b), nur forschungsorientierte Beziehung (n=56), alle Angaben in gültigen Prozent.....	40
Abbildung 14: Ergebnisse der Expertenbefragung zur Modellkompetenz in der fachdidaktischen Forschung (Frage 6 a+b), nur forschungsorientierte Beziehung (n=56), alle Angaben in gültigen Prozent.....	41
Abbildung 15: Ergebnisse der Expertenbefragung zu Modellen und Modellkompetenz im Chemieunterricht (Fragen 4 c und 5 c), nur praxisorientierte Beziehung (n=42), Angaben in Prozent .....	42
Abbildung 16: Ergebnisse der Expertenbefragung zum Kontext der Modellkompetenz im Chemieunterricht (Frage 6 c), nur praxisorientierte Beziehung (n=42), Angaben in Prozent. 43	
Abbildung 17: Ergebnisse aus der Expertenbefragung: Assoziation zum Begriff Modellkompetenz (Frage 7), deduktive Auswertung .....	44

Abbildung 18: Ergebnisse der Expertenbefragung zur Modellkompetenz nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) im Chemieunterricht (Fragen 8.1 und 8.2), Angaben in Prozent..	45
Abbildung 19: Ergebnisse der Expertenbefragung zu positiv bewerteten Aspekten der Modellkompetenz nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) (Frage 9), Auswahl, getrennt nach Bezug, Angaben in gültigen Prozent.....	46
Abbildung 20: Ergebnisse der Expertenbefragung zu abzuändernden Aspekten der Modellkompetenz nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) (Frage 9), Auswahl, getrennt nach Bezug, Angaben in gültigen Prozent.....	47
Abbildung 21: Ergebnisse aus der Expertenbefragung: Assoziationen zu Modellierungsprozessen in der Chemie zur Förderung der Modellkompetenz (Frage 11), deduktive Auswertung .....	48
Abbildung 22: Ergebnisse der Expertenbefragung zur Übertragbarkeit eines Modellierungsprozesses aus der Biologie auf die Chemie (Fragen 12.1 und 13), getrennt nach Bezügen, Angaben in Prozent.....	49
Abbildung 23: Ergebnisse der Expertenbefragung zur Übertragbarkeit von Modellierungsprozessen aus der Mathematik auf die Chemie (Fragen 12.2 und 15), getrennt nach Bezügen, Angaben in Prozent .....	50
Abbildung 24: Entwicklung eines Modellierungsprozesses für die Chemie zur Förderung der Modellbildungskompetenz.....	54
Abbildung 25: Modellierungsprozess für die Chemie am Beispiel kochenden Wassers .....	56
Abbildung 26: Concept Cartoon zur Abhängigkeit des Teilchenmodells von der Temperatur (İnel & Balım, 2013, S. 378).....	68
Abbildung 27: Aufbau des Boyle-Versuchs nach Johannsmeyer et al. (2001, S. 156). .....	70
Abbildung 28: Reaktion des Boyle-Experiments auf allen drei Ebenen des Chemieunterrichts .....	71
Abbildung 29: Die Verschiebung in den Relevanzdimensionen in Abhängigkeit vom Alter der Schüler*innen (Stuckey et al., 2014, S. 179).....	73
Abbildung 30: bearbeitetes Reflexionsschema „Salzlösung“ (Caspari et al., 2018, S. 26).....	76
Abbildung 31: Übersicht über den Ablauf der Intervention in Teil II.....	89
Abbildung 32: Materialien zu Modellierungsaufgabe mit dem Überraschungsei unbekannter Füllung in der vorbereitenden Einheit von Teil II .....	91
Abbildung 33: Aufgaben der Haupteinheit in Teil II verortet im Modellierungsprozess aus Teil I.....	92
Abbildung 34: Versuchsaufbau Experiment 1 .....	93

Abbildung 35: Versuchsaufbau Experiment 2 .....	93
Abbildung 36: Übersicht über die Intervention in Studie 1, untergliedert nach Gruppen .....	95
Abbildung 37: Auszug aus dem Kodiermanual der Erhebung in Teil II .....	100
Abbildung 38: Werte der Modellbildungskompetenz zu allen drei Messzeitpunkten in Teil II .....	107
Abbildung 39: Werte des Fachwissens zu allen drei Messzeitpunkten in Teil II .....	108
Abbildung 40: Von Schüler*innen zusammengestellte Plakate zur Haupteinheit in Teil II, oben: gewissenhafte Bearbeitung, unten: unzureichende Bearbeitung.....	113
Abbildung 41: 2x2-Design in Teil III .....	139
Abbildung 42: Auszug aus dem Kodiermanual der Erhebung in Teil II rot: Ergänzungen zum Kodiermanual nach Grünkorn et al. (2014) .....	143
Abbildung 43: Beispielseite der begleitenden, interaktiven Präsentation in der Intervention, Teil III.....	150
Abbildung 44: Verwendete Icons in der begleitenden, interaktiven Präsentation, Teil III ...	151
Abbildung 45: Übersicht über den Ablauf der Intervention in Teil III.....	152
Abbildung 46: Wortwolke zur Aktivierung des Alltagsbezugs im Zusammenhang mit Verbrennungen (Link zur Wortwolke: <a href="https://answergarden.ch/2796934">https://answergarden.ch/2796934</a> ) .....	154
Abbildung 47: Aufgaben der Haupteinheit in Teil III verortet im Modellierungsprozess aus Teil I .....	155
Abbildung 48: Materialien zur Darstellung der Modelle zu Experiment 1 in Teil III.....	156
Abbildung 49: Versuchsaufbau Experiment 2, Teil III .....	157
Abbildung 50: Sicherungsblatt zur Wiederholung der Lerneinheit in Teil III (Erwartungshorizont in Anhang „XIII. Erwartungshorizont Sicherungsblatt“) .....	160
Abbildung 51: Modellbildungskompetenz zu beiden Messzeitpunkten in Teil III, getrennt nach Gruppen.....	175
Abbildung 52: Fachwissen zu beiden Messzeitpunkten in Teil III, getrennt nach Gruppen. .	178
Abbildung 53: Auszug aus den interaktiven Präsentationen in Teil III: Entwicklung eines mentalen Modells zu Experiment 2 .....	185
Abbildung 54: Auszüge aus den bearbeiteten Präsentationen, .....	187
Abbildung 55: Kombination aus einem Item mit geschlossenem und einem Items mit offenem Format zur Verbrennung von Schwefel (Petermann et al., 2008, S. 15) .....	195
Abbildung 56: in Teil I entwickelter Modellierungsprozess für die Chemie .....	199



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Funktionen von Modellen im (Chemie-) Unterricht (grün: Übereinstimmung aller drei Quellen; blau: Übereinstimmung in 2 Quellen; gelb: nur einmal benannt).....	9
Tabelle 2: Operationalisierung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns nach Wellnitz et al. (2012).....	12
Tabelle 3: Struktur und Niveaus der Modellkompetenz im Biologieunterricht (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 53) .....	15
Tabelle 4: Ausdifferenzierung der Modellkompetenz nach Meisert (2008) und Upmeier zu Belzen & Krüger (2010) im Vergleich .....	16
Tabelle 5: Übersicht über die Leitfragen der drei inhaltlichen Teile in der Expertenbefragung .....	27
Tabelle 6: Verteilung der Expert*innen über die Geschlechter und Bezüge.....	28
Tabelle 7: Forschungsschwerpunkte unter den forschungsorientierten Befragten .....	29
Tabelle 8: Übersicht über den Leitfaden der Expertenbefragung zum Thema <i>Modelle in der Ausbildung</i> .....	30
Tabelle 9: Übersicht über den Leitfaden der Expertenbefragung zum Thema <i>Modelle in der Anwendung</i> .....	31
Tabelle 10: Übersicht über den Leitfaden der Expertenbefragung zum Thema <i>Modellkompetenz für die Chemie</i> .....	32
Tabelle 11: Übersicht über den Leitfaden der Expertenbefragung zum Thema <i>Modellierungsprozesse</i> .....	34
Tabelle 12: Unterscheidung der Modell- und Modellbildungskompetenz für den Kontext dieser Forschungsarbeit .....	52
Tabelle 13: Merkmale zur Gestaltung des Chemieunterrichts.....	60
Tabelle 14: Übersicht über die Basiskonzepte verschiedener Autor*innen .....	61
Tabelle 15: Implikationen für Handlungsoptionen (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2019a, S. 141f), fett: Überschneidungen zu Tabelle 13.....	64
Tabelle 16: Übersicht über die Forschungsfragen und zugehörigen Hypothesen in Teil II ....	80
Tabelle 17: Übersicht über die Erhebungsinstrumente in Teil II.....	82
Tabelle 18: Übersicht über die Ergebnisse der Inter-Rater-Reliabilitätsanalysen zu den Items mit offenem Format in Teil II, in rot dargestellt sind inakzeptable Werte .....	85

Tabelle 19: Übersicht über die Skalen der Studie in Teil II mit zugehörigen Reliabilitäten, in rot dargestellt sind inakzeptable Werte (für Skalen mit Items gemischter und offener Formate: g: Reliabilität aller Items geschlossenen Formats, g+o: Reliabilität aller Items geschlossenen und offenen Formats).....	87
Tabelle 20: Übersicht über die Kontrollvariablen in der gültigen Stichprobe in Teil II.....	96
Tabelle 21: Übersicht über die Prädiktorvariablen in der Stichprobe der Studie in Teil II nach Gruppen und Geschlechtern.....	97
Tabelle 22. Deskriptive Statistik und Varianzanalysen bezüglich der Gruppen im Vortest von Teil II .....	103
Tabelle 23: Deskriptive Statistik der abhängigen Variablen in Teil II von T=0 bis T=2 .....	105
Tabelle 24: Tests auf Univariate, MANOVA mit Messwiederholung für Modellbildungskompetenz, Studie 1 .....	106
Tabelle 25: Korrelationsmatrix für die Differenzen ( $T_2-T_1$ ) der abhängigen Variablen in Teil II .....	110
Tabelle 26: Möglichkeiten zur Reduktion der kognitiven Belastung des Arbeitsgedächtnisses .....	129
Tabelle 27: Übersicht über Forschungsfrage 1 und zugehörige Hypothesen in Teil III.....	136
Tabelle 28: Übersicht über die Erhebungsinstrumente in Teil III, rot: Überarbeitung zu Instrumenten in Teil II .....	142
Tabelle 29: Werte der Inter-Rater-Reliabilitäten für die Kodierung in Teil III.....	144
Tabelle 30: Übersicht über die Skalen in Teil III mit zugehörigen Reliabilitäten, in rot dargestellt sind inakzeptable Werte (für Skalen mit Items gemischter und offener Formate: g: Reliabilität aller Items geschlossenen Formats, g+o: Reliabilität aller Items geschlossenen und offenen Formats).....	146
Tabelle 31: Übersicht über die Instruktionen an den STOP-Stellen der Intervention in Teil III, rot: Unterschiede zwischen den Gruppen .....	162
Tabelle 32: Charakterisierung der gültigen Stichprobe in Teil III.....	165
Tabelle 33: Deskriptive Statistik der Stichprobe in Teil III (nur gültige Personen).....	166
Tabelle 34: Deskriptive Statistik und Analyse von Unterschieden in den Eingangsvariablen, Teil III .....	170
Tabelle 35: Deskriptive Statistik der abhängigen Variablen in Teil III für T=0 und T=1 .....	173
Tabelle 36: Korrelationsmatrix für die Differenzen ( $T_1-T_0$ ) der abhängigen Variablen in Teil III .....	180

# 1 Einleitung

Im Dezember 2019 wurde in Wuhan in der Volksrepublik China zum ersten Mal die Coronavirus-Krankheit-19 (Akronym: COVID-19) festgestellt. Binnen weniger Wochen weiteten sich die Ansteckungen mit dieser Infektionskrankheit, die durch SARS-CoV-2-Viren und deren Varianten verursacht wird, weltweit aus, sodass schließlich im März 2020 die Weltgesundheitsorganisation (WHO) die Lage zur weltweiten Pandemie erklärte. Bis Ende März 2022 wurden der WHO 483 Millionen Infektionsfälle und 6,1 Millionen Todesfälle im Zusammenhang mit COVID-19 gemeldet. Während der Pandemie waren die Regierungen weltweit zum Schutz der Bevölkerung gezwungen, Maßnahmen zu verordnen, die die Rechte der Bürger\*innen teilweise stark einschränkten. Die Entscheidungen zu solchen Maßnahmen wurden meist auf Basis von Prognosen zum Infektionsgeschehen in den darauf folgenden Wochen getroffen. Um Prognosen über den zukünftigen Verlauf des Infektionsgeschehens treffen zu können, zogen Wissenschaftler\*innen mathematische Modelle heran, die unter Einbezug vieler Variablen den wahrscheinlichsten Fortgang der Pandemie ermittelten (z.B. Barbarossa et al., 2020).

Im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie wurde der Einsatz von Modellen zur Hypothesenbildung, -testung und -überarbeitung für die Gesamtbevölkerung erfah- und nutzbar. Dies verdeutlicht die zentrale Rolle der Erstellung, Testung und Überarbeitung von Modellen in den Naturwissenschaften (Gilbert, Boulter & Elmer, 2000; Treagust et al., 2002) und zeigt aus schulischer Sicht, dass der kompetente Umgang von Lernenden mit Modellen als eine Schlüsselkompetenz auch in der Vorbereitung auf nach- und außerschulische Lernprozesse angesehen werden kann (E. Graf, 2002). Dies spiegelt sich auch in den Bildungsstandards der ständigen Vertretung der Kultusministerkonferenz für die naturwissenschaftlichen Fächer im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung wider:

*Chemie:* „Die Lernenden nutzen ... geeignete Modelle, um Hypothesen zu prüfen oder experimentelle Ergebnisse zu interpretieren. Durch Nutzung von Modellen trägt der Chemieunterricht zur Entwicklung der Fähigkeiten des abstrakten Denkens bei.“ (Kultusministerkonferenz, 2020, S. 10)

*Biologie:* „Insofern ist gerade das Modellieren bzw. kritische Reflektieren des Modells bedeutsamer Teil der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung.“ (Kultusministerkonferenz, 2004c, S. 11) „Modelle sachgerecht nutzen, Modelle praktisch erstellen, ... Sachverhalte mit Modellen erklären, ... Hypothesen erstellen mit einem Modell, Modelle kritisch prüfen im Hinblick auf ihre Aussagekraft und Tragfähigkeit“ (Kultusministerkonferenz, 2004c, S. 17)

*Physik:* „Modellieren von Realität, Aufstellen von Hypothesen, Experimentieren, Auswerten, Beurteilen, kritisches Reflektieren von Hypothesen, Modelle bilden“ (Kultusministerkonferenz, 2004e, S. 10)

Aus diesem Grund sind Modelle und deren reflektierter Einsatz in vielen Kompetenzmodellen zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn verankert (Grube, 2010; Mayer & Wellnitz, 2014; Nehring, 2014; Straube, 2016). Durch den großen Umfang des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung werden allerdings häufig nur Überbegriffe wie z.B. „Modelle nutzen“ (Nehring et al., 2016, S. 4) oder „Naturwissenschaftliche Modellbildung“ (Wellnitz et al., 2012, S. 265) benannt, die Lehrkräften in ihrer alltäglichen Praxis keine konkrete Kompetenzbeurteilung ermöglichen. Konkretisierungen bieten Autor\*innen in Kompetenzmodellierungen speziell zu naturwissenschaftlichen Modellen an. So stellen beispielweise Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) die Modellkompetenz vor, die die Fähigkeiten von Schüler\*innen beschreibt, in der Biologie Modelle zum Zweck der Erkenntnisgewinnung einzusetzen, diese kritisch zu reflektieren und mit diesen Modellen naturwissenschaftliche Probleme zu lösen. Für die Modellkompetenz werden außerdem drei Kompetenzstufen formuliert, in die die entsprechenden Schüler\*innenaktivitäten eingeordnet werden können.

Ausgehend von der großen Bedeutung von Modellen für die Naturwissenschaften sowie der Verankerung von Modellen im Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung, sollten daher Modelle und Modellvorstellungen explizit im Unterricht thematisiert werden (E. Graf, 2002; Mikelskis-Seifert et al., 2011). Bei der Thematisierung von Modellen im Unterricht zeigten vorangegangene Studien allerdings Defizite bei Schüler\*innen, aber auch bei Lehrkräften auf (Fleige et al., 2012). So können Schüler\*innen beispielsweise häufig den Bedeutungsumfang von Modellen in den Naturwissenschaften nicht begreifen (Treagust et al., 2002) oder sehen Modelle nur als „Spielzeuge“ mit großen Übereinstimmungen zwischen Modell und Original (Barke et al., 2018) an. Bei Lehrkräften zeigte sich ebenso, dass auch ihnen die wissenschaftliche Erkenntnistiefe von Modellen nicht immer gänzlich bewusst ist. Sie gaben beispielsweise an, dass Modelle vor allem zum Zweck der Repräsentation und Veranschaulichung und weniger zur Hypothesenbildung eingesetzt werden oder dass verschiedene Modelle zum selben Objekt nicht nebeneinander existieren können, da immer nach dem Modell gesucht wird, dass die Realität am exaktesten beschreibt (Van Driel & Verloop, 1999).

Diese Problematik wird in einigen Fördermaßnahmen aus den Naturwissenschaften aufgegriffen (Fleige et al., 2012; Günther et al., 2017; Koch et al., 2015), die meist auf Modellierungsprozessen basieren. Dabei handelt es sich um Kreisläufe aus der Produktion, Anwendung, Testung und Überarbeitung von Modellen (Koch et al., 2015). Im biologischen Kontext wurden Modellierungsprozesse von Fleige et al. (2016) bereits vielseitig eingesetzt, die explizit die Dimensionen der Modellkompetenz nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) adressieren. Schüler\*innen starten den Modellierungsprozess bei dieser Fördermaßnahme ausgehend von einem Objekt in der Realität. Mit experimentellen Mitteln können daraus Beobachtungen oder Daten abgeleitet werden. Zusammen mit umfassenden Vorüberlegungen entwickeln dann die Schüler\*innen ein erstes Modell des Phänomens. Aus dem Modell werden anschließend Hypothesen abgeleitet, welche durch ein zweites Phänomen geprüft werden. Ausgehend von dem Abgleich der Ergebnisse mit der Hypothese kann diese entweder als vorläufig gültig

angenommen oder als widerlegt abgelehnt werden. Durch den Einsatz dieses Prozesses konnten bereits Niveausteigerungen der Modellkompetenz in biologischen Kontexten (Fleige et al., 2012), wie auch im chemischen Kontext Batterie in der gymnasialen Oberstufe gezeigt werden (Caspari et al., 2018).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zunächst zu überprüfen, ob eine Förderung der Modellkompetenz durch den Einsatz eines Modellierungsprozesses möglich ist, und weiterhin die Einflüsse der Digitalisierung sowie Differenzierung auf die Effektivität der Intervention zu erforschen. Dazu gliedert sich die Dissertation in drei Teile. Im **ersten Teil** wird durch eine leitfragengestützte Expert\*innenbefragung ein Modellierungsprozess entwickelt, der den Eigenheiten der Chemie als Naturwissenschaft gerecht wird. Darauf aufbauend wird im zweiten Teil des Vorhabens eine Unterrichtssequenz im schulischen Curriculum verankert, die sich am Modellierungsprozess aus Teil I orientiert. Die Eignung der Sequenz zur Förderung der Modellkompetenz im Chemieunterricht wird in diesem Teil durch eine quantitative 2-Gruppen-Prä-Inter-Post-Erhebung beurteilt. Ausgehend von den Ergebnissen der Studie in **Teil II** wird die Sequenz überarbeitet und mit Elementen der Differenzierung und Digitalisierung angereichert. Mit einem 2x2-Prä-Post-Design wird schließlich erneut die Eignung zur Förderung der Modellkompetenz und des Fachwissens beurteilt und der Einsatz von Differenzierungs- und Digitalisierungsansätzen für die Förderung der Modellkompetenz in der Chemie evaluiert.

## 2 Theorie

### 2.1 Modelle in den Naturwissenschaften

Bei der Beschäftigung mit dem Thema Modelle fällt zunächst auf, dass keine einheitliche Definition dieses Begriffs existiert. Vorherrschende Beschreibungen zeichnen sich durch unterschiedliche Akzentuierungen aus (z.B. Graf, 2002; Kircher, 1976; Mikelskis-Seifert et al., 2011; Stachowiak, 1973). In der Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie wird das Modell folgendermaßen definiert:

*Modelle sind „konkrete, wegen ‚idealisierender‘ Reduktion auf relevante Züge faßlichere oder leichter realisierbare Repräsentation konkreter oder ‚abstrakter‘ Gegenstände oder Sachverhalte“. („Modell“, 2005, S. 423)*

Dabei wird bereits eine wichtige Modelleigenschaft genannt, die vielen Definitionen gemein ist: Modelle sind Vereinfachungen oder Idealisierungen der Realität. Dadurch weist das Modell Eigenschaften auf, die sich im Original nicht finden (z.B. mit dem Zweck der Hervorhebung), oder das Original weist Eigenschaften auf, die vom Modell nicht abgebildet werden (z.B. zur Reduktion der Komplexität; Mikelskis-Seifert et al., 2011). Außerdem wird am obigen Zitat deutlich, dass nicht nur reale Gegenstände abgebildet werden können, sondern eben auch Gedankenkonstrukte, die „spekulative, gedankliche oder theoretische Interpretationen der sinnlich nicht unmittelbar erfahrbaren Realität“ (Becker & Hildebrandt, 2003, S. 26) sind. Entsprechende Modelle, die sich auf Gedankenkonstrukte beziehen, werden als Denkmodelle (Emden et al., 2019) oder Konstruktmodelle (Eschenhagen et al., 1993) bezeichnet. In der Chemie sind Atommodelle ein sehr präzises Beispiel für Denkmodelle, da Atome bis zu einem gewissen Grad nur Vorstellungen sind, die der Realität lediglich in Auszügen entsprechen. Kircher (1976) ergänzt in seiner Definition von Modellen zwei weitere wichtige Aspekte des Modellcharakters:

*„Ein Modell M ist ein von einem Subjekt S für bestimmte Zwecke und für eine bestimmte Zeit nutzbarer beziehungsweise geschaffener Gegenstand oder theoretisches Konstrukt derart, daß zu bestimmten Elementen von M Analogien zu Elementen des Objekts O bestehen; Modell und/oder Modellobjekt und/oder die Analogie können fiktiv sein.“ (Kircher, 1976, S. 251)*

Davon ausgehend wird deutlich, dass Modelle stets subjektiv sind: sie wurden zum einen von einem Subjekt geschaffen und werden andererseits von einem Subjekt angewendet (Meisert, 2008). Dadurch basiert entsprechend dieser Definition jedes Modell auf „unauflösbaren Subjekt-Objekt-Verflechtungen“ (Stachowiak, 1973, S. 15). Außerdem wird Kirchers Aussage, dass Modelle einen Zweck erfüllen, durch weitere Autor\*innen (Graf, 2002; Mikelskis-Seifert et al., 2011) unterstützt. Dabei muss es sich nicht in erster Linie um einen naturwissenschaftlichen Zweck (Gilbert, Boulter & Elmer, 2000) handeln, sondern Modelle können auch zum Ziel

haben, unabhängig von naturwissenschaftlichen Betrachtungsweisen in der Realität erfolgreich zu operieren (Meisert, 2008).

Nach Stachowiak (1973), in Erweiterung von Graf (2002), lassen sich Modelle weiterhin durch sieben Merkmale charakterisieren, wobei sich die ersten drei Merkmale mit der vorherigen Definition überschneiden:

- **Abbildungsmerkmal:** Modelle sind Modelle von etwas
- **Verkürzungsmerkmal:** Modelle erfassen nicht alle Eigenschaften des Originals
- **Pragmatisches Merkmal:** Modelle werden für jemanden zu einem bestimmten Zweck zu einer bestimmten Zeit entwickelt
- **Erkenntnismerkmal:** Modelle erleichtern das Verstehen
- **Heuristisches Merkmal:** Modelle können zur Hypothesenbildung eingesetzt werden
- **Veranschaulichungsmerkmal:** Modelle sind Veranschaulichungshilfen
- **Prognostisches Merkmal:** Modelle ermöglichen Prognosen und neue Erkenntnisse über das Objekt

Das Erkenntnismerkmal wird von vielen Autor\*innen (z.B. Bindernagel & Eilks, 2008; Haider & Haider, 2018; Rost & Tiemann, 2016; Teichrow & Erb, 2020) unterstützt, was bei dem allgemeinen Erkenntnisumfang von Modellen in den Naturwissenschaften nicht sonderlich verwunderlich ist. Damit einher geht in vielen Ansätzen das Veranschaulichungsmerkmal, da Modelle in ihrer Anschaulichkeit die Komplexität neuer Erkenntnisse reduzieren können, um die Lernenden kognitiv zu entlasten (Becker & Hildebrandt, 2003). Eng verwandt sind auch das heuristische und das prognostische Merkmal. Hypothesengeleitete Unterrichtskonzepte im Zusammenhang mit der Entwicklung, Hypothesengenerierung und Überprüfung von Modellen werden für den Chemieunterricht z.B. bei Petermann et al. (2008), für die Physik bei Teichrow & Erb (2020) und die Biologie bei Pöpping (2002) vorgestellt.

Für die vorliegende Forschungsarbeit werden Modelle entsprechend der Merkmale nach Stachowiak (1973) und Graf (2002) angesehen. Dabei sollen vor allem das Erkenntnismerkmal sowie das prognostische und heuristische Merkmal in den Vordergrund treten, da an diesen Stellen sowohl Schüler\*innen [Modelle als Spielzeuge (Barke et al., 2018) oder Abbilder, nicht als Prognosewerkzeug (Treagust et al., 2002)] wie auch Lehrkräfte [fehlende Erkenntnistiefe, kein Verständnis für alternative Modelle (Fleige et al., 2012; Van Driel & Verloop, 1999)] Schwierigkeiten im Umgang mit Modellen zeigen. Das Abbildungs- sowie Veranschaulichungsmerkmal werden im Folgenden nicht mehr explizit thematisiert, da diese Eigenschaften von Modellen für Schüler\*innen und Lehrkräfte leicht verständlich sind.

### Kategorien von Modellen

Je nachdem wie stark ausgeprägt die einzelnen Merkmale von Modellen sind, lassen sich Klassen von Modellen bilden. Eschenhangen et al. (1993) stellen im Werk Fachdidaktik Biologie folgende Übersicht über verschiedene Klassen von Modellen zusammen (Abbildung 1):

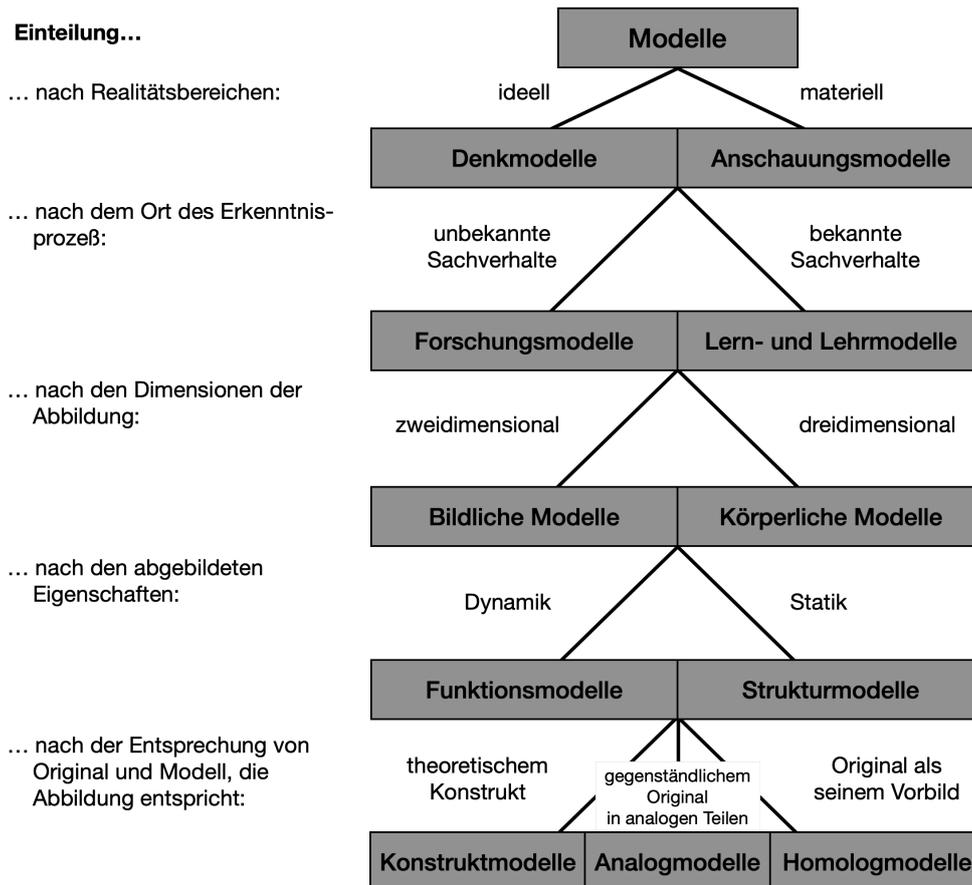


Abbildung 1: Einteilung von Modellen nach verschiedenen Gesichtspunkten (Eschenhagen et al., 1993, S. 326)

Eschenhagen et al. (1993) unterscheiden beispielsweise nach den Realitätsbereichen Denkmodelle und Anschauungsmodelle. Letztere sind nach dieser Definition Modelle, die aus realer Materie bestehen und daher visuell und haptisch wahrgenommen werden können, wohingegen Denkmodelle nur ideell im Geist existieren. Die definitorische Unschärfe im Zusammenhang mit Modellen wird bei dem Begriff Anschauungsmodell deutlich: Im Gegensatz zu Eschenhagen et al. (1993) werden nach Schorn (2012) auch alle Modelle, die im Unterricht Verwendung finden, als Anschauungsmodelle bezeichnet. Im Gegensatz dazu werden Denkmodelle als imaginäre Repräsentation eines Modells häufig auch synonym zu mentalen Modellen verwendet (Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000). Im Zusammenhang mit dieser Einteilung nach dem Realitätsbereich gilt es zu beachten, wie das Anschauungs- und Denkmodell untereinander und mit dem realen Phänomen wechselwirken: Mentale Modelle (Denkmodelle) stellen interne Vorstellungen von realen Phänomenen dar und bilden damit die Grundlage zur Ausarbeitung aller Analogmodelle. Diese werden von Schüler\*innen in modellbasierten Aufgaben stets, in der Regel unbewusst, entwickelt und überarbeitet (Gobert & Pallant, 2004). Außerdem beeinflussen mentale Modelle unsere Wahrnehmung der Wirklichkeit und dadurch wiederum die Entwicklung und Überarbeitung von internalen Denkmodellen (Buckley & Boulter, 2000). Aufgrund dieser Interdependenz bilden Analogmodelle stets neben den intendierten Eigenschaften des Phänomens auch (ungewollte) Eigenschaften des mentalen Modells ab. In Erweiterung zur Einteilung nach dem Realitätsbereich in Anschauungs- und Denkmodellen bezeichnen Emden

et al. (2019) digital dargebotene Modelle, z.B. in Form von Computeranimationen, als virtuelle Simulationsmodelle.

Ein weiteres Unterscheidungskriterium nach Eschenhagen et al. (1993) bei der Klassifikation von Modellen ist die Verankerung im Erkenntnisprozess: Modelle, die einen bekannten Sachverhalt behandeln, stellen Lehr- und Lernmodelle dar, während Modelle zu unbekanntem Sachverhalten als Forschungsmodelle betitelt werden. Dabei gibt es in der praktischen Anwendung von Modellen auch solche, die in Abhängigkeit von der Situation entweder Lehr-Lernmodelle oder Forschungsmodelle sein können. Das Atommodell nach John Dalton (1808) beispielsweise entsprach im 19. Jahrhundert den aktuellen Vorstellungen vom Bau der Materie und griff damit zunächst unbekannte Sachverhalte auf, was das Modell in dieser Situation zum Forschungsmodell macht. In der heutigen Zeit findet das Dalton'sche Atommodell hingegen vor allem im Chemieunterricht Anwendung. Saarländische Schüler\*innen der achten Klasse im naturwissenschaftlichen Zweig eines Gymnasiums wenden das Modell beispielsweise an, um die Bildung von Verbindungen zu deuten oder Verhältnisformeln abzuleiten (MBK Saar, 2012). In diesem Kontext würde nach obiger Definition dasselbe Atommodell als Lehr-Lernmodell bezeichnet werden.

Weiterhin können Modelle nach Eschenhagen et al. (1993) aufgrund ihrer Dimensionalität in zwei- bzw. dreidimensional differenziert werden. Klassische dreidimensionale Modelle im Chemieunterricht sind Molekülbaukästen, während alle bildlichen Darstellungen von Modellen in die Kategorie der zweidimensionalen Modelle fallen. Modelle können sich außerdem in ihrer Funktionalität unterscheiden. Zu den Strukturmodellen, welche sich durch ihre Statik auszeichnen, zählt z.B. das Kalottenmodell eines Propanmoleküls (E. Graf, 2002). Im Gegensatz dazu handelt es sich bei dem Stechhebersversuch um ein Funktionsmodell, da die enthaltene Dynamik das chemische Gleichgewicht veranschaulicht.

Zuletzt unterscheiden Eschenhagen et al. (1993) noch zwischen Konstrukt-, Analog- und Homologmodellen in Abhängigkeit davon, welche Beziehung zwischen dem Original und dem Modell besteht. Bildet das Modell ein reales Original ab, so wird von einem Homologmodell gesprochen. Als Beispiel hierfür kann das Modell einer Pflanzenzelle im Biologieunterricht angesehen werden, welches die reale Zelle abbildet, nur in vergrößerten Dimensionen. Bei einem Analogmodell werden hingegen nur Ausschnitte des Originals von dem Modell abgebildet, indem ein Vergleich zu einem anderen realen Objekt, das Gemeinsamkeiten mit dem in erster Linie abzubildenden Objekt aufweist, hergestellt wird. Die modellhafte Charakterisierung des Mitochondriums als „Kraftwerk der Zelle“ stellt ein Beispiel für ein Analogmodell dar. Zuletzt werden Konstruktmodelle dadurch charakterisiert, dass sie nicht auf ein reales Objekt zurückführen, sondern vielmehr ein gedankliches Konstrukt in dem Modell abbilden. Das beste Beispiel dazu aus dem Chemieunterricht sind alle Teilchenmodelle.

Die vorangegangenen Ausführungen haben bereits gezeigt, dass mit Modellen häufig eine begriffliche Unschärfe einhergeht, die durch den großen Forschungskreis mit diversen

Autor\*innen bedingt ist. Außerdem wurde deutlich, dass ein Modell je nach Situation verschiedene Funktionen einnehmen kann, was eine Mehrfachzuordnung desselben Modells zu unterschiedlichen Kategorien bedingen kann. Auch dies ist der begrifflichen Schärfe im Zusammenhang mit Modellen nicht zuträglich. Für die vorliegende Forschungsarbeit liegt der Fokus zunächst auf der Unterscheidung zwischen dem Denk- und Anschauungsmodell nach Eschenhagen et al. (1993). Dadurch wird im Förderprozess der Tatsache Rechnung getragen, dass beide Modellarten zwar dasselbe Objekt darstellen, sich allerdings aus den Eigenheiten einer gedanklichen bzw. realen Repräsentation generisch Unterschiede ergeben. Dadurch muss in der folgenden Forschung stets diese Diskrepanz mitgedacht werden. Außerdem wird durch die Besonderheit der Chemie (vgl. Kapitel „Modelle in den Repräsentationsebenen der Chemie“) auf die Kategorie der Konstruktmodelle eingegangen, da in der Chemie v.a. Teilchen- und Bindungsmodelle eingesetzt werden, welche alle keine reale Entsprechung haben, sondern ausschließlich auf Gedankenkonstrukten basieren. Die vielseitigen Kategorien von Modellen lassen auf einen weiten Einsatzbereich von Modellen schließen. Die Verortung von Modellen im Lehren und Lernen des Chemieunterrichts wird in den folgenden Abschnitten dargelegt.

#### Funktionen von Modellen im (Chemie-) Unterricht

Zunächst nehmen Modelle im (Chemie-) Unterricht ganz verschiedene Funktionen ein. Der Einsatz von Modellen als Mittel der Erkenntnisgewinnung und als Lernhilfe (Kircher, 1976) wird dabei am häufigsten angebracht. In Tabelle 1 werden die Funktionen von Modellen im Unterricht nach Barke et al. (2018), Saborowski (2000) und Nerdel (2017) gegenübergestellt, da diese Autor\*innen jeweils einen großen Umfang an Funktionen zusammenstellen und sich speziell mit den Funktionen im (Chemie-)Unterricht auseinandersetzen.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Funktionen von Modellen im (Chemie-) Unterricht  
 (grün: Übereinstimmung aller drei Quellen; blau: Übereinstimmung in 2 Quellen; gelb: nur einmal benannt)

Saborowski (2000)	Nerdel (2017)	Barke et al. (2018)
Reduktion komplexer Zusammenhänge	Denkökonomische Funktion: Verständnis erleichtern durch Reduktion	Reduktion komplexer Zusammenhänge
Veranschaulichung von Strukturen, Reaktionen und Verfahren, besonders im Anfangsunterricht	Anschauungsfunktion	Veranschaulichung chemischer Reaktionen
		Veranschaulichung mathematisch-logischer Sachverhalte
		Veranschaulichung und Simulation von Verfahren chemischer Technik
Abbau anthropomorpher Vorstellungen		Abbau anthropomorpher Vorstellungen
Förderung des Abstraktionsvermögens und des formalen Denkens		Generalisierung von Sachverhalten
Lernen des Aufstellens von Prognosen und Hypothesen		Aufstellen von Prognosen und Hypothesen
„Begreifbarmachen“ des Unanschaulichen		
	Fokussieren von Aufmerksamkeit: wesentliche oder hervorgehobene Aspekte	

In Tabelle 1 wird deutlich, dass die Reduktion der Komplexität ebenso wie die Anschauungsfunktion von allen drei Quellen als Funktionen von Modellen benannt werden. Diese beiden Faktoren differenzieren Barke et al. (2018) noch genauer aus, indem sie spezifizieren, welche Sachverhalte im Chemieunterricht veranschaulicht werden. Sie bilden damit drei Klassen von Veranschaulichungen: chemische Reaktionen, mathematisch-logische Sachverhalte und Verfahren chemischer Technik. Beide genannten Aspekte lassen sich der Funktion als Lernhilfe nach Kircher (1978) zuordnen. In drei weiteren Funktionen stimmen Saborowski (2000) und Barke et al. (2018) überein: Beide Quellen sehen den Abbau menschenähnlicher Vorstellungen als eine Funktion von Modellen im Chemieunterricht an. Ebenso können Modelle der Abstraktion und Generalisierung von Sachverhalten oder dem Aufstellen und Überprüfen von Hypothesen dienen. Diese drei Funktionen können dem Mittel der Erkenntnisgewinnung nach Kircher (1978) zugeordnet werden. Darüber hinaus wird von Saborowski (2000) noch das „Begreifbarmachen“ des Unsichtbaren angeführt. Dieser Aspekt bewegt sich sehr nah an der Anschauungsfunktion, da auch hier durch den Einsatz von Modellen Unanschauliches anschaulich gemacht werden soll. Zuletzt fügt Nerdel (2017) noch eine Funktion an, die eng mit der

Funktion von Modellen als Lernhilfe zusammenhängt: Nerdel stellt heraus, dass Modelle auch die Aufmerksamkeit fokussieren können, indem sie z.B. bedeutende Aspekte eines Phänomens oder Objekts infolge einer Hervorhebung im Modell betonen. Mit den unterschiedlichen Funktionen gehen generisch unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten von Modellen im (Chemie-) Unterricht einher.

### Einsatz von Modellen im Unterricht

Treagust et al. (2002) leiten aus den Funktionen von Modellen Empfehlungen für deren Einsatz im Unterricht ab: Zunächst betonen die Autor\*innen die Wichtigkeit zum Umgang mit multiplen Repräsentationen im Chemieunterricht. Dadurch sollen die Lernenden unterschiedliche Repräsentationen wiedererkennen und zwischen diesen wechseln können. In diesem Zusammenhang werden Unterschiede zwischen den Modellen z.B. im Erklärungsumfang thematisiert, um den Schüler\*innen die Vor- und Nachteile verschiedener Modelle zugänglich zu machen. Grundsätzlich sollen die Schüler\*innen demnach ausführlich über die Eigenschaften von Modellen, Unterschiede zur Realität und den Prozess der Modellierung reflektieren (Mikelskis-Seifert, 2010). Darüber hinaus empfehlen Treagust et al. (2002) die unterschiedlichen Funktionen von Modellen im Unterricht explizit zu thematisieren, sodass Schüler\*innen die Erkenntnismacht von Modellen nachempfinden können, anstatt Modelle rein als Abbilder der Realität oder Lernhilfe anzusehen. Dadurch wird der prädiktive Charakter von Modellen betont. Rautenstrauch und Busker (2016) fügen diesen Empfehlungen noch einen zeitlichen Faktor hinzu, indem sie die Verankerung von Modellen mit all ihren Funktionen bereits im Anfangsunterricht verorten, sodass die Lernenden bereits von Beginn an einen umfassenden Modellbegriff erwerben. Nicoll (2001) stimmt dieser Idee vor dem Hintergrund zu, dass seine Forschung zeigte, dass die Vorstellungen der Lernenden, welche sich in Bezug auf Modelle in den Naturwissenschaften ausbilden, auch mit zunehmendem Fachwissen zeitlich stabil sind. In diesem Zusammenhang fügt Graf (2002) das „Prinzip der Entwicklungsgemäßheit“ an, welches besagt, dass im Lernprozess thematisierte Modelle oder Modellexperimente mit dem kognitiven Entwicklungsstand der Schüler\*innen kompatibel sein müssen. Ausgehend davon scheint es kaum verwunderlich, dass Gayle Nicoll (2001) darauf aufmerksam macht, dass die Schüler\*innen bei einer solch kognitiv anspruchsvollen Aufgabe wie der Modellbildung oder dem Umgang mit Modellen im Allgemeinen unterstützt werden sollten, um ihre Fähigkeiten bestmöglich zu entfalten. Gobert und Pallant (2004) fordern darüber hinaus, Modellbildungen kontextorientiert in den Unterricht zu integrieren, um eine Anknüpfung an Wissen zu ermöglichen. Graf (2002) spezifiziert außerdem die im Unterricht eingesetzten Modelle: Zunächst sollten Modelle nur dann zum Einsatz kommen, wenn das Original zu komplex oder unzureichend für den Lernerfolg ist („Prinzip der Originalität“) und wenn im Folgeschluss ein tieferes Verständnis von Strukturen und Beziehungen durch das Modell hergestellt werden kann („Prinzip der Erkenntnisförderung“). Anderenfalls sollte das Original selbst im Unterricht fokussiert werden. Falls ein Modell eingesetzt wird, soll dieses nur so komplex sein, wie es auch unbedingt sein muss, um die Schüler\*innen nicht unnötig zu überfordern („Prinzip der Anschaulichkeit“). Mit Bezug

zum curricularen Fortgang der Schüler\*innen fordert Graf (2002) darüber hinaus, Modelle auf die Möglichkeit zur Weiterentwicklung hin zu untersuchen. Dies ermöglicht es den Schüler\*innen, Modellvorstellungen im Verlauf der Schulzeit stetig zu erweitern, anstatt vorhergehende zu verwerfen und neue unreflektiert anzunehmen. Zuletzt gibt Graf (2002) an, dass Modelle im Chemieunterricht möglichst motivationskräftig für Schüler\*innen sein sollen.

Ausgehend von den vorgestellten Funktionen von Modellen und Empfehlungen zum Einsatz im Unterricht thematisiert das folgende Kapitel die Verankerung von Modellen im naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn der bundesweiten Rahmenvorgaben der Kultusministerkonferenz (KMK 2004, 2020).

### Modelle im naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn

Die Entwicklung und Testung von Modellen stehen im naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn im Fokus (Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000), wodurch nahezu alle wissenschaftlichen Erklärungen sich direkt oder indirekt Modellen bedienen (Gilbert, Boulter, & Rutherford, 2000). Auf Grund dessen ist es wenig verwunderlich, Modelle als expliziten Bestandteil des Kompetenzbereichs *Erkenntnisgewinnung* im Chemieunterricht (KMK, 2004d, 2020) vorzufinden. Beispielsweise sollen Schüler\*innen durch die Verknüpfung experimenteller Ergebnisse mit Modellvorstellungen ein tieferes Verständnis für chemische Reaktionen und Stoffeigenschaften erlangen (KMK, 2004d). Daraus lässt sich ableiten, dass Modelle vor allem in die beiden Basiskonzepte Stoff-Teilchen und Struktur-Eigenschaften hineinspielen.

Wellnitz et al. (2012) differenzieren den Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung weiter aus und messen Modellen erwartungsgemäß einen hohen Stellenwert bei. Sie unterscheiden zwischen den drei Teilbereichen „Naturwissenschaftliche Untersuchungen“, „Naturwissenschaftliche Modellbildung“ und „Wissenschaftstheoretische Reflexion“. Diese Teilbereiche zeichnen sich wiederum durch zwei bis vier untergeordnete Kompetenzaspekte aus (vgl. Tabelle 2). Bei der „Naturwissenschaftlichen Modellbildung“ werden beispielsweise mehrere Modelle hinsichtlich ihrer Funktionen beurteilt (Funktionalität), Modelle zur Überprüfung von Hypothesen herangezogen (Modellanwendung) oder die Anwendbarkeit unterschiedlicher Modelle zur Klärung einer Ausgangsidee geprüft (Grenzen). Auf der Operationalisierung des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung aufbauend entwickeln Walpuski et al. (2010) eine dreidimensionale Kompetenzstruktur, um die Kompetenzstufen von Schüler\*innen einschätzen zu können. Die drei Dimensionen werden neben den inhaltlichen Dimensionen der Kompetenzoperationalisierung aus Tabelle 2 durch zwei schwierigkeiterzeugende Dimensionen gebildet. Als schwierigkeiterzeugende Dimension gilt neben den kognitiven Prozessen, welche von reproduzieren, selektieren über organisieren bis hin zu integrieren reichen, auch die Komplexität, gemessen in der Anzahl integrierter Fakten und Zusammenhänge (1 Fakt, 2 Fakten, 1 Zusammenhang, 2 Zusammenhänge zu übergeordneten Konzepten).

Tabelle 2: Operationalisierung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns nach Wellnitz et al. (2012)

		Erkenntnisgewinnung		
Teilbereiche	Naturwissenschaftliche Untersuchungen	Naturwissenschaftliche Modellbildung	Wissenschaftstheoretische Reflexion	
Aspekte	Fragestellung	Funktionalität	Eigenschaften	
	Hypothese	Modellanwendung	Entwicklung	
	Untersuchungsdesign	Grenzen		
	Datenauswertung			

Gehlen (2016) konnte die drei Teilbereiche in der Kompetenzstruktur der Erkenntnisgewinnung nach Wellnitz et al. (2012) für das Fach Chemie durch eine einfaktorische Varianzanalyse mit post-hoc Least Significant Difference (LSD)-Tests statistisch belegen. Dazu wurde ein Kompetenztest zur Erkenntnisgewinnung (160 Items) pilotiert und entwickelt, der zu jedem der Aspekte (zwei Aspekte der wissenschaftstheoretischen Reflexion wurden ausgehend von Vorstudien als ein Aspekt betrachtet) fünf Items umfasst. Die untergeordneten Kompetenzaspekte konnten in der Hauptstudie nicht alle statistisch voneinander getrennt werden. Die Aspekte Fragestellung, Hypothese und Untersuchungsdesign im Teilbereich Naturwissenschaftliche Untersuchungen unterscheiden sich untereinander nicht signifikant, konnten aber sehr wohl von der Datenauswertung abgegrenzt werden, sodass hier ein zweidimensionales Modell die beste Passung anzeigte. Die Aspekte der „Naturwissenschaftlichen Modellbildung“ und „Wissenschaftstheoretischen Reflexion“ konnten untereinander jeweils nicht statistisch voneinander getrennt werden, wodurch je ein eindimensionales Modell zur Kompetenzbeschreibung des Teilbereichs vorgeschlagen wird.

### Modelle in den Repräsentationsebenen der Chemie

Nach Johnstone (1993) können für die Chemie drei Repräsentationsebenen unterschieden werden: die makroskopische, submikroskopische und symbolische Ebene. Dabei beschreibt die Makroebene (oder Stoffebene) die greifbaren, sichtbaren und wahrnehmbaren Aspekte der Chemie. Auf der submikroskopischen Ebene, auch häufig Teilchenebene genannt, werden molekulare, atomare oder kinetische Repräsentationen bildhaft dargestellt, während die symbolische Repräsentationsebene Symbolschreibweisen, Gleichungen, Stöchiometrie und mathematische Beziehungen subsummiert.

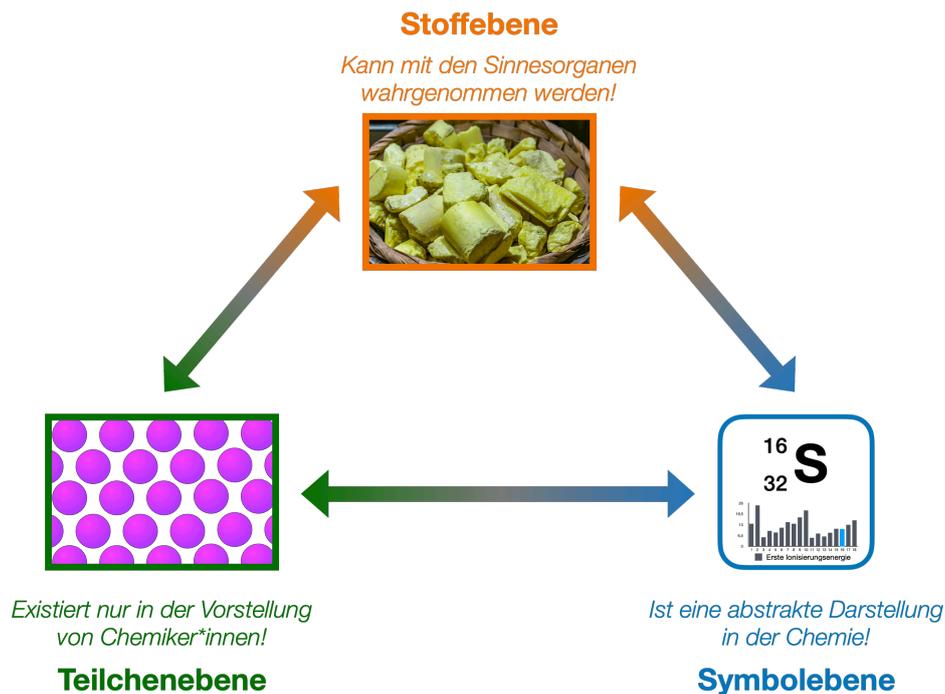


Abbildung 2: Schwefel in den drei Repräsentationsebenen der Chemie: makroskopische, submikroskopische und symbolische Ebene

In Abbildung 2 werden die Repräsentationsebenen für das chemische Element Schwefel verdeutlicht. Schwefel ist auf makroskopischer Ebene (Stoffebene) ein gelber Feststoff, der bestimmte physikalische (z.B. Schmelz- und Siedetemperatur) und chemische Eigenschaften (z.B. Reaktionsverhalten mit Alkalimetallen) aufweist. Auf der Teilchenebene (submikroskopische Ebene) wird Schwefel hier exemplarisch im Atommodell nach Dalton als lilafarbene Kugeln dargestellt. In Abbildung 2 wird ein Auszug aus einem Periodensystem der Elemente auf der Symbolebene präsentiert, der das Elementsymbol von Schwefel (S) zusammen mit der Massen- (32 u) und Ordnungszahl (16) sowie die erste Ionisierungsenergie eines Schwefelatoms zeigt.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit werden die Repräsentationsebenen der Chemie in den entwickelten Unterrichtssequenzen aktiv thematisiert. Dabei liegt der Fokus vor allem auf reflektierten Übergängen zwischen der Stoff- und Teilchenebene. Durch eine konsistente Farbgebung (Stoffebene stets orange, Teilchenebene grün) können die Schüler\*innen auch optisch einen Bezug zu den Ebenen herstellen und dadurch unmittelbar durch Farbwechsel auf Wechsel zwischen den Ebenen schließen.

## 2.2 Modellkompetenz

Damit Modelle ihre wichtige Rolle im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess einnehmen können, muss der Umgang mit Modellen durch eine Kompetenz begleitet werden. Diese Kompetenz wird als Modellkompetenz (Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010) bezeichnet. Nach Meis-tert (2008) setzt sich die Modellkompetenz von Schüler\*innen aus drei Teilbereichen

zusammen: dem Modellverständnis, der Modellarbeit und dem Modellwissen. Unter dem Modellwissen versteht man die Kenntnis grundlegender Modelle der Naturwissenschaften. Dazu zählen z.B. in der Biologie Stammbäume, in der Chemie das Atommodell nach Dalton und in der Physik Feldlinien. Dabei wird vor allem der Kompetenzbereich Fachwissen adressiert, während bei dem Teilbereich Modellarbeit die Erkenntnisgewinnung im Vordergrund steht. Hierbei ergründen Schüler\*innen den Nutzen von Modellen und sind selbst in der Lage, Modelle zu generieren und zweckorientiert weiterzuentwickeln. Das Modellverständnis zuletzt bildet einen übergeordneten Kompetenzanteil, der es den Schüler\*innen ermöglicht, die Bedeutung von Modellen und Modellarbeit zu verstehen.

Die bereits vorgestellte Ausdifferenzierung der Modellkompetenz nach Meistert (2008) weist große Gemeinsamkeiten zu der nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) auf. Diese definieren die Modellkompetenz folgendermaßen:

*„Modellkompetenz umfasst die Fähigkeiten, mit Modellen zweckbezogen Erkenntnisse gewinnen zu können und über Modelle mit Bezug auf ihren Zweck urteilen zu können, die Fähigkeiten, über den Prozess der Erkenntnisgewinnung durch Modelle und Modellierungen in der Biologie zu reflektieren sowie die Bereitschaft, diese Fähigkeiten in problemhaltigen Situationen anzuwenden.“*  
(Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 49)

Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) stellen in ihrer Definition noch einmal explizit den Bezug zum Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung her und verdeutlichen diesen, indem sie den Zweck von Modellen, die Modellierung als Prozess und Teil der Problemlösung sowie die damit einhergehende Reflexion als grundlegende Fähigkeiten definieren. Diese Fähigkeiten werden in Subdimensionen der Modellkompetenz strukturiert. Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) unterscheiden zwischen einem prozeduralen und einem konzeptuellen Kompetenzanteil. Den konzeptuellen Teil bezeichnen sie mit „Kenntnisse über Modelle“ und fassen darunter *Eigenschaften von Modellen* und *Alternative Modelle* zusammen. Schüler\*innen schätzen dabei Ähnlichkeits- bzw. Abstraktionsbeziehungen zwischen Modellen und Ausgangsobjekten ab (*Eigenschaften von Modellen*) und erklären, wieso es mehrere Modelle zu einem Ausgangsobjekt gibt (*Alternative Modelle*). Im prozeduralen Anteil, der Modellbildung, werden mit den Subdimensionen *Zweck von Modellen*, *Testen von Modellen* und *Ändern von Modellen* die Schritte eines zyklischen Modellbildungsprozesses nachempfunden. Beim *Zweck von Modellen* betrachten die Schüler\*innen nicht nur den Zweck von Modellen selbst sondern auch den Zweck eines Modell-Objekt-Vergleichs wie auch den grundsätzlichen Zweck einer Modellanwendung. In diesem Zusammenhang stehen das Entwickeln sowie Testen von Experimenten und die Ausbildung von Kausalzusammenhängen im Vordergrund. Beim *Testen von Modellen* werden Modelle aus verschiedenen Perspektiven untersucht, Parallelisierungen zwischen Modell und Ausgangsobjekt hergestellt und Hypothesen formuliert. Zuletzt werden unter *Ändern von Modellen* verschiedene zulässige Argumente für die Revision eines Modells thematisiert.

Dazu zählen neben pragmatischen Ursachen (z.B. nicht genügend Material) auch neue Erkenntnisse über das Original oder Hypothesen, welche experimentell falsifiziert werden konnten.

Upmeier zu Belzen und Krüger stellen außerdem ein Schema zur Zuordnung von Niveaustufen (I bis III) für jede Teilkompetenz vor (Tabelle 3). Bei Niveau I weisen die Schüler\*innen die Vorstellung auf, dass Modelle ausschließlich Verkleinerungen/ Vergrößerungen der Realität sind. Auf dem nächst höheren Niveau wissen Schüler\*innen zwar, dass Modelle im naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn einen Zweck erfüllen, erfassen allerdings noch nicht, dass Modelle in der Forschung zum Testen von Hypothesen eingesetzt werden. Stufe III verkörpert schließlich das Expertenniveau, bei dem die Ansicht vorherrscht, dass Modelle Repräsentationen von Ideen sind, die als Grundlage und Werkzeug zum Erzeugen neuer Erkenntnisse fungieren. In den meisten Teilkompetenzen lassen sich die drei Niveaustufen mit den drei Perspektiven Modellobjekt (hellgrau), Modellherstellung (mittelgrau) und Modellanwendung (dunkelgrau) parallelisieren.

Tabelle 3: Struktur und Niveaus der Modellkompetenz im Biologieunterricht  
(Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 53)

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

Zum Vergleich der beiden beschriebenen Definitionen der Modellkompetenz werden beide in Tabelle 4 einander gegenübergestellt. Dabei fällt auf, dass im konzeptuellen Kompetenzanteil nicht nur begrifflich (Wissen bei Meister und Kenntnisse bei Upmeier zu Belzen & Krüger), sondern auch inhaltlich große Überschneidungen erkennbar sind. Bei der prozeduralen Kompetenzausprägung sind größere Unterschiede erkennbar, aber auch hier kann zu jeder

Subdimension eine Entsprechung in der jeweils anderen Definition gefunden werden. So entspricht beispielweise der *Zweck von Modellen* dem Modellverständnis nach Meisert.

Tabelle 4: Ausdifferenzierung der Modellkompetenz nach Meisert (2008) und Upmeier zu Belzen & Krüger (2010) im Vergleich

Meisert	Modellwissen		Modellverständnis	Modellarbeit	
Upmeier zu Belzen & Krüger	Kenntnisse über Modelle (konzeptuell)		Modellbildung (prozedural)		
	<i>Eigenschaften von Modellen</i>	<i>Alternative Modelle</i>	<i>Zweck von Modellen</i>	<i>Testen von Modellen</i>	<i>Ändern von Modellen</i>

Im Rahmen dieses Dissertationsvorhabens findet eine Orientierung an der Ausdifferenzierung der Modellkompetenz nach Upmeier zu Belzen & Krüger (2010) statt, da es sich hierbei um die kleinschrittigere Operationalisierung handelt. Außerdem existieren bereits einige Förderansätze aus der Biologie (Bathe et al., 2021; Fleige et al., 2012; Gogolin & Krüger, 2018) und Chemie (Caspari et al., 2018), die genau diese Kompetenzdimensionen adressieren. Detaillierter wird auf diese Tatsache in Kapitel 3.1.1 eingegangen.

### 2.3 Schüler\*innenvorstellungen zu Modellen im Unterricht

Beim Umgang mit Modellen handelt es sich um eine komplexe Aufgabe, die zunächst erlernt werden muss (Coll & Lajium, 2011) und bei der bereits mehrere Studien Defizite bei Schüler\*innen festgestellt haben (z.B. Barke et al., 2018; Fleige et al., 2012; Lazenby et al., 2020). Einige dieser Defizite werden im Folgenden in Anlehnung an die Kompetenzdimensionen nach Upmeier zu Belzen & Krüger (2010) vorgestellt und die damit einhergehende Problematik für das Lernen im Chemieunterricht erörtert.

#### *Eigenschaften von Modellen und Alternative Modelle*

Barke et al. (2018) weisen darauf hin, dass Schüler\*innen vor allem mit haptischen Modellen gerne arbeiten und Spaß beim Umgang damit haben, aber Modelle meist nur als Spielzeuge ansehen. Dadurch wird das Ausmaß der Ähnlichkeitsvergleiche zwischen Modell und Ausgangsobjekt deutlich eingeschränkt. Einen Erklärungsansatz für diese Beobachtung liefern Treagust et al. (2002), indem sie den Bezug zu Alltagsmodellen (z.B. Spielzeugautos oder Puppen) herstellen, die vor allem der Veranschaulichung dienen und mit denen Kinder schon früh in Berührung kommen. Mikelskis-Seifert et al. (2011) unterstützen diese Befunde, indem sie belegen, dass das Modellverständnis der Schüler\*innen einen gegenständlichen Charakter anstelle eines hypothetisch-deduktiven aufweist, wie er für den naturwissenschaftlichen Modellbegriff von großer Bedeutung ist. Bei einer Befragung von Schüler\*innen der Sekundarstufe I zu *Eigenschaften von Modellen* fanden Lazenby et al. (2020) in diesem Zusammenhang heraus, dass der hypothesengenerierende Einsatz von Modellen stark von dem Modell selbst abhängt und grundsätzlich einige Modelle mehr als andere für einen hypothetisch-deduktiven Umgang

geeignet sind. Beispielweise eignen sich die Gesetze zu idealen Gasen eher für Vorhersagen, während die kinetische Molekültheorie vor allem für Erklärungen eingesetzt wird. Lazenby et al. (2020) erkannten auch, dass Schüler\*innen dazu tendieren, chemische Probleme auf einer rein symbolischen Repräsentationsebene nach Johnstone (1993) zu lösen. Dabei werden keine sinnstiftenden Beziehungen zur makroskopischen und submikroskopischen Ebene hergestellt, sodass die Erklärungstiefe meist nicht ausreichend ist, um den erkenntnistheoretischen Umfang einer Aufgabe zu erfassen.

### Zweck, Testen und Ändern von Modellen

Graf (2002) hebt hervor, dass Schüler\*innen vor allem bei einem Paradigmenwechsel (Ändern von Modellen oder Ablösen eines alten Modells durch ein differenzierteres) auf Probleme stoßen. Zusätzlich ergänzt Graf (2002) aber, dass Schüler\*innen in ihrer positiven Einstellung haptischen Modellen gegenüber bestärkt werden können, wenn die Modelle selbst entwickelt und getestet werden. Treagust et al. (2002) fügen den Aspekt zum Potenzial des *Testens* und *Änderns von Modellen* hinzu, dass dadurch eine Reflexion über individuelle mentale Modellvorstellungen und den Zusammenhang zwischen mentalem Modell, analogem Modell und Ausgangsobjekt im Chemieunterricht angeregt werden kann. Sie merken allerdings auch an, dass Schüler\*innen meist den Bedeutungsumfang von Modellen in der Wissenschaft unterschätzen. Dadurch wird z.B. der *Zweck von Modellen* meist nur auf das Abbilden von Objekten reduziert und weniger die mit Modellen einhergehenden Möglichkeiten zum Generieren und Überprüfen von Hypothesen oder zur Entwicklung neuer naturwissenschaftlicher Erkenntnisse gesehen.

Die zuvor beschriebenen Vorstellungen von Schüler\*innen zu Modellen bilden den Ansatzpunkt dieses Forschungsprojekts. Die Vorstellungen sollen im Verlauf der Einheit an wissenschaftlich akzeptierte Sichtweisen angenähert werden, durch wissenschaftlich anschlussfähige Konzepte ersetzt oder zumindest der Ausbildung von Fehlvorstellungen vorgebeugt werden. Treagust et al. (2002) stellen fest, dass der Modelleinsatz und die Modellbildung im Sinne einer naturwissenschaftlichen Grundbildung im Unterricht meist nicht gelehrt wird, sondern häufig der Modelleinsatz auf einer beschreibenden Ebene des Fachwissens bleibt. Diese eingeschränkte Sichtweise auf Modelle wird nach Becker und Hildebrandt (2003) von einigen Lehrkräften vermittelt, da diese selbst Defizite im Umgang mit Modellen aufweisen. Beispielsweise ist den Lehrkräften nur die darstellende Vorstellung vom Umgang mit Modellen bekannt, sodass Modelle im Sinne des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns nicht unterrichtet bzw. angeleitet werden können. Dadurch haben Schüler\*innen meist keine Erfahrungen mit dem naturwissenschaftlichen Umgang mit Modellen und es werden Fehlvorstellungen hausgemacht. Aus diesem Grund werden im Verlauf des Forschungsvorhabens Gelingensbedingungen für die Förderung der Modellkompetenz im Chemieunterricht entwickelt, die den Lehrkräften den Einsatz von Modellen erleichtern sollen.

### 3 Empirische Arbeit

Der empirische Teil des vorliegenden Dissertationsprojekts gliedert sich in drei Teile. Ausgehend von aktuellen Förderansätzen der Modellkompetenz aus den Naturwissenschaften (Fleige et al., 2012; Günther et al., 2017; Koch et al., 2015), welche auf Modellierungsprozessen basieren, wird im ersten Teil aus erprobten Modellierungsprozessen anderer naturwissenschaftlicher Fächer ein Modellierungsprozess zusammengeführt, der die Charakteristika der Chemie aufgreift. In Orientierung an diesem Prozess wird in Teil zwei eine Unterrichtseinheit zur Herleitung des Gesetzes der Erhaltung der Masse entwickelt, die den Schüler\*innen neben einem Fachwissenszuwachs auch einen Zuwachs an Modellkompetenz ermöglichen soll. Im letzten Abschnitt der Arbeit wird die Lerneinheit mit digitalen Medien und kognitiv anregenden Impulsen angereichert, sodass der Lernzuwachs bei den Schüler\*innen gesteigert werden kann und dadurch Gelingensbedingungen für die Förderung der Modellkompetenz im Chemieunterricht abgeleitet werden können.

#### 3.1 Teil I: Modellierungsprozess der Chemie

Bestehende Förderansätze der Modellkompetenz bedienen sich häufig unterschiedlicher Modellierungsprozesse (vgl. Kapitel 3.1.1). Im Rahmen des Dissertationsvorhabens soll daher zunächst aus unterschiedlichen Modellierungsprozessen ein möglichst passender Kreislauf für die Chemie ausgewählt oder zusammengestellt werden, sodass die charakteristischen Eigenschaften chemischer Erklärungen mit Betrachtung der Modellebene berücksichtigt werden.

Die Inhalte des Kapitels 3.1 wurden bereits veröffentlicht in:

Lang, V., Eckert, C., Perels, F., Kay, C. W. M., & Seibert, J. (2021). A Novel Modelling Process in Chemistry: Merging Biological and Mathematical Perspectives to Develop Modelling Competences. *Education Sciences*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/educsci11100611>

##### 3.1.1 Theoretischer Hintergrund

###### Modellierung

Als Modellierung werden iterative, zyklische Prozesse bezeichnet, die die Entwicklung, Umsetzung, Anwendung und Überprüfung von Modellen beinhalten (Bielik & Krell, 2021; Koch et al., 2015). Dieser Prozess ist häufig mit konkreten, alltäglichen Phänomenen verzahnt (Gobert & Pallant, 2004; Rautenstrauch & Busker, 2016), bringt allerdings aufgrund seines hohen Anspruchs Schüler\*innen teilweise an ihre kognitiven Grenzen (Jackson et al., 1994). Mendonça und Justi (2011) weisen außerdem darauf hin, dass sich Modellierungsprozesse auch eignen, um Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von Modellen im Allgemeinen zu thematisieren.

Modellierungsprozesse werden in verschiedenen Fachrichtungen eingesetzt und können grundsätzlich in zwei Klassen eingeteilt werden: In der ersten Klasse werden folgend

Modellierungsprozesse vorgestellt (Fleige et al., 2016; Justi & Gilbert, 2006; Schorn, 2012; Schwarz et al., 2009), die im Gegensatz zur zweiten Klasse (Blum & Leiss, 2005; Emden et al., 2019; Göhner & Krell, 2018; Ortlieb et al., 2009; Schupp, 1988; B. Tempel et al., 2018) keine Übergänge betrachten.

### Modellierungsprozesse ohne Übergänge

Schwarz et al. (2009) stellen einen Prozess für chemische und physikalische Modellierungen vor. Dieser setzt sich aus den vier Schritten Konstruktion, Anwendung, Vergleich und Überarbeitung von Modellen zusammen. Die Schüler\*innen entwickeln zunächst das Modell aufgrund ihres Vorwissens zur Veranschaulichung, Erklärung oder Vorhersage von naturwissenschaftlichen Phänomenen. Anschließend wenden die Schüler\*innen die Modelle entsprechend ihrem Zweck an, bevor sie diese mit dem Original oder die Einsatzmöglichkeiten verschiedener Modelle untereinander vergleichen. Zuletzt überarbeiten die Schüler\*innen das Modell, um die erklärende oder abbildende Kraft zu verbessern. Dabei werden Ergebnisse aus dem vorangegangenen Vergleich eingearbeitet.

Der Modellierungsprozess nach Schorn (2012) stimmt in den Grundzügen mit dem vorherigen überein, die einzelnen Schritte werden allerdings weiter ausdifferenziert. Ausgangspunkt des Prozesses ist eine Beobachtung oder ein naturwissenschaftliches Phänomen (z.B. Verteilung von Blattfarbstoffen bei einer Säulenchromatographie). Ausgehend davon werden für die Naturwissenschaften wesentliche Aspekte herausgearbeitet (Bsp.: Charakteristika einer stationären und mobilen Phase bei der Säulenchromatographie), welche die Grundlage für die Erfassung und Festlegung von Konstruktionsdaten bilden. Aus den Daten wird dann zunächst theoretisch ein Modell (-experiment) entwickelt. Im Beispiel wären die Grundzüge zur Umsetzung eines Modellexperiments zur Säulenchromatographie folgende: Verwendung einer Kunststoff- oder Glasröhre, stationäre Phase in der Röhre durch Bälle mit Zwischenräumen darstellen, mobile Phase durch verschieden große Bälle darstellen etc. Das so gebildete theoretische Modell kann anschließend formuliert und real dargestellt werden. Der Aufbau des Modellversuchs kann anschließend umgesetzt werden (Bsp.: Tischtennisbälle als stationäre Phase mit unterschiedlich schweren Perlen oder Murmeln als Bestandteile der mobilen Phase in der Plastikröhre). Zuletzt wird das Modell mit seiner analogen Repräsentation anhand eines Phänomens überprüft. Im Beispiel des Modellversuchs zur Säulenchromatographie wird dann eine Murmel-Perlen-Mischung oben in die Kunststoffröhre mit den Tischtennisbällen gegeben und beobachtet, ob eine „Auftrennung“ der verschiedenen Murmeln und Kugeln entsprechend der realen Auftrennung der Pflanzenfarbstoffe zu beobachten ist. Diese Beobachtung kann schließlich Ausgangspunkt eines weiteren Modellierungsprozesses sein.

Noch ausdifferenzierter stellen Justi und Gilbert (2006) das *General framework for modeling processes* unabhängig von fachlichen Bezügen auf. Abbildung 3 zeigt den Modellierungsprozess als Fließschema, welches von oben nach unten zu lesen ist.

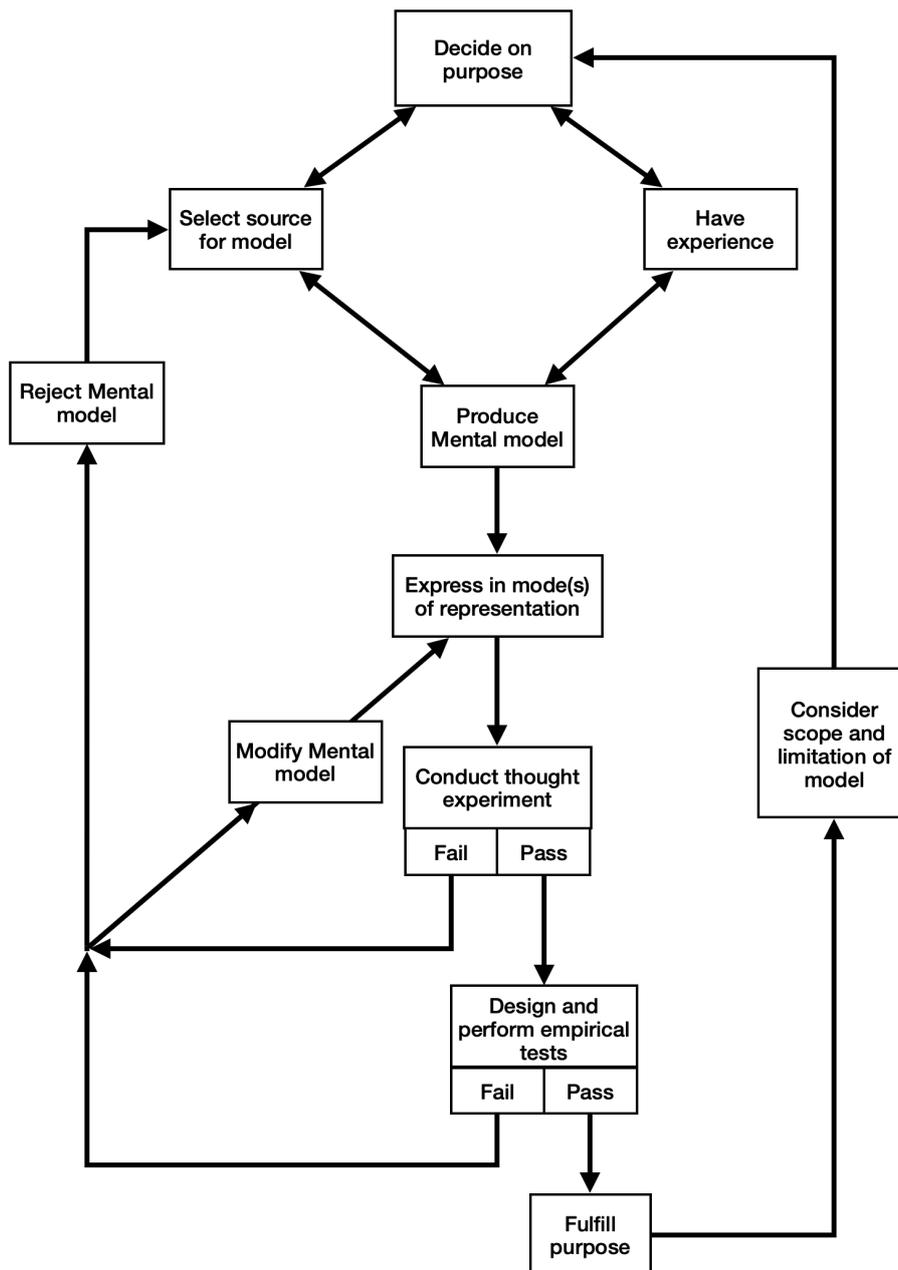


Abbildung 3: Modellierungsprozess nach Justi und Gilbert (2006), S. 122

Nach Justi und Gilbert (2006) bilden drei Aspekte, die nahezu gleichzeitig ablaufen, die Grundlage der Modellbildung: die zweckorientierte Entscheidung zur Modellbildung, vorangegangene Erfahrungen im Umgang mit Modellen und die Auswahl von Quellen für das Modell. Daraus bildet sich dann ein mentales Modell, welches anschließend in einer beliebigen Darstellungsform ausgedrückt wird. Im folgend durchgeführten Experiment kann das Modell entweder den Erwartungen und Ergebnissen des Experiments gerecht werden, woran sich die Entwicklung und Durchführung empirischer Analysen anschließen würden, oder erwartungswidrige Ergebnisse liefern. Bei Widerspruch schließt sich eine Modifikation des mentalen Modells an. Es könnte aber auch das mentale Modell vollständig verworfen und durch die Auswahl eines neuen (bereits bekannten) Modells ersetzt werden. Anschließend könnten noch Wirkungsbereiche und Grenzen des Modells thematisiert werden.

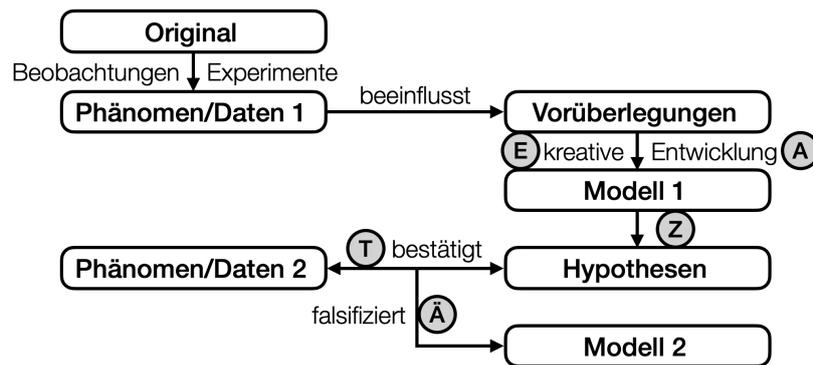


Abbildung 4: Modellierungsprozess zum Zweck der Erkenntnisgewinnung (Fleige et al., 2016, S. 7)

Zuletzt soll noch ein weiterer Modellierungsprozess vorgestellt werden, der in seiner Ausführlichkeit den beiden zuvor vorgestellten Prozessen zwar nachsteht, aber an entsprechenden Stellen des Prozesses Bezüge zur Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) herstellt. Der Prozess (Abbildung 4) beginnt auch bei einem Original, von welchem durch Beobachtungen oder Experimente Daten abgeleitet werden können. Diese Daten und Phänomene beeinflussen die Vorüberlegungen der Schüler\*innen. In einer kreativen Entwicklung entsteht ein erstes Modell. In diesem Schritt werden die Kompetenzdimensionen *Eigenschaften von Modellen* und *Alternative Modelle* adressiert, da zum einen das Wissen über den Zusammenhang zwischen einem Modell und dem abgebildeten Objekt angeregt werden muss und zum anderen ggf. zwischen mehreren bekannten Modellen ein für dieses Phänomen passendes ausgewählt werden muss. Im folgenden Schritt, bei dem aus dem Modell Hypothesen abgeleitet werden, erkennen die Schüler\*innen die Hypothesenprüfung als einen *Zweck von Modellen*. Mithilfe eines weiteren Phänomens oder neuer Daten kann die Hypothese als gültig oder ungültig angesehen werden. Dadurch adressiert der Modellierungsprozess zusätzlich das *Testen von Modellen*. Falls die Hypothese falsifiziert wird, passen die Schüler\*innen ihr Modell entsprechend der neuen Daten an und entwickeln dadurch ein neues Modell (Modell 2). In diesem letzten Schritt wird der Kompetenzbereich *Ändern von Modellen* angesprochen, da die Schüler\*innen erkennen, dass Modelle im Erkenntnisprozess bei mangelnder Passung überarbeitet werden müssen.

Dieser Modellierungsprozess bildete in biologischen Kontexten (z.B. Fleige et al., 2012, 2016; Grünkorn, 2014), aber auch im chemischen Kontext Elektrochemie (Caspari et al., 2018) den Ansatzpunkt zur Förderung der Modellkompetenz. Dieser Prozess wird daher einen Modellierungsprozess darstellen, welcher in der Expertenbefragung vorgestellt und auf seine Passung zur Chemie hin beurteilt wird.

### Modellierungsprozesse mit Übergängen

Die folgenden Modellierungsprozesse unterscheiden sich von den vorangegangenen dadurch, dass sie zwischen verschiedenen Bereichen (z.B. der Lebens- und der Modellwelt) unterscheiden sowie die Übergänge zwischen den Bereichen betrachtet werden.

Zu Beginn wird ein sehr überschaubarer Prozess nach Tempel et al. (2018) vorgestellt. Die Autoren unterscheiden in diesem Prozess zwischen dem Bewusstsein und der Lebenswelt. Das sog. „Original“ in der Lebenswelt zeichnet sich durch unendlich viele Eigenschaften aus. Diese werden vom Individuum wahrgenommen und abstrahiert, sodass ein Denkmodell auf der Bewusstseinssebene entsteht. Dieses beinhaltet die zur Erklärung wesentlichen Eigenschaften des „Originals“. Im nächsten Schritt des Modellierungsprozesses wird das Denkmodell vom Bewusstsein auf die Lebenswelt übertragen, indem es als Anschauungs- oder Gedankenmodell verbildlicht wird. Die Repräsentation kann dabei sprachlich, ikonisch oder haptisch sein, wodurch neben wesentlichen Eigenschaften auch unwesentliche Eigenschaften dargestellt werden, die der Hervorhebung oder schlicht der Realisierbarkeit dienen. Das Anschauungsmodell wird anschließend am „Original“ validiert, was den Ausgangspunkt für einen weiteren Modellierungsprozess bilden kann.

Da die Modellierung in den Kompetenzbereichen des Mathematikunterrichts (KMK, 2004a, 2004b, 2012) tief verankert ist, gibt es aus der Mathematik einige Modellierungsprozesse (z.B. Blum & Leiss, 2005; G. Kaiser & Stender, 2013; Ortlieb et al., 2009; Schupp, 1988), die für Autor\*innen anderer Disziplinen als Vorbilder dienen. Exemplarisch soll der Modellierungsprozess von Hans Schupp vorgestellt werden (Abbildung 5), der vornehmlich basierend auf der prozessbezogenen Kompetenz „mathematisches Modellieren“ (MBK Saar, 2014, S. 8) entwickelt wurde.

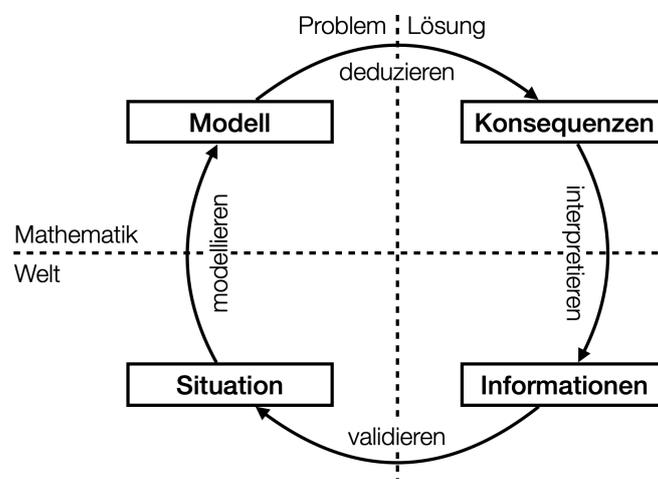


Abbildung 5: Modellbildungskreislauf nach Schupp (1988), S. 11

Hans Schupp (1988) postuliert für die Mathematik einen Modellierungsprozess, der zum einen zwischen der Welt und der Mathematik sowie zum anderen zwischen dem Problem und der Lösung unterscheidet. Ausgangspunkt einer Modellierung stellt ein Problem in der Welt dar. Dieses wird als Situation betitelt. Durch das Modellieren dieser Situation wird ein Übergang von der Welt in die Mathematik vollzogen und ein mathematisches Modell ausgebildet. Dieses Modell wird innermathematisch deduziert, sodass aus dem Modell mathematische Konsequenzen abgeleitet werden. Dabei findet ein Wechsel vom Problem- zum Lösungsbereich statt. Die

mathematischen Konsequenzen werden dann auf die Welt übertragen, sodass durch eine Interpretation Informationen über die Welt entstehen. Diese werden schließlich in einem Übertrag von dem Lösungs- in den Problembereich auf die Ausgangssituation bezogen. Diesen letzten Schritt bezeichnet Schupp als Validieren. Sind die Ergebnisse aus dem Prozess in Bezug auf die Situation unzureichend, beginnt ein weiterer Modellierungsprozess.

Einen differenzierteren Prozess haben Emden et al. (2019) auf Grundlage des Modellbildungskreislaufs nach Hans Schupp (1988) entwickelt (vgl. Abbildung 6). Hierbei wird grundlegend zwischen Schritten in der Erfahrungswelt und der Modellwelt unterschieden. Das Phänomen in der Erfahrungswelt bildet auch hier wieder den Ausgangspunkt. Ausgehend davon wird in der Erfahrungswelt das Phänomen auf seine wesentlichen Eigenheiten abstrahiert. In einem Übergang zwischen Erfahrungswelt und Modellwelt findet eine Dekontextualisierung des abstrahierten Phänomens zu einem chemischen Denkmodell statt. Anhand dessen werden auf der Modellebene naturwissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt, die in chemische Ergebnisse münden. Diese Ergebnisse werden auf die Erfahrungswelt zurück übertragen. Man bezeichnet diesen Übergang als Rekontextualisierung. In der Erfahrungswelt findet dann schließlich Rezeption statt, die in Beziehung zu dem Phänomen gesetzt wird. Je nach Ergebnis der Bezugnahme kann schließlich das Phänomen in einen weiteren Modellierungsprozess überleiten.

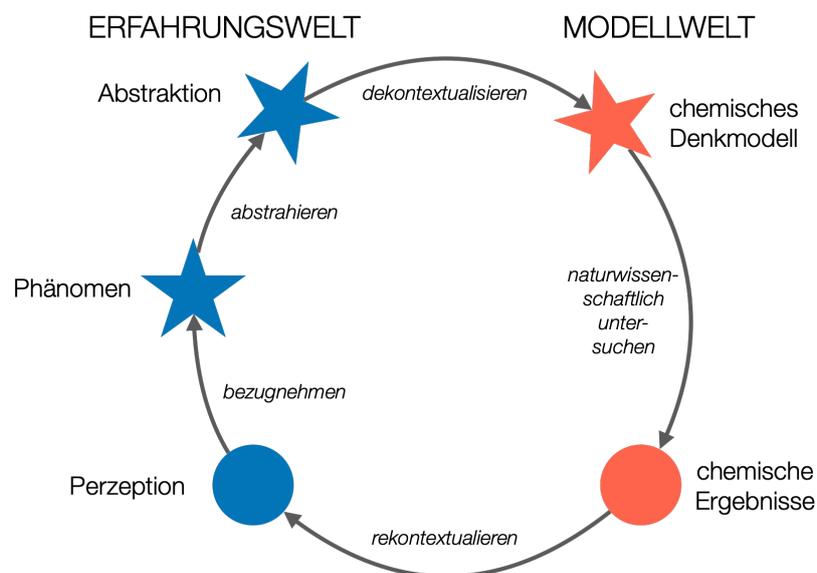


Abbildung 6: Modellierungskreislauf für den Chemieunterricht (Emden et al., 2019, S. 9)

Zuletzt wird ein Modellierungsprozess nach Göhner und Krell (2018) vorgestellt, der neben der Unterscheidung zwischen Erfahrungswelt und Modellwelt auch noch die Bereiche Exploration, Herstellung und Anwendung unterscheidet. Der Prozess (Abbildung 7) weist nahezu in jedem Schritt eine wechselseitige Bezugnahme zwischen der Erfahrungswelt und der Modellwelt auf, wodurch die Verzahnung viel stärker betont wird, während die Übergänge zwischen den Bereichen weniger deutlich hervortreten. Ausgangspunkt des Prozesses ist auch bei Göhner und Krell (2018) die Beobachtung eines Phänomens in der Erfahrungswelt (Exploration). Davon

ausgehend können zum einen Bezüge in der Erfahrungswelt hergestellt werden, indem das natürliche System als Ganzes betrachtet wird. Zum anderen kann auch eine Verknüpfung in die Modellwelt stattfinden, da Erfahrungen mit Modellen und bekannte Analogien aktiviert werden können. Beim Übergang in die Modellwelt findet außerdem ein Wechsel zum Bereich Herstellung statt. Der Herstellungsaspekt wird im anschließenden Prozess der (Weiter-) Entwicklung eines Modelles noch stärker hervorgehoben. Dieser Prozess wird gleichermaßen aus der Erfahrungswelt (Exploration des natürlichen Systems) und Modellwelt (Aktivierung von Analogien & Erfahrungen) gespeist. Anschließend wird das Modell auf Konsistenz geprüft und es werden verschiedene Darstellungsformen miteinander verglichen, bevor ein Übergang in den Bereich Anwendung stattfindet. Es werden Vorhersagen aus dem Modell abgeleitet, welche entweder in der Modellwelt direkt überprüft werden oder in der Erfahrungswelt eine Manipulation des natürlichen Systems hervorrufen. Durch diese Manipulation können Daten erfasst werden, mit deren Hilfe die Vorhersagen aus dem Modell auch aus der Erfahrungswelt heraus geprüft werden können. Je nach Ausgang der Hypothesenprüfung findet nun ein Rückbezug in den Herstellungsbereich statt, indem das Modell weiter- oder grundlegend neu entwickelt wird.

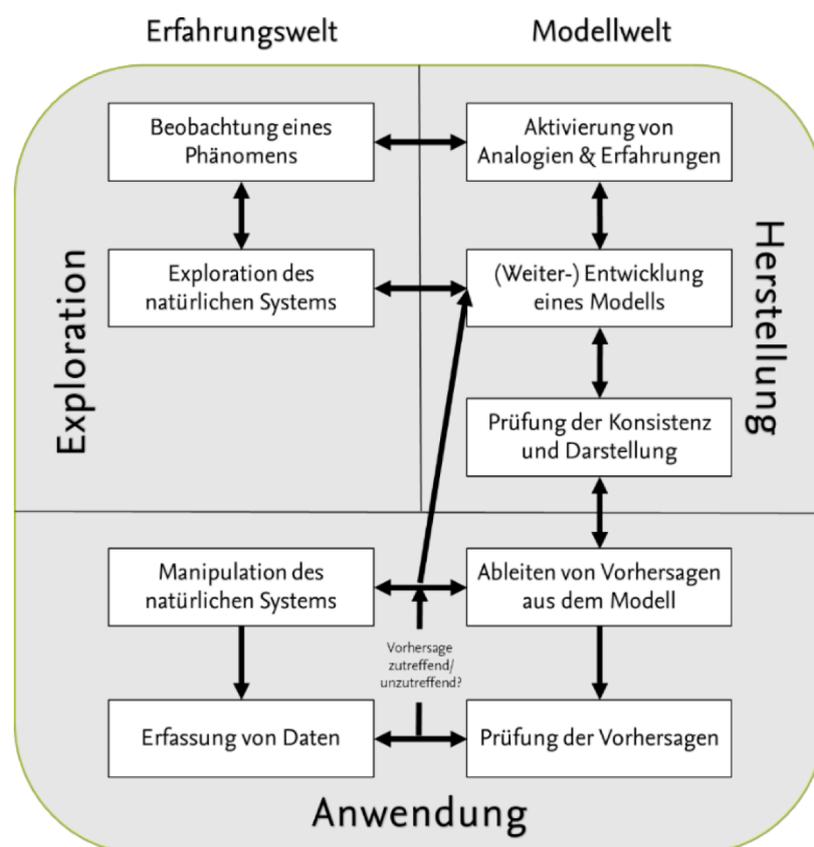


Abbildung 7: Prozessschema naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung durch Modellieren nach Göhner & Krell (2018), S. 47

Zusammenfassend lassen sich die vorgestellten Modellierungsprozesse in zwei Klassen einteilen: In Abbildung 8 werden die Prozesse mit Übergängen blau hinterlegt dargestellt, während die rosa Hintergrundfarbe Prozesse ohne Übergänge hervorhebt. Die vorgestellten Modelle unterscheiden sich in ihrer Ausführlichkeit sowie der Anzahl bzw. Art der unterschiedenen Bereiche mit betreffenden Übergängen. In kräftigerer Farbe sind in der dritten Zeile die Modellierungsprozesse hinterlegt, die im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit im Rahmen der Expertenbefragung explizit thematisiert werden. Dabei wird der Modellierungsprozess nach Fleige et al. (2016) aufgrund seiner umfassenden Erprobung als Beispiel ohne Übergänge gewählt. Dieser zeichnet sich neben der expliziten Benennung der Förderstellen für die Modellkompetenz nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) auch durch das Vorhandensein eines entsprechenden Begleitschemas mit Leitfragen für Schüler\*innen aus. Als zweiter Modellierungsprozess wird ein Vorgang mit Übergängen integriert, um der Mehrdimensionalität chemischer Probleme (Johnstone, 1993) und dem ständigen Nebeneinander von Erlebnis- und Modellwelt (Mikelskis-Seifert, 2010) gerecht zu werden, die die Chemie als besondere Naturwissenschaft ausmachen. Aufgrund seiner Einfachheit wurde hier der Modellierungsprozess von Hans Schupp (1988) aus dieser Klasse ausgewählt.

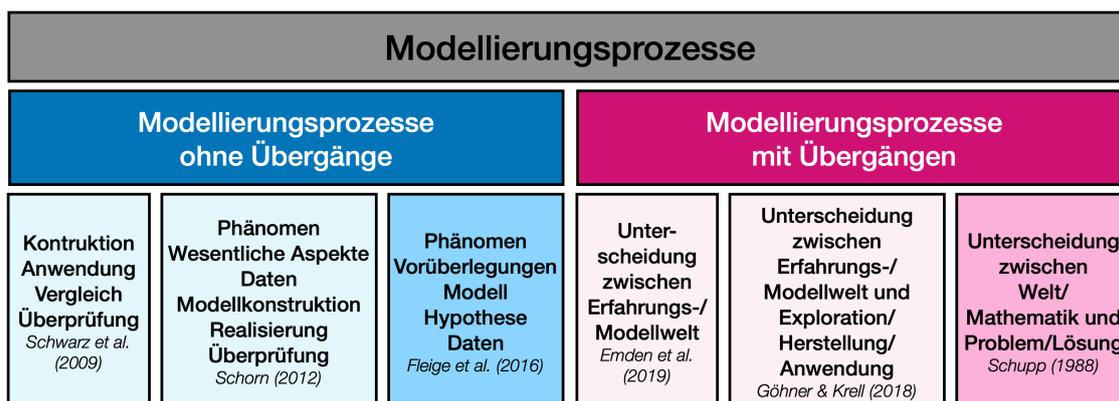


Abbildung 8: Übersicht über vorgestellte Modellierungsprozesse (blau: ohne Übergänge, rosa: mit Übergängen)

### 3.1.2 Zielsetzung und Fragestellung

Aus dem Stand der aktuellen Forschung geht hervor, dass sich Modellierungsprozesse eignen, um die Modellkompetenz zu fördern. Im Zuge des ersten Teils des Dissertationsvorhabens wird demzufolge aus bestehenden Modellierungsprozessen ein möglichst passender Kreislauf für die Chemie identifiziert oder entwickelt. Dabei ist es wichtig zu betonen, dass die bestehenden Modellierungsprozesse aus anderen Fachbereichen auch einfach auf die Chemie angewendet werden könnten, doch die Chemie als Wissenschaft weist Eigenheiten auf (Berzelius, 1856), die sich auch in einem Modellierungsprozess widerspiegeln sollten. Die übergeordnete Fragestellung dieses ersten Teils lautet damit:

*Wie muss ein Modellierungsprozess für die Chemie geartet sein, um eine Förderung der Modellkompetenz zu ermöglichen?*

Die Antwort auf diese Forschungsfrage soll einen Modellierungsprozess für die Chemie liefern, der sich auf viele Kontexte in der Chemie anwenden lässt. Da der Modellierungsprozess für die Chemie zur Förderung der Modellkompetenz (in einem speziellen Kontext) angewendet werden soll, gilt es außerdem in diesem Teil zu klären, welche Dimensionen eine Modellkompetenz für die Chemie aufweisen sollte. Dazu wird der bestehende Ansatz zur Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) ebenso wie der Modellierungsprozess auf seine Passung für die Chemie hin beurteilt. Die damit einhergehende Fragestellung lautet:

*Welche Aspekte umfasst die Modellkompetenz in der Chemie?*

Zur Klärung dieser beiden Fragestellungen werden Expert\*innen<sup>1</sup> aus zwei chemiedidaktischen Einsatzbereichen befragt. Zum einen soll ein forschungsbezogener Blick auf das Thema durch Expert\*innen aus der fachdidaktischen Forschung integriert werden und zum anderen ermöglichen die Bewertungen von Chemielehrkräften eine praxisbezogene Beurteilung der Fragestellung. In diesem Zusammenhang soll zu Beginn der Auswertung geklärt werden, ob die Expert\*innen aus der Chemiedidaktik auch tatsächlich Expert\*innen bezüglich der Modellkompetenz und des Modellierens sind, sodass eine weitere Fragestellung in diesem Teil lautet:

*Sind Modelle und Modellkompetenz im beruflichen Alltag der Befragten derart fest verankert, dass man die Befragten als chemiedidaktische Expert\*innen bzgl. Modellen und Modellkompetenz ansehen kann?*

Zur Beantwortung der Fragestellungen wird im folgenden Abschnitt zunächst das methodische Vorgehen vorgestellt.

### **3.1.3 Methodisches Vorgehen**

#### Befragungsmethodik- Leitfragen

Zur Klärung der Fragestellung wird eine leitfragenbasierte Expertenbefragung durchgeführt (R. Kaiser, 2021). Genauer gesagt kann diese Art von Expertenbefragung als systematisierend angesehen werden, sodass mit Hilfe der Kenntnisse der Expert\*innen Informationen bezüglich der Modellkompetenz und der Modellierung in der Chemie gewonnen werden können (Bogner & Menz, 2002). Um möglichst ausführliche Kenntnisse in diesen Bereichen zu erhalten, wird in der Befragung eine große Stichprobe angesprochen. Aus diesem Grund wird die Befragung als online-Fragebogen mit Unipark<sup>®</sup> umgesetzt. Der Link zum Fragebogen wurde zusammen mit einem kurzen Einleitungstext per E-Mail (Anhang „I. Anschreiben der Expertenbefragung“) versandt. Der entsprechende Verteiler entsteht durch eine Internetrecherche und aus persönlichen Beziehungen heraus.

---

<sup>1</sup> Die Befragung von Expert\*innen wird im Folgenden zur besseren Lesbarkeit als Expertenbefragung unter Verwendung des genetischen Maskulinums bezeichnet. Gemeint sind jedoch immer Befragte aller Geschlechter.

Der entwickelte Fragebogen für die Expertenbefragung existiert in zwei Varianten (Variante 1 für Expert\*innen mit Forschungsbezug und Variante 2 für Expert\*innen mit Praxisbezug) und besteht jeweils aus vier Teilen. Im ersten Teil werden Hintergrundinformationen zu den Expert\*innen abgefragt (Geschlecht, Alter, Lehrbefähigung mit Schulform und Fächern, Bundesland, Berufsjahre und fachdidaktische Forschungsschwerpunkte), die Aufschluss über die Zusammensetzung der Stichprobe geben. Danach folgen drei inhaltliche Teile: Der erste erfragt die Erfahrungen der Expert\*innen mit Modellen während der Ausbildung und deren Anwendungen im aktuellen beruflichen Alltag. Im zweiten inhaltlichen Teil wird die Modellkompetenz und im dritten werden die Modellierungsprozesse von den Expert\*innen bezüglich ihrer Passung für die Chemie eingeschätzt. In Tabelle 5 werden die Leitfragen zu den einzelnen Teilen präzisiert. Eine detailliertere Beschreibung der inhaltlichen Teile liefert Kapitel 3.1.3. „Methodisches Vorgehen“.

Tabelle 5: Übersicht über die Leitfragen der drei inhaltlichen Teile in der Expertenbefragung

Teil der Expertenbefragung	Leitfragen des Teils
I1. Modelle in Ausbildung und Anwendung	Wie groß ist das Vorwissen der Expert*innen zu Modellen, Modellkompetenz und Modellierung in der Chemie?  Sind Modelle, Modellkompetenz und Modellierung in der chemiedidaktischen Ausbildung verankert?  Inwiefern sind Modelle und Modellkompetenz im aktuellen beruflichen Alltag der Expert*innen (explizit) verankert?
I2. Modellkompetenz für die Chemie	Was assoziieren Expert*innen mit dem Begriff Modellkompetenz?  Wie bewerten die Expert*innen die Passung der Modellkompetenz und ihrer Subdimensionen nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) für die Chemie?
I3. Modellierung für die Chemie	Welche Aspekte eines Modellierungsprozesses benennen Expert*innen zur Förderung der Modellkompetenz?  Wie bewerten die Expert*innen die Passung der Modellbildungskreisläufe nach Fleige et al. (2016) und Schupp (1988) für die Chemie zur Förderung der Modellkompetenz?

Die Leitfragen des entsprechenden Teils bilden die Grundlage zur Entwicklung der Expertenbefragung. Die Erfassung der Verankerung von Modellen und Modellkompetenz in der Ausbildung und Anwendung der Expert\*innen rührt daher, dass zur kompetenten Beantwortung der Fragen in den inhaltlichen Teilen zwei und drei die „*Kenntnis der betreffenden fachwissenschaftlichen Vorstellungen und Methoden unverzichtbar*“ (Kattmann et al., 1997, S. 10) ist. Da

die Vorkenntnisse in der fachdidaktischen Community je nach aktuellem beruflichem Alltag als sehr divers angesehen werden können, werden die Expert\*innen in zwei Gruppen unterteilt: eine Gruppe mit Forschungs- und eine mit Praxisbezug. Je nach Gruppe unterscheiden sich die Fragebögen geringfügig. Die Gruppeneinteilung und Zusammensetzung der Expert\*innengruppen wird im folgenden Kapitel beschrieben.

### Expert\*innengruppen

Als Expert\*innen werden grundsätzlich Mitglieder des Handlungsfeldes mit Bezug zum Forschungsgegenstand angesehen (Meuser & Nagel, 1991). In diesem Fall werden daher Personen mit Bezug zum Chemieunterricht ausgewählt, wobei eine Unterscheidung zwischen Expert\*innen mit Forschungs- und Praxisbezug vorgenommen wird. Zur forschungsbezogenen Perspektive zählen Chemiedidaktiker\*innen (z.B. wissenschaftliche Mitarbeiter\*innen, akademische Räte, Professor\*innen usw.), während praktizierende Lehrkräfte, Referendar\*innen und Chemielehramtsstudierende die praxisbezogenen Expert\*innen bilden. Die dahinterstehende Überlegung rührt daher, dass das Feld fachdidaktischer Forschung sehr breit ist und daher Fachdidaktiken häufig ihre speziellen Forschungsschwerpunkte abdecken, welche nicht zwangsläufig Modelle und Modellbildung beinhalten müssen. Darüber hinaus tauchen Teilchenmodelle zwar in allen Lehr- und Bildungsplänen Deutschlands auf (z.B. Baden-Württemberg (2004) oder Nordrhein-Westfalen (2011)), doch die Modellbildung wird nur sehr selten thematisiert. Daher werden aufgrund der verschiedenen Zugänge zu Modellen und Modellbildung die beiden Gruppen in der Expertenbefragung unterschieden.

Von den angeschriebenen 512 Expert\*innen mit Forschungsbezug und 45 Expert\*innen mit Praxisbezug nahmen schließlich insgesamt 98 Personen an der Expertenbefragung teil. Von diesen gehörten 56 (57,1 %) der forschungsbezogenen Perspektive an. Männer und Frauen waren in der Stichprobe in etwa zu gleichen Teilen vertreten (Tabelle 6). Das Alter aller Befragten lag im Mittel bei 40.18 Jahren ( $SD= 14.8$ ,  $Min= 22$ ,  $Max= 82$ ), für die forschungsbezogene Perspektive etwas niedriger ( $M= 39$ ,  $SD= 15.5$ ,  $Min= 22$ ,  $Max= 82$ ) als für die praxisbezogene Perspektive ( $M= 42$ ,  $SD= 13.7$ ,  $Min= 22$ ,  $Max= 66$ ).

Tabelle 6: Verteilung der Expert\*innen über die Geschlechter und Bezüge

	Männlich	Weiblich	Divers	Fehlend	Gesamt
Forschungsbezug	31 (55.4 %)	23 (41.1 %)	0	2 (3.6 %)	56 (57.1 %)
Praxisbezug	21 (50 %)	21 (50 %)	0	0	42 (42.9 %)
Gesamt	52 (53.1 %)	44 (44.9 %)	0	2 (2 %)	98 (100 %)

Der Großteil der Befragten besitzt die Lehrbefähigung für die Sekundarstufe I & II (gesamt: 79.6 %, Forschungsbezug: 76.8 %, Praxisbezug: 83.3 %). Die meisten Expert\*innen der Praxisorientierung haben im Saarland (gesamt: 18.4 %, Praxisbezug: 40.5 %) studiert, während unter den Expert\*innen mit Forschungsbezug die Mehrzahl in Nordrhein-Westfalen (gesamt:

20.4 %, Forschungsbezug: 26.8 %) studiert hat. Die am häufigsten genannten Zweitfächer neben Chemie waren bei den Expert\*innen Biologie, Mathematik und Physik. Insgesamt lag die Anzahl der Berufsjahre nach Abschluss des Vorbereitungsdienstes bei 11 Jahren ( $SD= 13.2$ ,  $Min= 0$ ,  $Max= 46$ ), in der forschungsbezogenen Perspektive mit 10 Jahren ( $SD= 15.5$ ,  $Min= 0$ ,  $Max= 82$ ) etwas niedriger als in der praxisorientierten Expert\*innengruppe ( $M= 13$ ,  $SD= 11.2$ ,  $Min= 0$ ,  $Max= 36$ ).

Tabelle 7: Forschungsschwerpunkte unter den forschungsorientierten Befragten

	Digitalisierung	Lehrkräftebildung/ Hochschuldidaktik	Experimente	Lehr-Lern-Konzepte	Modelle	Sprache
Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppen	20 (37.7 %)	16 (30.2 %)	15 (28.3 %)	15 (28.3 %)	10 (18.9 %)	8 (15.1 %)
Eigene Forschungsschwerpunkte	16 (30.8 %)	10 (19.2 %)	10 (19.2 %)	15 (28.8 %)	10 (19.2 %)	5 (9.6 %)

Bei der Analyse der Forschungsschwerpunkte der Expert\*innen wurde induktiv vorgegangen, indem die umschriebenen Forschungsschwerpunkte zu Kategorien zusammengefasst wurden. In diesem Zusammenhang konnten Kategorien von Forschungsschwerpunkten der Arbeitsgruppen (jeweils mehr als 5 Nennungen) gebildet werden. Von den 56 Expert\*innen mit Forschungsbezug wurde Digitalisierung als häufigstes Forschungsgebiet der Arbeitsgruppe mit fast 38 % genannt, während Modelle nur in 10 Fällen thematisiert wurden (18.9 %). Hochschuldidaktik (30.2 %), Experimente (28.3 %) und Lehr-Lern-Konzepte (28.3 %) stellen außerdem weit verbreitete Forschungsfelder in Arbeitsgruppen der Fachdidaktiken dar. Weitere Kategorien lauten nach absteigender Häufigkeit (Tabelle 7): Sprache (15.1 %), außerschulische Lernorte (13.2 %) und Bildung für Nachhaltige Entwicklung (11.3 %). Ein ähnliches Bild zeichnet sich für die eigene Forschung der Befragten ab. Es konnten dieselben Kategorien gebildet werden wie bei den Forschungsthemen der Arbeitsgruppen, allerdings zeigen sich geringfügig abweichende Häufigkeiten. Die Digitalisierung stellt erneut das häufigste Forschungsgebiet dar (30.8 %), gefolgt von Lehr-Lern-Konzepten (28.8 %), Experimenten (19.2 %), Hochschuldidaktik (19.2 %) und Modellen (19.2 %). Eine differenziertere Beschreibung der Stichprobe kann dem Anhang III entnommen werden.

#### Inhaltliche Struktur der Expertenbefragung

Die Struktur der drei inhaltlichen Teile der Expertenbefragung wird im Folgenden beschrieben, eine Druckversion des Leitfadens der Expertenbefragung befindet sich im Anhang (II. Fragebogen der Expertenbefragung).

## 11. Modelle in Ausbildung und Anwendung

Der erste inhaltliche Teil beinhaltet Mehrfachwahlaufgaben zu Modellen und Modellkompetenz in der Ausbildung und der Anwendung im beruflichen Alltag der Expert\*innen. Die letzte Wahlmöglichkeit bietet jeweils Raum zur Ergänzung eigener, zuvor nicht genannter Antwortmöglichkeiten. Die Expert\*innen geben in den ersten drei Fragen (Tabelle 8) zunächst an, in welcher Phase ihrer Ausbildung (nie, universitäre Ausbildung, zweite Ausbildungsphase, berufsbegleitende Fortbildungen oder sonstige Maßnahmen) sie bereits mit verschiedenen Modellen (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modellexperimente; Frage 1), der Modellkompetenz (Frage 2) oder der Förderung der Modellkompetenz (Frage 3) konfrontiert waren. Darauf folgen Fragen zur Anwendung von Modellen und Modellkompetenz im aktuellen beruflichen Alltag. In diesem Abschnitt werden unterschiedliche Fragen angezeigt, je nachdem, ob der/die Befragte der forschungs- oder praxisbezogenen Perspektive angehört.

Tabelle 8: Übersicht über den Leitfaden der Expertenbefragung zum Thema *Modelle in der Ausbildung*

Dimension: Modelle in der Ausbildung				
Wortlaut der Frage	Bezug der Frage		Fragenformat	Fragentyp
	Forschung	Praxis		
<b>Frage 1:</b> Haben Sie in Ihrer Ausbildung verschiedene Modelle (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modellexperimente) der Chemie kennengelernt?	X	X	geschlossen, letzte Auswahl offen	Sondierungsfrage
<b>Frage 2:</b> Wurden Sie in Ihrer Ausbildung bereits mit der Modellkompetenz von Schüler/-innen in der Chemie konfrontiert?	X	X	geschlossen, letzte Auswahl offen	Sondierungsfrage
<b>Frage 3:</b> Haben Sie in Ihrer Ausbildung gelernt, die Modellkompetenz von Schüler/-innen in der Chemie aktiv zu fördern?	X	X	geschlossen, letzte Auswahl offen	Sondierungsfrage

Anschließend geben die Expert\*innen an, inwiefern Modelle und die Modellkompetenz in ihrem täglichen Beruf Anwendung finden (Tabelle 9). Die Expert\*innen mit Forschungsbezug teilen in der ersten von drei Mehrfachwahlaufgaben zunächst mit, ob sich die Forschung der Arbeitsgruppe, der sie angehören, mit verschiedenen Modellen befasst (Frage 4a). Dabei lauten die vorgegebenen Wahlmöglichkeiten: nein/ ja, in theoretischer Form/ ja, in praktischer Form/ ja, in anderer Weise (offen für individuelle Ergänzungen). Die daran anschließende Frage baut inhaltlich darauf auf, indem sie erfragt, welche Aspekte von Modellen ggf. explizit thematisiert werden (Frage 5a). Hier werden die Subdimensionen der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) als Wahlmöglichkeiten (*Eigenschaften von Modellen/ Alternative Modelle/ Testen von Modellen/ Ändern von Modellen*) gegeben. Zur besseren Zuordnung wird jeweils noch eine Beispielfrage oder eine Umschreibung ergänzt. Exemplarisch für *Eigenschaften von Modellen* lautet diese „Welche Beziehung besteht zwischen dem Modell und dem Original?“. Nachfolgend werden die Expert\*innen der forschungsbezogenen Perspektive nach Bezügen zur Förderung der Modellkompetenz in der Forschung der Arbeitsgruppe befragt (Frage 6a). Als Antwortmöglichkeiten werden *nein/ ja, im Zuge theoretischer Grundlagenforschung/*

ja, im Zuge praktischer Einsatzmöglichkeiten/ ja, in folgender Form (offen für individuelle Ergänzungen) vorgegeben. Für forschungsbezogene Befragte folgen dann dieselben Fragen noch einmal mit Bezug zur eigenen Forschung (Fragen 4b, 5b und 6b). Die Fragen des Forschungsbezugs werden in Tabelle 9 den Fragen des Praxisbezugs gegenübergestellt.

Tabelle 9: Übersicht über den Leitfaden der Expertenbefragung zum Thema *Modelle in der Anwendung*

<b>Dimension: Modelle in der Anwendung</b>				
<b>Wortlaut der Frage</b>	<b>Bezug der Frage</b>		<b>Fragenformat</b>	<b>Fragentyp</b>
	<b>Forschung</b>	<b>Praxis</b>		
<b>Modelle in der fachdidaktischen Forschung</b>				
<b>Frage 4a:</b> Beschäftigt sich Ihre Arbeitsgruppe in der Forschung mit verschiedenen Modellen (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modellexperimente)?	X		geschlossen, letzte Auswahl offen	Sondierungsfrage
<b>Frage 5a:</b> Falls sich die Forschung in Ihrer Arbeitsgruppe mit verschiedenen Modellen beschäftigt, welche Aspekte werden dabei explizit beachtet?	X		geschlossen, letzte Auswahl offen	Sondierungsfrage
<b>Frage 6a:</b> Beschäftigt sich Ihre Arbeitsgruppe in der Forschung mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen?	X		geschlossen, letzte Auswahl offen	Sondierungsfrage
<b>Frage 4b:</b> Beschäftigen Sie sich in Ihrer eigenen fachdidaktischen Forschung mit verschiedenen Modellen (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modellexperimente)?	X		geschlossen, letzte Auswahl offen	Sondierungsfrage
<b>Frage 5b:</b> Falls Sie sich in Ihrer eigenen Forschung mit verschiedenen Modellen beschäftigen, welche Aspekte beachten Sie dabei explizit?	X		geschlossen, letzte Auswahl offen	Reflektierende Frage
<b>Frage 6b:</b> Beschäftigen Sie sich in Ihrer eigenen Forschung mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen?	X		geschlossen, letzte Auswahl offen	Sondierungsfrage
<b>Modelle im Chemieunterricht</b>				
<b>Frage 4c:</b> Setzen Sie selbst verschiedene Modelle (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modellexperimente) in Ihrem Chemieunterricht ein?		X	geschlossen, letzte Auswahl offen	Sondierungsfrage
<b>Frage 5c:</b> Falls Sie Modelle in Ihrem Chemieunterricht einsetzen, auf welche Aspekte gehen Sie dabei explizit ein?		X	geschlossen, letzte Auswahl offen	Reflektierende Frage
<b>Frage 6c:</b> Fördern Sie in Ihrem Chemieunterricht aktiv die Modellkompetenz von Schüler/-innen?		X	geschlossen, letzte Auswahl offen	Sondierungsfrage

Befragte mit Praxisbezug erhalten in diesem Teil drei alternative Mehrfachwahlaufgaben (4c-6c). In der ersten Frage können die Expert\*innen angeben, inwiefern sie verschiedene Modelle im Chemieunterricht einsetzen. Die Antwortmöglichkeiten keine Modelle/ theoretische Modelle/ Anschauungsmodelle/ Denkmodelle/ Modellexperimente/ andere Modelle (offen für individuelle Ergänzungen) können gewählt werden. Frage 5c bezieht sich auf die Frage 4c, indem sie abgefragt, welche Subdimensionen der Modellkompetenz (*Eigenschaften von Modellen/*

*Alternative Modelle/ Testen von Modellen/ Ändern von Modellen* nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010)) explizit beim Umgang mit Modellen thematisiert werden. Zum Abschluss dieses Abschnitts werden die Teilnehmenden der Praxisperspektive befragt, ob sie die Modellkompetenz der Schüler\*innen in ihrem Unterricht aktiv fördern (Frage 6c). Hier stehen die Antwortmöglichkeiten nein/ zusammen mit chemischen Fachinhalten/ losgelöst von der Vermittlung von Fachwissen/ in folgender Form (offen für individuelle Ergänzungen) zur Auswahl.

## **12. Modellkompetenz für die Chemie**

Im zweiten inhaltlichen Abschnitt wird die Modellkompetenz fokussiert (Tabelle 10). Zunächst werden die Befragten gebeten, Assoziationen zum Begriff Modellkompetenz von Schüler\*innen in der Chemie zu notieren (Frage 7, offen). Anschließend wird die Definition der Modellkompetenz (S. 14 dieser Arbeit) präsentiert, bevor die Expert\*innen die Passung dieser für die Chemie beurteilen und angeben, inwiefern sie eine ausgeprägte Modellkompetenz entsprechend dieser Definition als wichtig für die Chemie ansehen (Frage 8, geschlossenes Format mit der 4-stufigen Likert-Skala 1= trifft nicht zu/ 2=trifft eher nicht zu/ 3=trifft eher zu/ 4=trifft zu).

Tabelle 10: Übersicht über den Leitfaden der Expertenbefragung zum Thema *Modellkompetenz für die Chemie*

<b>Dimension: Modellkompetenz für die Chemie</b>				
<b>Wortlaut der Frage</b>	<b>Bezug der Frage</b>		<b>Frageformat</b>	<b>Fragetyp</b>
	<b>Forschung</b>	<b>Praxis</b>		
<b>Frage 7:</b> Welche Aspekte assoziieren Sie mit einer ausgeprägten Modellkompetenz von Schüler/-innen in der Chemie?	X	X	offen	Sondierungsfrage
<b>Frage 8:</b> Bitte geben Sie an, wie sehr die folgenden Aussagen Ihrer Meinung nach zutreffen. - Für mich persönlich trifft diese Definition der Modellkompetenz genau so auch für die Chemie zu. - Ich persönlich sehe eine ausgeprägte Modellkompetenz der Schüler/-innen entsprechend der oben genannten Definition als sehr wichtig für die Chemie an.	X	X	geschlossen	Reflektierende Frage
<b>Vorstellung der Operationalisierung der Modellkompetenz nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010)</b>				
<b>Frage 9:</b> Welche der genannten Aspekte lassen sich Ihrer Meinung nach auf die Modellkompetenz in der Chemie anwenden?	X	X	offen	Sondierungsfrage
<b>Frage 10:</b> Welche Aspekte würden Sie für eine bessere Anwendbarkeit auf die Modellkompetenz in der Chemie abändern, ergänzen oder weglassen?	X	X	offen	Sondierungsfrage

Im Anschluss an die Fragen sieben und acht wird ein selbst erstelltes Video im Fragebogen eingebunden (Abbildung 9), welches die Operationalisierung der Modellkompetenz in ihre Subdimensionen erklärt. Dieses bildet die Grundlage für die Expert\*inneneinschätzung,

inwiefern sich bestimmte Aspekte auf die Chemie anwenden lassen (Frage 9, offen) und welche Aspekte abgeändert, ergänzt oder weggelassen werden sollten, um die Passung für die Chemie zu verbessern (Frage 10, offen).

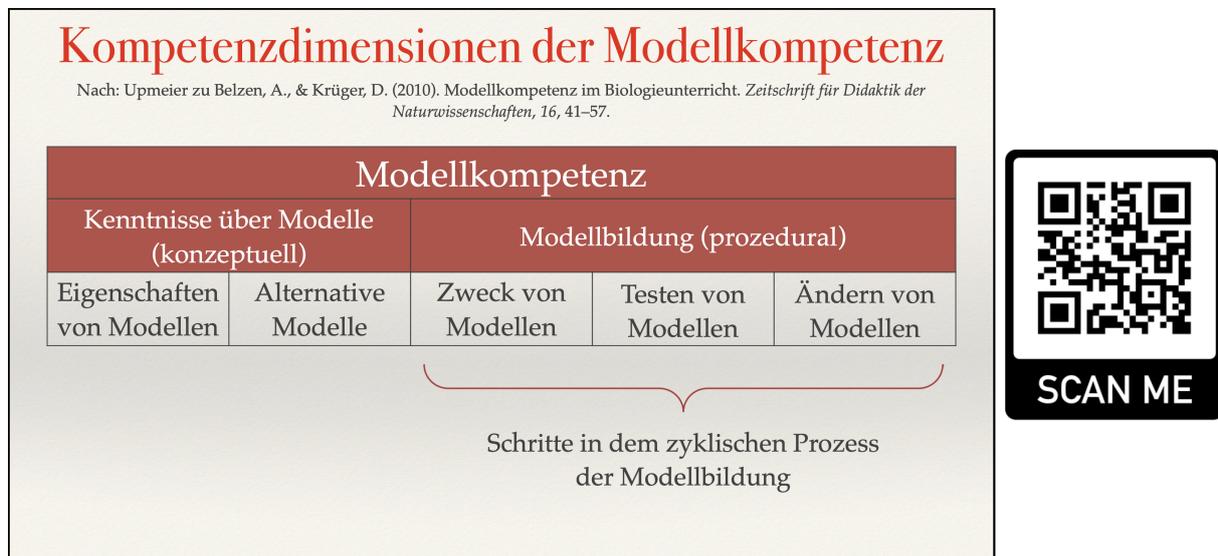


Abbildung 9: Ausschnitt aus dem Video zur Vorstellung der Subdimensionen zur Modellkompetenz  
(Video abrufbar über den QR-Code rechts neben dem Bild)

### **13. Modellierungsprozesse für die Chemie**

An den Teil zur Modellkompetenz in der Chemie schließt sich der dritte und letzte inhaltliche Abschnitt der Expertenbefragung an (Tabelle 11). Dieser beginnt zunächst mit der kurzen Erklärung, dass sich Modellierungsprozesse zur Förderung der Modellkompetenz von Schüler\*innen eignen. Davon ausgehend erbittet Frage 11 im offenen Antwortformat Assoziationen von den Expert\*innen dazu, welche Aspekte ein Modellierungsprozess für die Chemie beinhalten sollte, um damit die Modellkompetenz der Schüler\*innen zu fördern. Anschließend wird eine mögliche Definition eines Modellierungsprozesses angegeben und die Expert\*innen beurteilen in Frage 12 (geschlossenes Format mit der 4-stufigen Likert-Skala 1= *trifft nicht zu*/ 2=*trifft eher nicht zu*/ 3=*trifft eher zu*/ 4=*trifft zu*), inwiefern sich ihrer Meinung nach Modellierungsprozesse, die vorwiegend in der Biologie oder der Mathematik eingesetzt wurden, für die Förderung der Modellkompetenz in der Chemie eignen.

Tabelle 11: Übersicht über den Leitfaden der Expertenbefragung zum Thema *Modellierungsprozesse*

<b>Dimension: Modellierungsprozesse für die Chemie</b>				
<b>Wortlaut der Frage</b>	<b>Bezug der Frage</b>		<b>Fragenformat</b>	<b>Fragentyp</b>
	<b>Forschung</b>	<b>Praxis</b>		
<b>Frage 11:</b> Modellierungskreisläufe bieten sich an, um die Modellkompetenz von Schüler/-innen zu fördern. Diese Kreisläufe unterscheiden sich von Fach zu Fach. Welche Aspekte könnten Ihrer Meinung nach relevant sein für einen Modellierungskreislauf in der Chemie, um mit diesem Prozess die Modellkompetenz der Schüler/-innen zu fördern?	X	X	offen	Sondierungsfrage
<b>Frage 12:</b> Bei Modellierungsprozessen handelt es sich um einen iterativen Kreislauf, der aus der Herstellung, Anwendung und Überprüfung eines Modells besteht. - Modellierungsprozesse aus der Biologie lassen sich meiner Meinung nach gut auf die Chemie übertragen. - Modellierungsprozesse aus der Mathematik lassen sich meiner Meinung nach gut auf die Chemie übertragen.	X	X	geschlossen	Sondierungsfrage
<b>Vorstellung des Modellierungsprozesses aus der Biologie nach Fleige et al. (2016)</b>				
<b>Frage 13:</b> Der gezeigte Modellierungsprozess aus der Biologie lässt sich meiner Meinung nach auf die Chemie übertragen.	X	X	geschlossen	Sondierungsfrage
<b>Frage 14:</b> Welche Aspekte des Modellierungsprozesses aus der Biologie... - ... passen Ihrer Meinung nach gut und können für die Chemie übernommen werden? - ... passen Ihrer Meinung nach nicht gut und sollten für die Chemie abgeändert oder weggelassen werden? - ... müssten Ihrer Meinung nach ergänzt werden, damit das Schema einen Modellierungsprozess in der Chemie abbildet?	X	X	offen	Reflektierende Frage
<b>Vorstellung des Modellierungsprozesses aus der Mathematik nach Schupp (1988)</b>				
<b>Frage 15:</b> Der gezeigte Modellierungsprozess aus der Mathematik lässt sich meiner Meinung nach auf die Chemie übertragen.	X	X	geschlossen	Sondierungsfrage
<b>Frage 16:</b> Welche Aspekte des Modellierungsprozesses aus der Mathematik... - ... passen Ihrer Meinung nach gut und können für die Chemie übernommen werden? - ... passen Ihrer Meinung nach nicht gut und sollten für die Chemie abgeändert oder weggelassen werden? - ... müssten Ihrer Meinung nach ergänzt werden, damit das Schema einen Modellierungsprozess in der Chemie abbildet?	X	X	offen	Reflektierende Frage

Um die Meinungen zu Modellierungsprozessen konkreter auf Beispiele zu beziehen, wird zunächst der Modellierungsprozess nach Fleige et al. (2016) (ebenfalls veröffentlicht in Upmeier zu Belzen und Krüger, 2019b) in einem selbst erstellten Video (Abbildung 10, oben) erklärt. Anhand dieser Erklärungen werden die Expert\*innen erneut gebeten, den Übertrag dieses Prozesses auf die Chemie mit Hilfe eines geschlossenen Items (Frage 13, 4-stufige Likert-Skala 1=trifft nicht zu/ 2=trifft eher nicht zu/ 3=trifft eher zu/ 4=trifft zu) einzuschätzen. Frage 14 (offen) fordert die Befragten schließlich auf, Aspekte zu identifizieren, die gut für die Chemie übernommen werden können bzw. abgeändert oder weggelassen/ ergänzt werden sollten, um die Passung zu verbessern. Dieselbe Struktur zeigt die Befragung für den Modellierungsprozess aus der Mathematik nach Schupp (1988). Dieser wird ebenfalls auch zunächst in einem Video vorgestellt (Abbildung 10, unten). Anschließend wird mit denselben Fragen wie zuvor beim Prozess nach Fleige et al. (2016) (Frage 15 geschlossenes Format mit 4-Punkt-Likert-Skala 1=trifft nicht zu/ 2=trifft eher nicht zu/ 3=trifft eher zu/ 4=trifft zu, Frage 16 offen) die Passung dieses Prozesses für die Chemie erfasst.

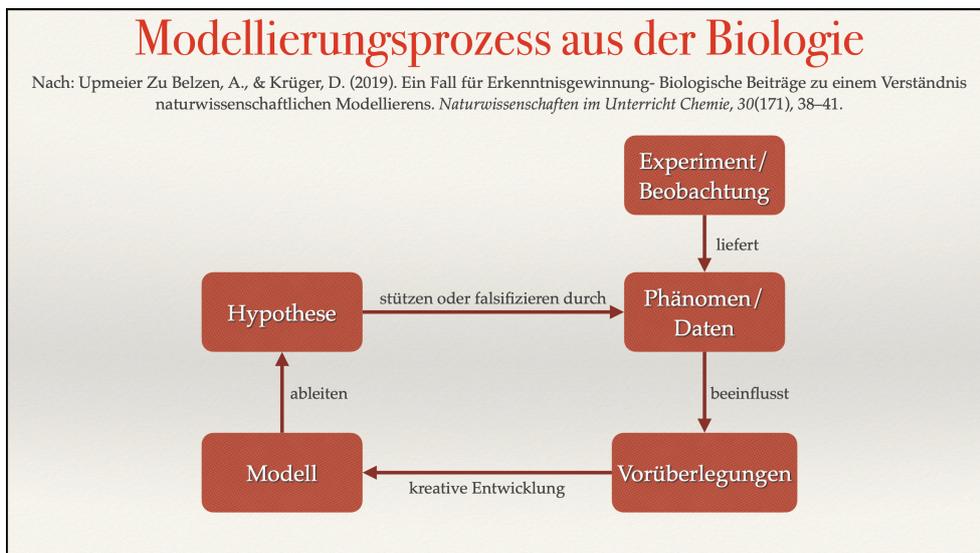
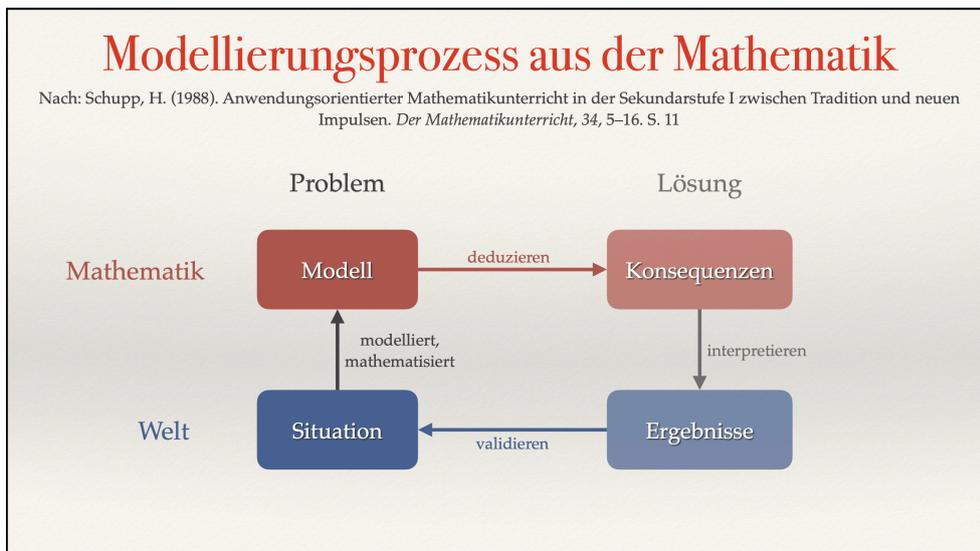


Abbildung 10: Ausschnitte aus den Videos zur Erklärung der Modellierungsprozesse  
oben: aus der Biologie nach Fleige et al. (2016), unten: aus der Mathematik nach Schupp (1988)

### 3.1.4 Ergebnisse

Nachdem im vorangegangenen Kapitel das methodische Vorgehen beschrieben wurde, sollen nun die Auswertungsmethoden sowie Ergebnisse vorgestellt werden. Bezüglich der Ergebnisse werden diese am Aufbau der Expertenbefragung orientiert. Durch die Ergebnisse der Expertenbefragung kann die Verankerung von Modellen in der Ausbildung, der fachdidaktischen Forschung und dem Chemieunterricht beurteilt werden, was eine Einschätzung der Wichtigkeit des hier vorgestellten Forschungsvorhabens ermöglicht. Darüber hinaus werden die Passungen verschiedener Modellierungsprozesse und der Modellkompetenz mit ihren Subdimensionen für die Chemie beurteilt, sodass schließlich im folgenden Kapitel 3.1.5. ein Modellierungsprozess für die Chemie entwickelt wird, auf dem das weitere Forschungsvorhaben (Teile II und III der empirischen Arbeit) aufbaut. Zunächst muss allerdings auf Grundlage der Ergebnisse der Expertenstatus der Befragten eingeschätzt werden.

#### Datenauswertung

Im Folgenden werden die einzelnen Teilaspekte der Ergebnisse nacheinander detailliert vorgestellt und auf die Fragestellung bezogen. Für Items in geschlossenem Format werden deskriptive Analysen mit IBM® SPSS® Statistics Version 27.0.0.0 durchgeführt. Die offenen Items werden je nach inhaltlicher Orientierung nach deduktiver oder induktiver Inhaltsanalyse nach Mayring (2014, 2020) ausgewertet und Häufigkeitsverteilungen abgeleitet. Deduktiv wird bei Items mit offenem Format genau dann vorgegeben, wenn es eine dahinterstehende Theorie gibt. Dies gilt z.B. für die Assoziationen der Expert\*innen mit der Modellkompetenz: Hier wird die Definition der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) herangezogen, um für jeden Bestandteil der Antwort das Vorkommen in der Definition zu beurteilen. Derart kann das Categoriesystem „alle wichtigen Bestandteile genannt“, „einige wichtige Bestandteile genannt“, „unwichtige oder keine Bestandteile genannt“ sowie „weiterführende wichtige Bestandteile genannt“ gebildet werden und ausgehend davon eine Häufigkeitsverteilung erstellt werden. Für die Assoziationen zum Modellierungsprozess in der Chemie wird folgendermaßen vorgegangen: Die Definition nach Koch et al. (2015) bildet dasselbe Categoriesystem wie zuvor für die Modellkompetenz beschrieben aus. Bei den Beurteilungen der Passung der Modellierungsprozesse zur Chemie fand eine Mischung aus deduktivem und induktivem Vorgehen Anwendung: Zunächst wurden die Antworten nach den Bestandteilen der Modellierungsprozesse durchsucht (deduktiv) und anschließend die verbleibenden Aspekte zu Kategorien zusammengefasst (induktiv). Auf diese Weise konnten auch für die Passungen zur Chemie Häufigkeitsverteilungen abgeleitet werden. Alle weiteren Items mit offenem Format wurden induktiv analysiert. Hierbei werden in einem ersten Durchgang Schlagworte notiert, die in den einzelnen Antworten vorkommen. Aus diesen werden Kategorien abgeleitet, die die Grundlage für Zuordnungen während eines zweiten Materialdurchgangs bilden, indem alle Antworten auf ihre Passung zu den zuvor ermittelten Kategorien untersucht werden. Bei der Befragung zu den eigenen Forschungsschwerpunkten wird beispielsweise im ersten Durchgang das Schlagwort

„Digitalisierung“ erkannt, welchem im zweiten Materialdurchgang Aussagen wie „Einsatz digitaler Medien“, „digital gestütztes Lernen“ und „Lernen mit digitalen Medien“ zugeordnet werden.

Die Ergebnisse werden in den folgende Kapiteln gegliedert nach dem Aufbau der Expertenbefragung vorgestellt.

### Modelle und Modellkompetenz in der Ausbildung

Frage 1: „Haben Sie in Ihrer Ausbildung verschiedene Modelle (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modellexperimente) der Chemie kennengelernt?“, Angaben in gültigen Prozent

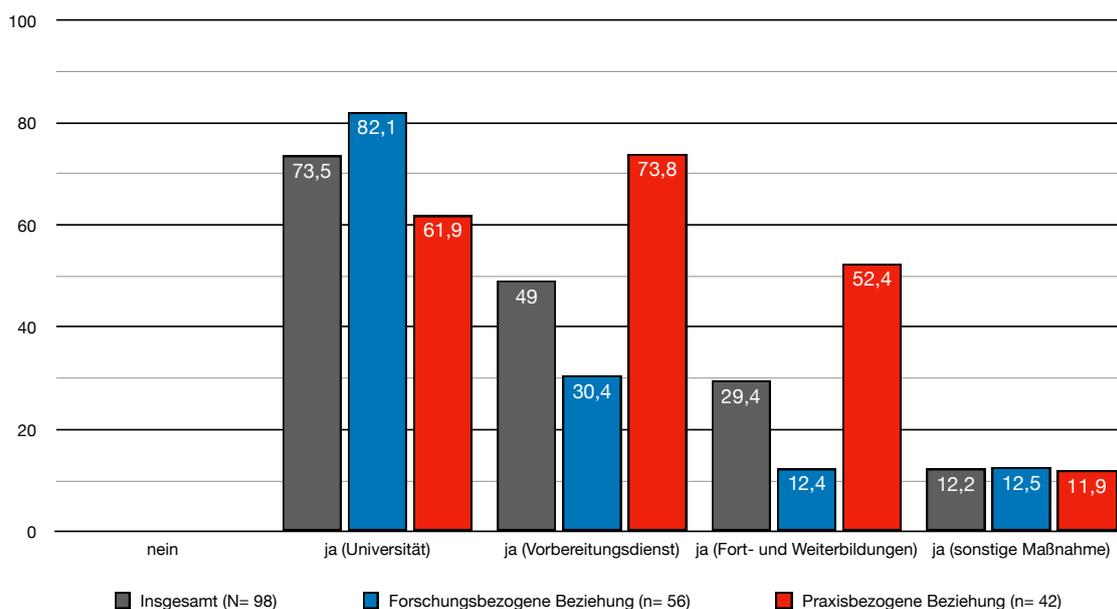


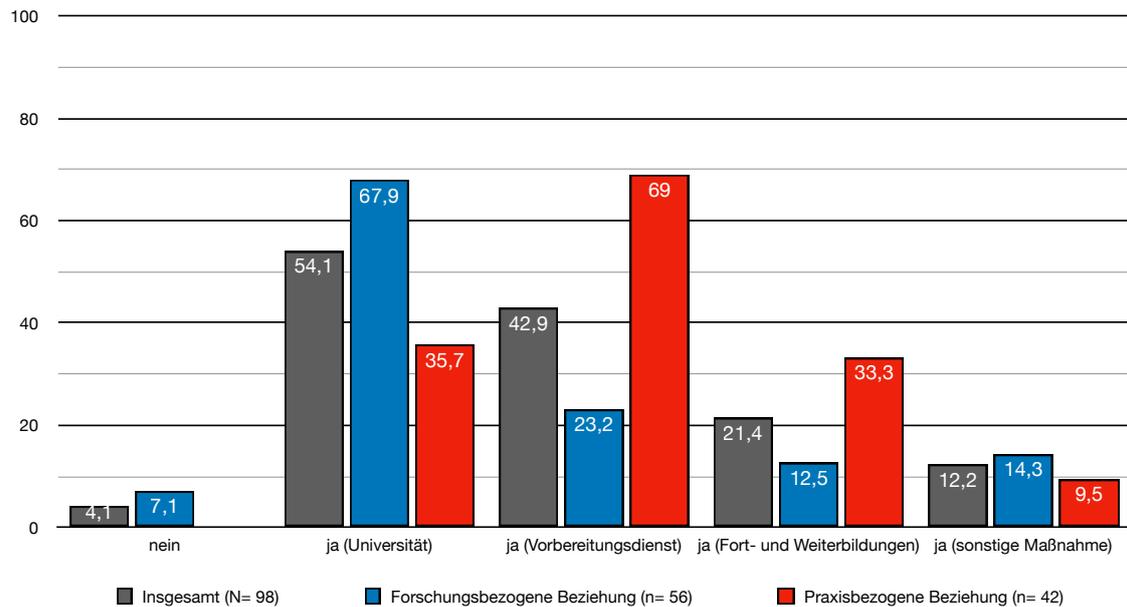
Abbildung 11: Ergebnisse der Expertenbefragung zu verschiedenen Modellen in der Ausbildung (Frage 1), Vergleich der praxis- und forschungsorientierten Beziehung

Die Expertenbefragung zeigte, dass alle Expert\*innen bereits mit verschiedenen Modellen in ihrer Ausbildung in Kontakt gekommen sind. Vor allem in der universitären Ausbildung scheinen Modelle vielfach thematisiert worden zu sein, da fast drei Viertel der Expert\*innen diese Frage bejahten (vgl. Abbildung 11). Für forschungsorientierte Befragte liegt der Kontakt mit verschiedenen Modellen, der Modellkompetenz oder der Förderung dieser erwartungsgemäß hauptsächlich im universitären Bereich, während praxisorientierte Befragte vor allem im Vorbereitungsdienst (ca. 61 - 74 %), aber auch in Fort- und Weiterbildungen (ca. 33- 53 %) mit verschiedenen Modellen, der Modellkompetenz und der Förderung der Modellkompetenz in Kontakt kamen. Auch dies scheint aufgrund der Ausbildungsstruktur plausibel (Abb. Abbildung 11 und Abbildung 12). Aus der gesamten Verteilung lässt sich grundsätzlich schließen, dass unterschiedliche Modelle und Modellkompetenz in der Ausbildung eine große Rolle spielen (nur max. 7.1 % der Befragten verneinten eine Begegnung mit diesen Konzepten in ihrer Ausbildung), während die Förderung der Modellkompetenz grundsätzlich weniger adressiert

wird. Fast ein Fünftel der Befragten insgesamt kennen keine Förderansätze für die Modellkompetenz im Chemieunterricht (Abbildung 12, Frage 3).

Bei einer Differenzierung der Fragen bezüglich des Studienorts (vgl. Anhang „IV. Modelle in der Ausbildung“) zeigt sich unter den 18 Befragten aus dem Saarland im Vergleich zu anderen Studienorten die Tendenz, dass unterschiedliche Schwerpunkte in den Phasen der Lehrkräftebildung gesetzt werden. Während verschiedene Modelle scheinbar an der Universität im Saarland mehr thematisiert werden als in anderen Bundesländern, legt die Ausbildung im Vorbereitungsdienst des Saarlandes größeren Wert auf die Modellkompetenz und die Förderung der Modellkompetenz als an anderen Standorten und in anderen Phasen. Weitere Maßnahmen, in deren Zusammenhang man mit verschiedenen Modellen in Kontakt kommen kann, werden von Befragten identifiziert: Schule (5.1 %), das Selbststudium (4.1 %) oder etwaige Lehrtätigkeiten (3.1 %). Kontakt mit der Modellkompetenz und entsprechenden Förderstrategien wurde unter den Expert\*innen auch durch eigene Lehrtätigkeiten (6.1 - 7.1 %) und das Selbststudium (4.1 - 5.1 %) hergestellt.

Frage 2: „Wurden Sie in Ihrer Ausbildung bereits mit der Modellkompetenz von Schüler/-innen in der Chemie konfrontiert?“, Angaben in gültigen Prozent



Frage 3: „Haben Sie in Ihrer Ausbildung gelernt, die Modellkompetenz von Schüler/-innen in der Chemie aktiv zu fördern?“, Angaben in gültigen Prozent

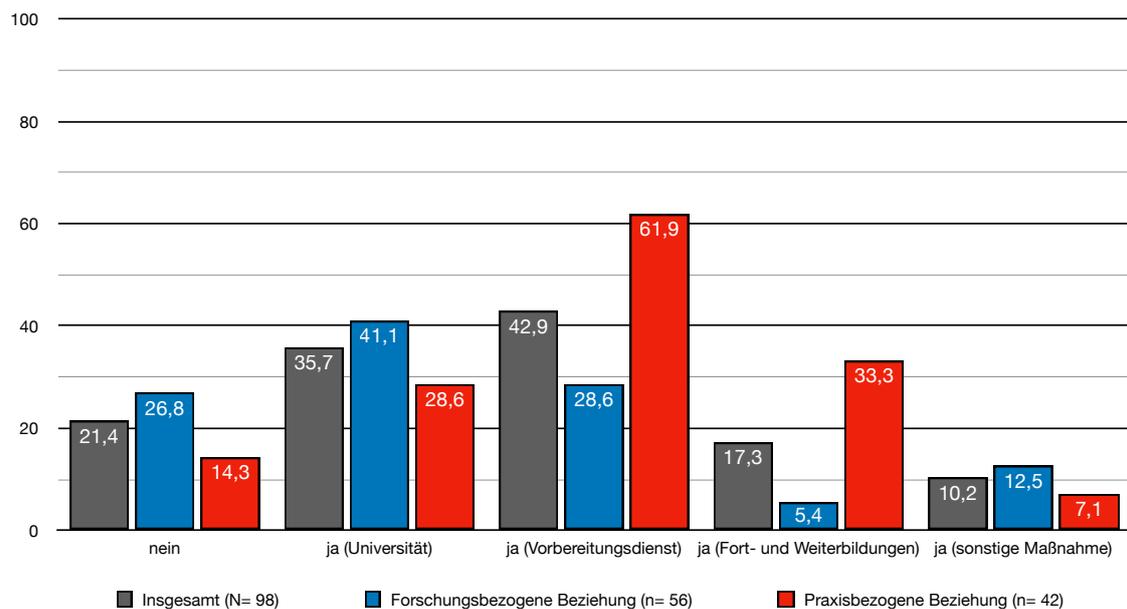
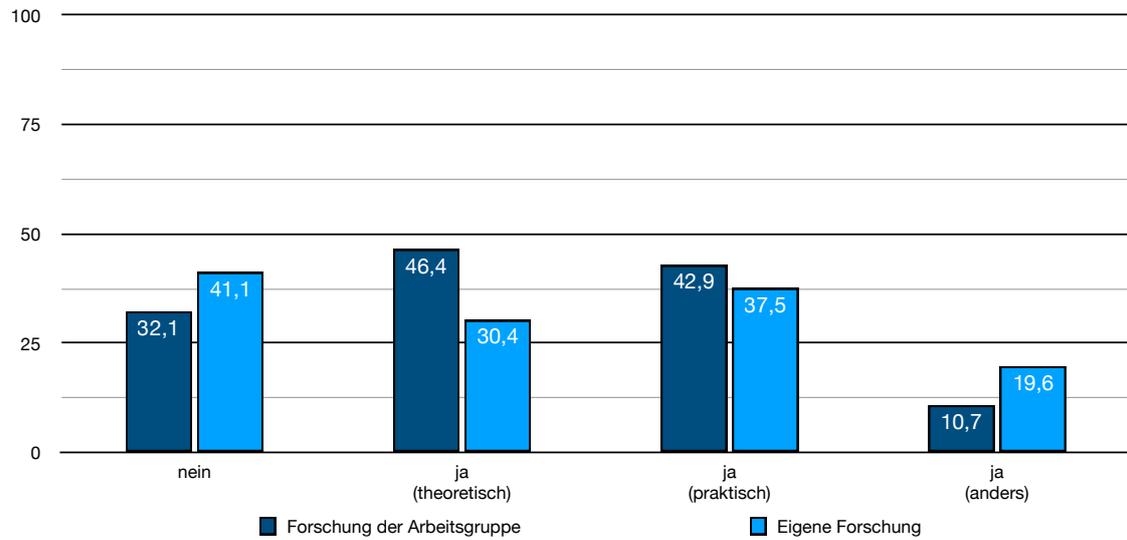


Abbildung 12: Ergebnisse der Expertenbefragung zur Modellkompetenz in der Ausbildung (Fragen 2-3), Vergleich der praxis- und forschungsorientierten Beziehung

### Modelle und Modellkompetenz in der fachdidaktischen Forschung

Bei der Verankerung von Modellen und Modellkompetenz in der fachdidaktischen Forschung ergab die Expertenbefragung unter den forschungsorientierten Befragten ( $n=56$ ) eine erwartungsgemäß große Übereinstimmung zwischen der Forschung der Arbeitsgruppe und der eigenen Forschung. Daher werden die Ergebnisse sowohl in den folgenden beiden Abbildungen als auch in den folgenden Erläuterungen zusammen berichtet.

Frage 4 a+b: "Beschäftigt sich Ihre Arbeitsgruppe/ Beschäftigen Sie sich in der Forschung mit verschiedenen Modellen (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modelleexperimente)?"



Frage 5 a+b: "Falls sich die Forschung in Ihrer Arbeitsgruppe/ Sie sich in Ihrer eigenen Forschung mit verschiedenen Modellen beschäftigt/ beschäftigen, welche Aspekte werden dabei explizit beachtet?"  
 (Frage 5a: n=38, Frage 5b: n=33, die jeweils die Fragen 4a und 4b mit Ja beantworteten)

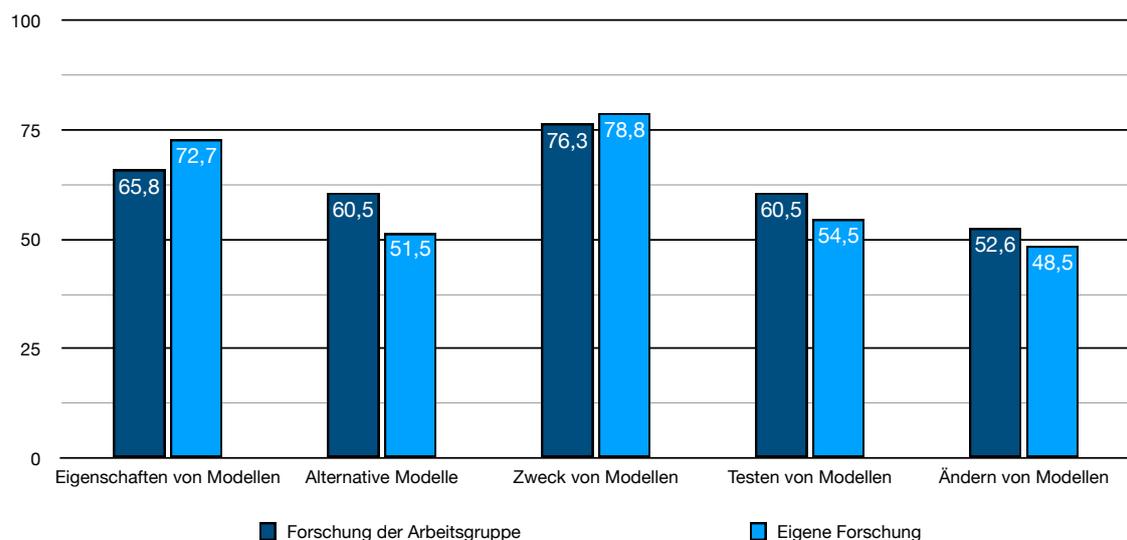


Abbildung 13: Ergebnisse der Expertenbefragung zu Modellen in der fachdidaktischen Forschung (Fragen 4 a+b und 5 a+b), nur forschungsorientierte Beziehung (n=56), alle Angaben in gültigen Prozent

Grundsätzlich scheinen verschiedene Modelle in der fachdidaktischen Forschung gut vertreten zu sein (Abbildung 13, oben), denn nur knapp ein Drittel der Expert\*innen gaben an, dass ihre Arbeitsgruppe sich nicht mit Modellen beschäftigt; in Bezug auf die eigene Forschung waren es sogar über 40 %. Falls Modelle thematisiert werden, sind theoretische (30,4 - 46,4 %) und praktische (37,5 - 42,9 %) Ansätze nahezu gleich stark vertreten. Als weitere Möglichkeiten, sich in der Forschung mit verschiedenen Modellen zu beschäftigen, werden z.B. fachwissenschaftliche Anknüpfungspunkte (z.B. bei zwischenmolekularen Wechselwirkungen, der Spektroskopie oder elektrochemischen Simulation), die Betreuung von Masterarbeiten, Konzeption von Seminaren oder Forschung zu Modellkompetenz von Lehramtsstudierenden genannt. Falls

verschiedene Modelle thematisiert werden, werden *Eigenschaften* und *Zweck von Modellen* tendenziell häufiger thematisiert; *Alternative Modelle*, *Testen* sowie *Ändern von Modellen* hingegen seltener (Abbildung 13, unten).

Bei der Förderung der Modellkompetenz (Abbildung 14) geben ca. 50 % der Befragten an, dass sie diese nicht in der Forschung ihrer Arbeitsgruppe oder ihrer eigenen Forschung thematisieren. Falls eine Thematisierung stattfindet, werden eher praktische Ansätze mit Bezug zum Chemieunterricht umgesetzt (28,6 - 37,5 %). Als weitere Möglichkeiten zum Kontakt mit der Förderung der Modellkompetenz werden auch hier wieder Seminare und universitäre Kurse sowie Bachelor- oder Masterarbeiten und Promotionen genannt.

Frage 6 a+b: "Beschäftigt sich Ihre Arbeitsgruppe/ Beschäftigen Sie sich in Ihrer eigenen Forschung mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen?"

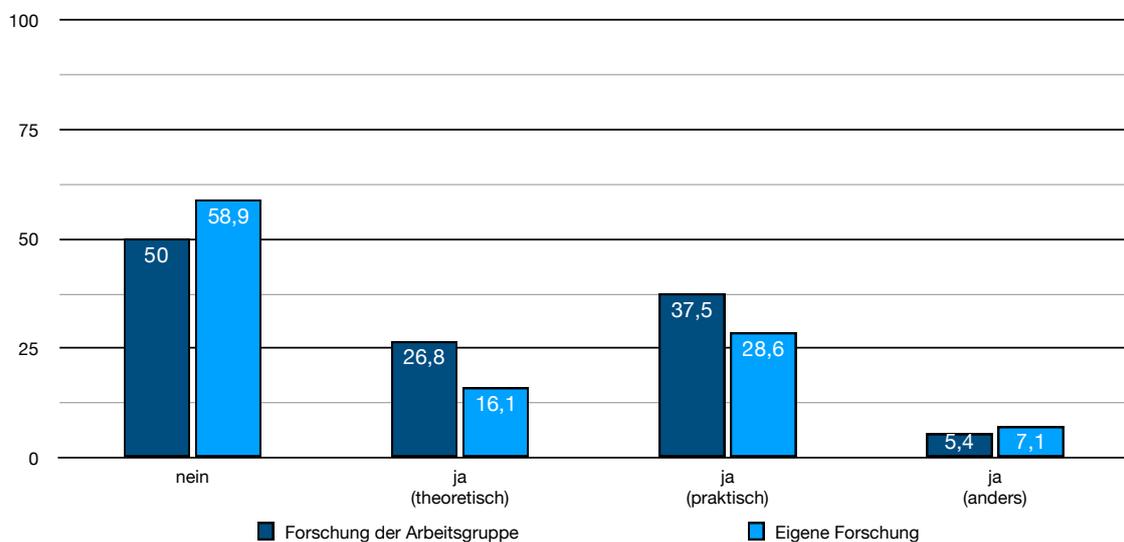


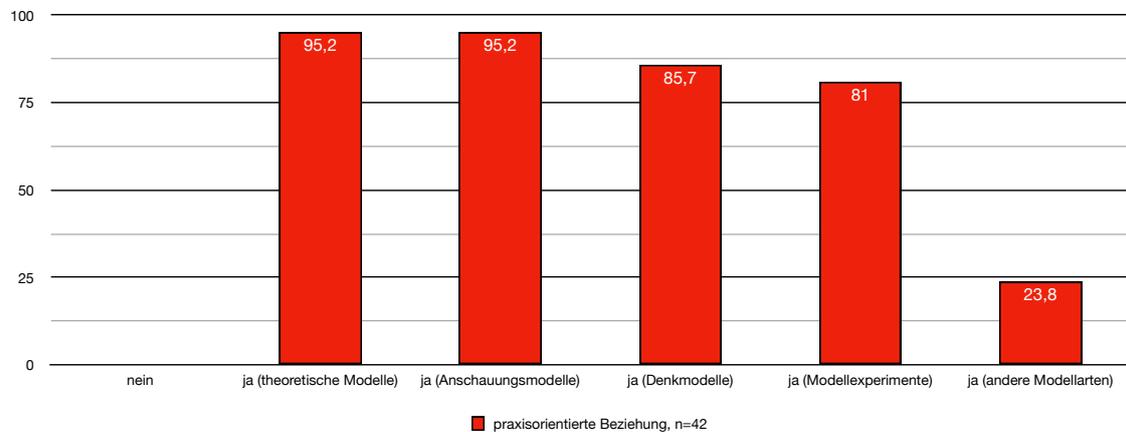
Abbildung 14: Ergebnisse der Expertenbefragung zur Modellkompetenz in der fachdidaktischen Forschung (Frage 6 a+b), nur forschungsorientierte Beziehung ( $n=56$ ), alle Angaben in gültigen Prozent

### Modelle und Modellkompetenz im Chemieunterricht

Bei der Befragung der praxisorientierten Expert\*innen ( $n=42$ ) zu Modellen und Modellkompetenz im Chemieunterricht zeigt sich, dass diese stark verankert scheinen. Alle Befragten geben an, dass sie Modelle im Chemieunterricht einsetzen. Darüber hinaus thematisieren über 95 % der Befragten theoretische Modelle und Anschauungsmodelle im Unterricht (vgl. Abbildung 15, oben). Die Kategorien Denkmodelle und Modellexperimente werden dabei nahezu gleichwertig eingesetzt (81 - 87 %). Als weitere Modellarten werden beispielsweise digitale Modelle oder Modelldarstellungen in Form von 3D-Modellen, digitalen Animationen oder Computersimulationen genannt. Außerdem werden Blackbox-Modelle als weitere Kategorie angegeben und das Lernen über Modelle als Ergänzung zum Lernen mit Modellen thematisiert. Bezüglich der Aspekte der Modellkompetenz (vgl. Abbildung 15, Mitte), welche im Unterricht behandelt werden, zeigt sich, dass vor allem der *Zweck von Modellen* (95,2 %) und die *Eigenschaften von Modellen* (85,1 %) angesprochen werden. Nur geringfügig weniger wird auf die Aspekte *Testen*

(71.4 %) und *Ändern von Modellen* (69 %) eingegangen. Das Zustandekommen alternativer Modelle thematisieren nur die Hälfte der praxisorientierten Befragten in ihrem Unterricht.

Frage 4 c: "Setzen Sie selbst verschiedene Modelle (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modellexperimente) in Ihrem Chemieunterricht ein?"



Frage 5 c: "Falls Sie Modelle in Ihrem Chemieunterricht einsetzen, auf welche Aspekte gehen Sie dabei explizit ein?"

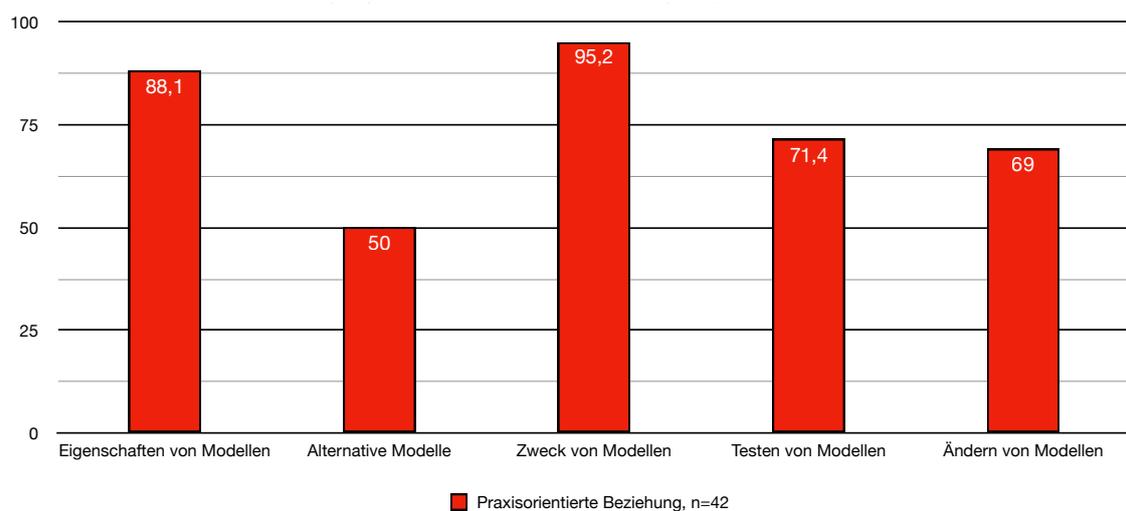


Abbildung 15: Ergebnisse der Expertenbefragung zu Modellen und Modellkompetenz im Chemieunterricht (Frage 4 c und 5 c), nur praxisorientierte Beziehung (n=42), Angaben in Prozent

Weiterhin geben die Befragten mit Praxisbezug an, dass sie meistens die Modellkompetenz zusammen mit dem Fachinhalt thematisieren (Frage 6c, 92.9 %), während sie dies zu 19 % unabhängig vom Fachinhalt tun. Knapp 5 % der Befragten bekunden, dass sie die Modellkompetenz in ihrem Unterricht nicht fördern. Als weitere Form zur Förderung der Modellkompetenz wird das ständige kognitive Aktivieren und Denken auf Stoff- und Modellebene beschrieben.

Frage 6 c: "Fördern Sie in Ihrem Chemieunterricht aktiv die Modellkompetenz von Schüler/-innen?"

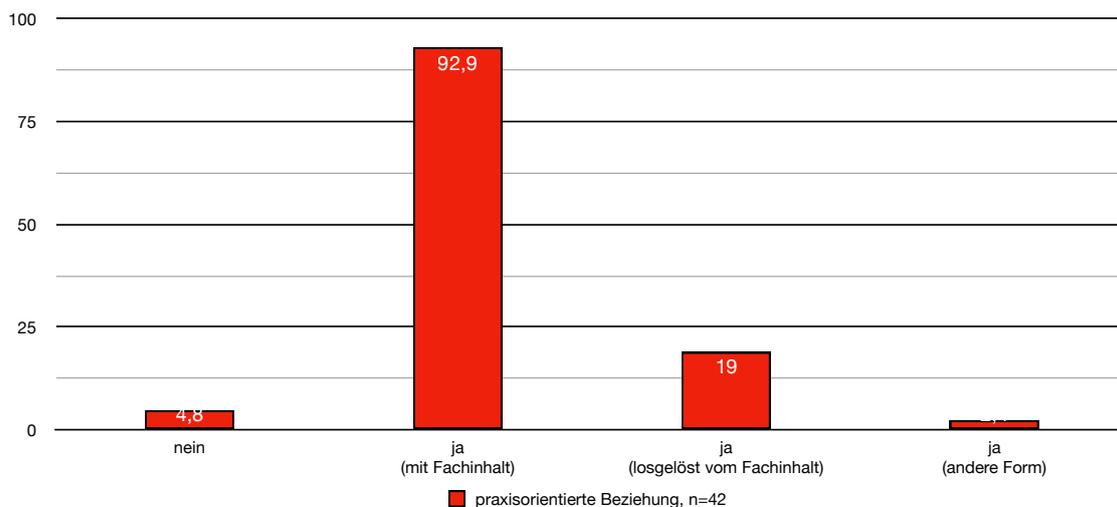


Abbildung 16: Ergebnisse der Expertenbefragung zum Kontext der Modellkompetenz im Chemieunterricht (Frage 6 c), nur praxisorientierte Beziehung ( $n=42$ ), Angaben in Prozent

Zusammenfassend lassen sich die Befragten beider Bezüge aufgrund ihrer Angaben in diesem Teil der Befragung als Expert\*innen klassifizieren, weshalb ihre Urteile in den folgenden Teilen der Expertenbefragung zur Passung der Konzepte in chemischen Kontexten als verlässlich eingestuft werden können.

### Einschätzung der Modellkompetenz für chemische Kontexte

Zur unvoreingenommenen Einschätzung der Modellkompetenz für die Chemie geben die Befragten zunächst ihre Assoziationen mit dem Begriff Modellkompetenz preis, ohne zuvor auf die Operationalisierung nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) aufmerksam gemacht worden zu sein. Am häufigsten werden dabei Aspekte genannt, die die Eigenschaften und Grenzen von Modellen betreffen (Forschung: 35.3 %, Praxis: 29.4 %, gesamt: 32.6 %). Diese Aspekte werden in ihrer Häufigkeit dicht gefolgt von der Modellkritik (Forschung: 19.6 %, Praxis: 20.6 %, gesamt: 20 %) sowie dem Abstraktions- und Veranschaulichungsaspekt (Forschung: 11.7 %, Praxis: 26.5 %, gesamt: 17.6 %). Drei weitere Kategorien wurden in mehr als 5 % der Fälle genannt: Modelle im Erkenntnisgewinn, Modelle als Teil der Modellierungen und Modelle im Fachwissenserwerb. Anschließend wird im Abgleich mit der Definition der Modellkompetenz nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) (hier: S.16) eine deduktive Kategorisierung vorgenommen. Als zu nennende Aspekte zeigten sich demnach 1) der Zweck der Erkenntnisgewinnung, 2) reflektierter Umgang mit Modellen und 3) Anwendung in problemhaltigen Situationen. Daraus werden folgende vier Kategorien gebildet:

- A: alle drei wichtigen Aspekte aus der Definition wurden genannt
- B: einige wichtige Aspekte aus der Definition wurden genannt
- C: wichtige Aspekte außerhalb der Definition wurden genannt
- D: keine oder unbedeutende Aspekte wurden genannt

Nach dieser Kategorisierung ergibt sich Abbildung 17. Es zeigt sich, dass kaum eine\*r der Expert\*innen alle wichtigen Aspekte der Modellkompetenzdefinition nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) mit dem Begriff assoziiert hat. Dennoch geben viele Befragte auch plausible bis gute Antworten außerhalb der Definition nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) in Bezug auf diese kriteriale Kategorisierung (Abbildung 17, Kategorie C), aber sogar insgesamt 38.7 % konnten keine plausiblen Angaben zu einer Definition machen.

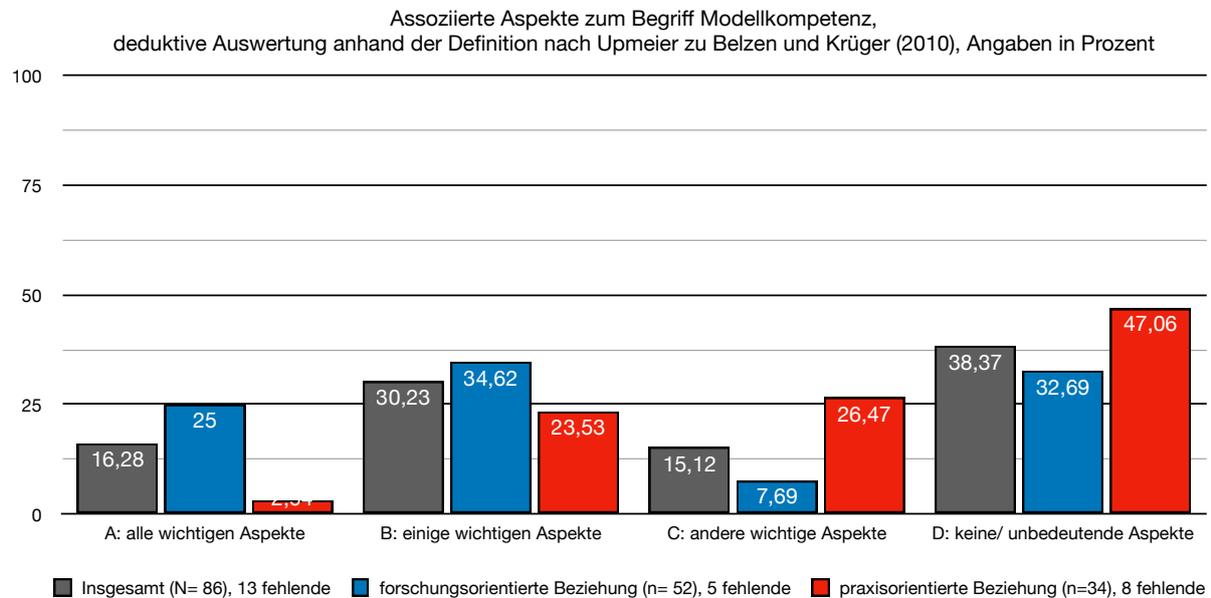
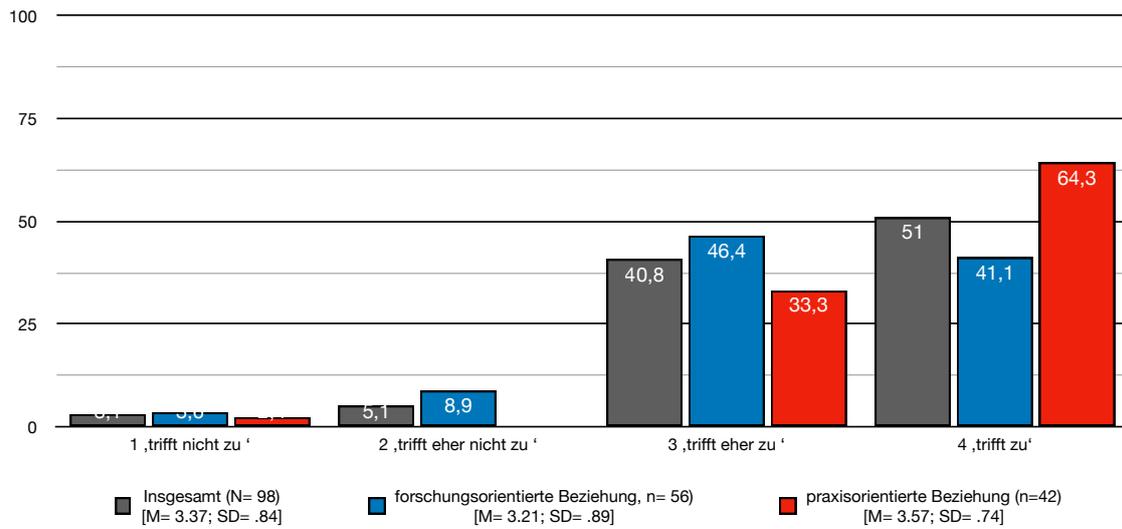


Abbildung 17: Ergebnisse aus der Expertenbefragung: Assoziation zum Begriff Modellkompetenz (Frage 7), deduktive Auswertung

Nach der Vorstellung der Modellkompetenzdefinition geben die Befragten an, dass sie eine Modellkompetenz entsprechend der vorgestellten Definition für den Chemieunterricht als passend ansehen ( $M= 3.37$ ,  $SD= .84^2$ , Abbildung 18, oben). Hierbei zeigen sich die forschungsorientierten Befragten etwas kritischer ( $M= 3.21$ ,  $SD= .89^2$ ) als die praxisorientierten Befragten ( $M= 3.57$ ,  $SD= .74^2$ ). Anschließend geben die Befragten an, dass sie eine entsprechend ausgeprägte Modellkompetenz als wichtig für den Chemieunterricht einschätzen ( $M= 3.4$ ,  $SD= .88^2$ , Abbildung 18, unten), wodurch die Entwicklung einer Fördermaßnahme der Modellkompetenz begründet werden kann. Auch in diesem Zusammenhang schätzen die forschungsorientierten Befragten ( $M= 3.30$ ,  $SD= .91^2$ ) die Notwendigkeit einer ausgeprägten Modellkompetenz als nicht ganz so hoch ein wie die praxisorientierten Befragten ( $M= 3.52$ ,  $SD= .83^2$ ).

<sup>2</sup> Skala: 1= trifft nicht zu/ 2=trifft eher nicht zu/ 3=trifft eher zu/ 4=trifft zu

Frage 8.1: „Für mich persönlich trifft diese Definition der Modellkompetenz genau so auch für die Chemie zu.“



Frage 8.2: „Ich persönlich sehe eine ausgeprägte Modellkompetenz der Schüler/-innen entsprechend der oben genannten Definition als sehr wichtig für die Chemie an.“

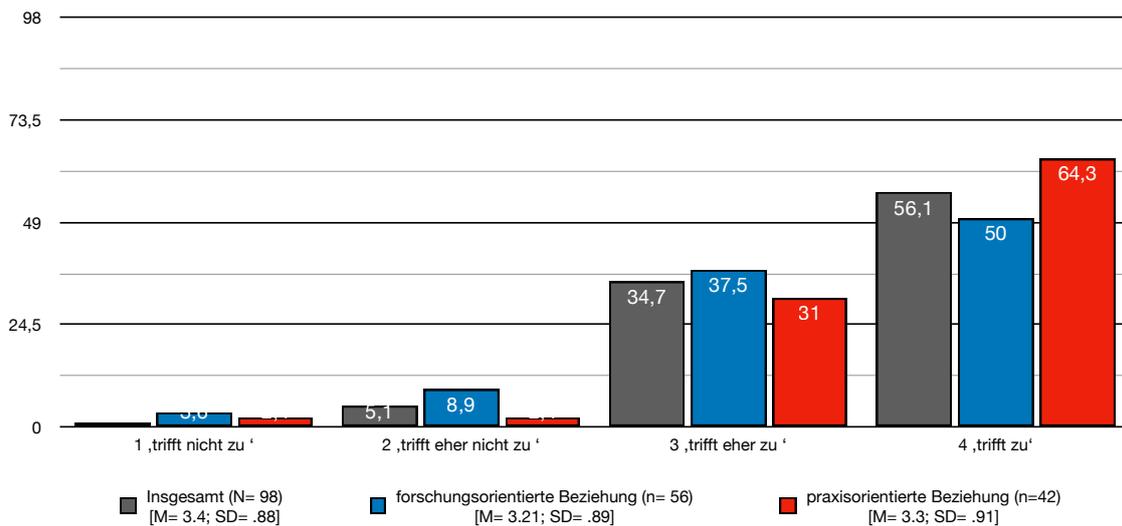


Abbildung 18: Ergebnisse der Expertenbefragung zur Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) im Chemieunterricht (Fragen 8.1 und 8.2), Angaben in Prozent

Nach Vorstellung der Subdimensionen in einem Video geben 58 von 98 Expert\*innen (68.2 %) an, dass sie alle genannten Aspekte auf eine Modellkompetenz in der Chemie übertragen würden (Abbildung 19). Falls die Passung ausgewählter Subdimensionen explizit hervorgehoben wird, werden alle Subdimensionen ungefähr in demselben Umfang als geeignet für die Chemie eingeschätzt (je ca. 18 %, Abbildung 19). Zwischen den Bezügen sind keine Unterschiede erkennbar.

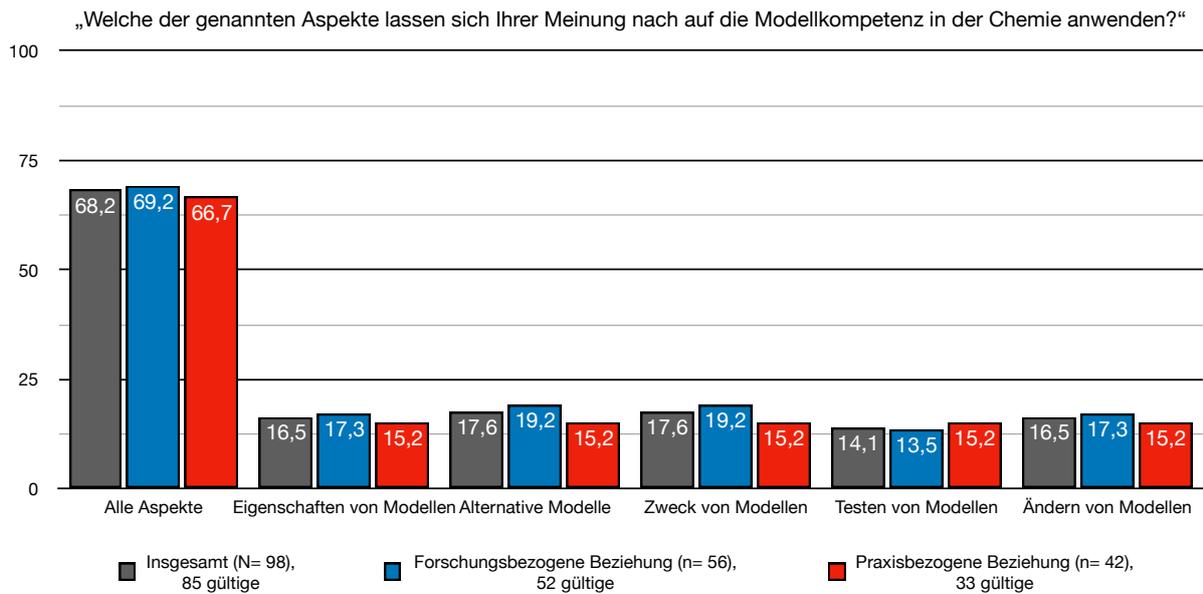


Abbildung 19: Ergebnisse der Expertenbefragung zu positiv bewerteten Aspekten der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) (Frage 9), Auswahl, getrennt nach Bezug, Angaben in gültigen Prozent

Anschließend geben 34 der 98 Befragten an, dass sie keine der genannten Dimensionen der Modellkompetenz weglassen oder abändern würden, um die Passung zur Chemie zu verbessern (46,6 %, Abbildung 20). Die Dimension *Eigenschaften von Modellen* wurde von den Expert\*innen am kritischsten für den Chemieunterricht gesehen (19,2 %). Dies lässt sich aus der Eigenart von Modellen in der Chemie begründen: Die dargestellten Objekte in der Chemie sind meist nur Gedankenobjekte (z.B. Atome), die in der Realität nicht existieren (Coll, 2006), was einen großen Unterschied zur Biologie darstellt. Für eine bessere Passung zur Chemie werden alle Subdimensionen (außer *Zweck von Modellen*) von jeweils mindestens einem\*einer Befragten als wegzulassen benannt. Ergänzungen oder Kommentare umfassen vor allem die Sensibilisierung dafür, dass Ausgangsobjekte in der Chemie unbekannt sind (sechs Nennungen, forschungsorientiert). Außerdem soll der Kompetenzbereich „Kenntnis von Modellen“ um Typen von Modellen erweitert werden (zwei Nennungen, forschungsorientiert) und es wird vorgeschlagen, die Dimension *Ändern von Modellen* in „Erweitern von Modellen“ (zwei Nennungen, praxisorientiert) umzubenennen. Weitere einfache Nennungen können dem Anhang V. „Kompetenzdimensionen der Modellkompetenz“ entnommen werden.

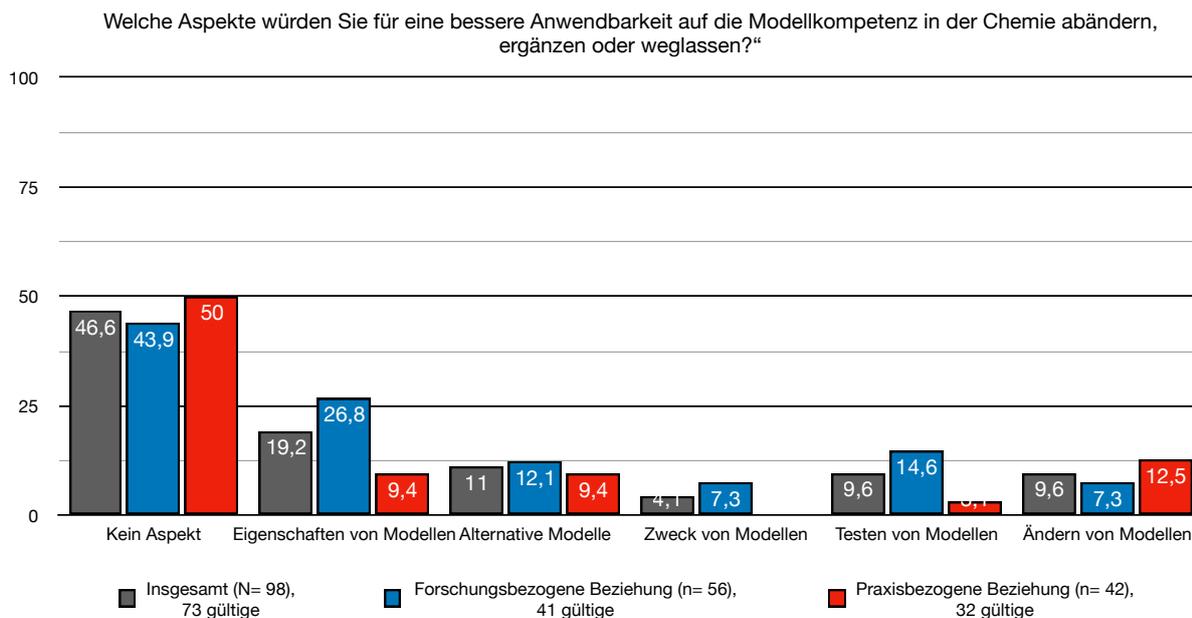


Abbildung 20: Ergebnisse der Expertenbefragung zu abzuändernden Aspekten der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) (Frage 9), Auswahl, getrennt nach Bezug, Angaben in gültigen Prozent

### Einschätzung der Modellierungsprozesse für chemische Konzepte

Zur unvoreingenommenen Einschätzung stellen die Befragten zunächst anhand ihrer Assoziationen dar, welche Schritte ein Modellierungsprozess für die Chemie beinhalten muss, um damit die Modellkompetenz der Schüler\*innen zu fördern (Frage 11). Im Abgleich mit der Definition eines Modellierungsprozesses nach Koch et al. (2015) (hier: S.18) zeigen sich die folgenden zu nennenden Aspekte: 1) iterativer Aufbau 2) zyklische Struktur und 3) Bestandteile (Herstellung, Anwendung und Überprüfung eines Modells). Daraus werden folgende vier Kategorien gebildet:

- A: alle wichtigen Aspekte aus der Definition wurden genannt
- B: einige wichtige Aspekte aus der Definition wurden genannt
- C: wichtige Aspekte außerhalb der Definition wurden genannt
- D: keine oder unbedeutende Aspekte wurden genannt

Nach dieser Kategorisierung ergibt sich Abbildung 21. Es zeigt sich, dass viele Expert\*innen eine kompetente Vorstellung von Modellierungsprozessen haben (Kategorie A oder B). Dabei ist allerdings auch erkennbar, dass nur selten eine vollständige Nennung der Aspekte vorkam (< 5 %). Dies lag vor allem daran, dass die iterative Eigenschaft eines Modellierungsprozesses häufig unerwähnt blieb. Es zeigt sich außerdem, dass ein großer Anteil der praxisorientierten Befragten gute Aspekte eines Modellierungsprozesses außerhalb der Definition von Koch et al. (2015) lieferte (25 %), während der Anteil an unbedeutenden oder unplausiblen Aspekten insgesamt bei mehr als 40 % lag. Aspekte außerhalb der Definition nach Koch et al. (2015), die dennoch eine Modellierung beinhalteten, waren zum Beispiel das Nachempfinden der historischen Modellentwicklung, das Ermöglichen von Reflexionsansätzen ausgehend von

Problemstellungen in der Alltagswelt der Schüler\*innen, vermehrte Modell-Original-Vergleiche oder grundsätzliche Erkenntniswege mit Modellen (nicht näher ausgeführt).

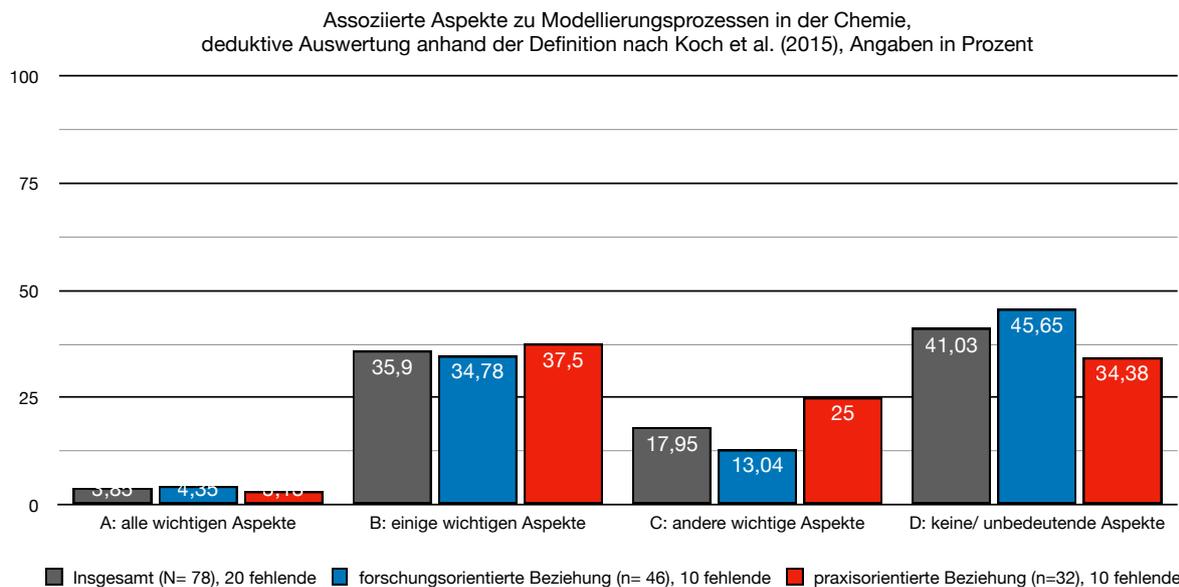
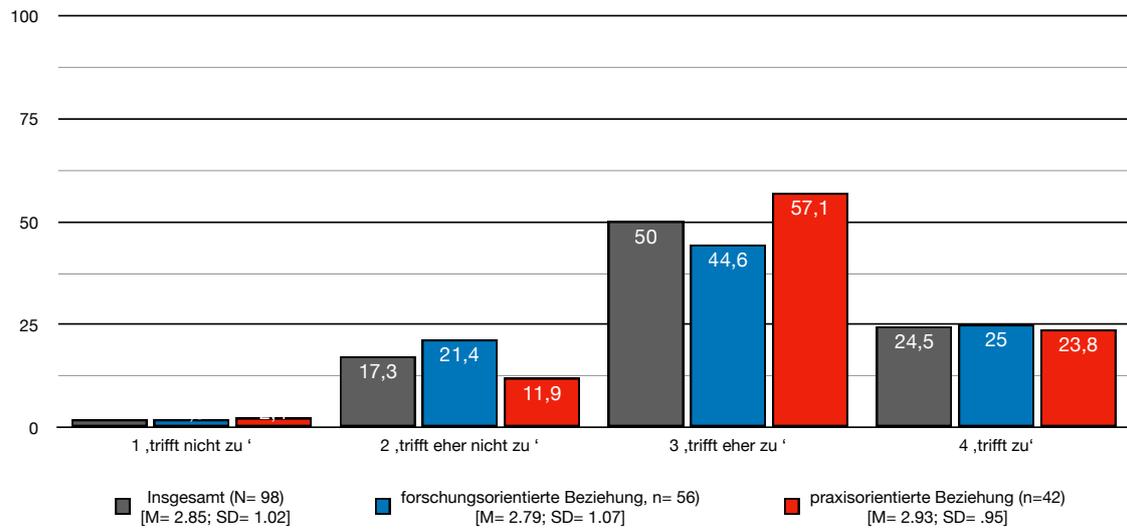


Abbildung 21: Ergebnisse aus der Expertenbefragung: Assoziationen zu Modellierungsprozessen in der Chemie zur Förderung der Modellkompetenz (Frage 11), deduktive Auswertung

Nach der Vorstellung einer Definition des Modellierungsprozesses geben die Befragten an, dass sie sich eher einen Übertrag aus der Biologie auf die Chemie ( $M= 2.85, SD= 1.02^2$ ) als von der Mathematik auf die Chemie ( $M= 2.58, SD= 1.05^2$ ) vorstellen können. Hier zeigen sich die forschungsorientierten Expert\*innen kritischer als die praxisorientierten Befragten (Abbildung 22, oben). Nachdem der Modellierungsprozess nach Fleige et al. (2016) aus der Biologie vorgestellt wurde, bewerten die Expert\*innen die Übertragbarkeit auf die Chemie besser als in der unspezifischen Befragung (vorher:  $M= 2.85, SD= 1.02^2$ /nachher:  $M= 3.27; SD= 1.10^2$ ). In beiden Befragungen zeigen sich die praxisorientierten Befragten ( $M= 3.14; SD= 1.20^2$ ) kritischer als die forschungsorientierten ( $M= 3.36; SD= 1.01^2$ ), wie aus Abbildung 22 hervorgeht. Anschließend geben die Expert\*innen an, welche Aspekte sie für die Chemie übernehmen würden sowie welche abgeändert, weggelassen oder ergänzt werden müssten, um die Passung zu verbessern.

Frage 12.1: „Modellierungsprozesse aus der Biologie lassen sich meiner Meinung nach gut auf die Chemie übertragen.“ (allgemein)



Frage 13: „Der gezeigte Modellierungsprozess aus der Biologie lässt sich meiner Meinung nach auf die Chemie übertragen.“ (spezifisch)

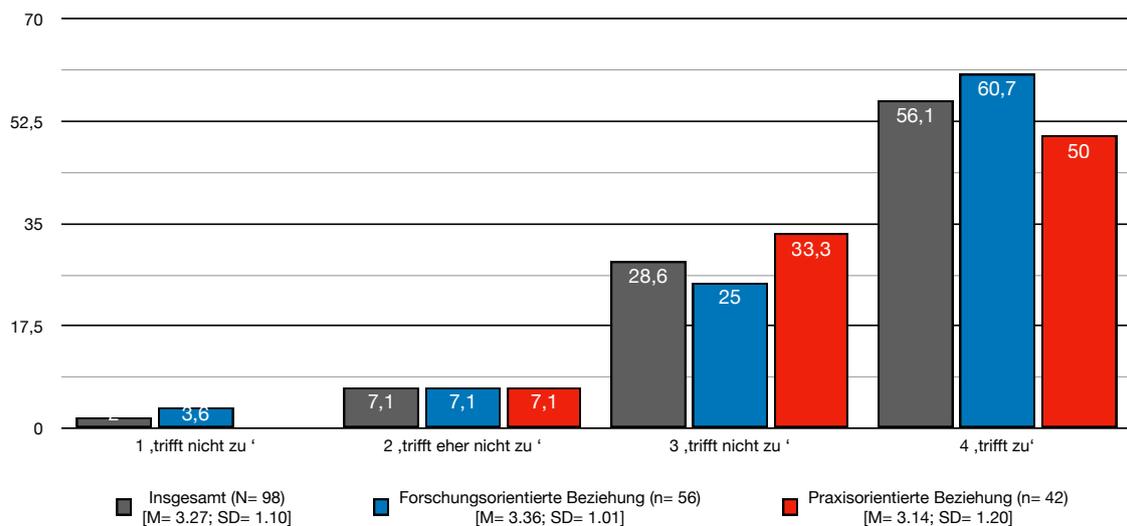
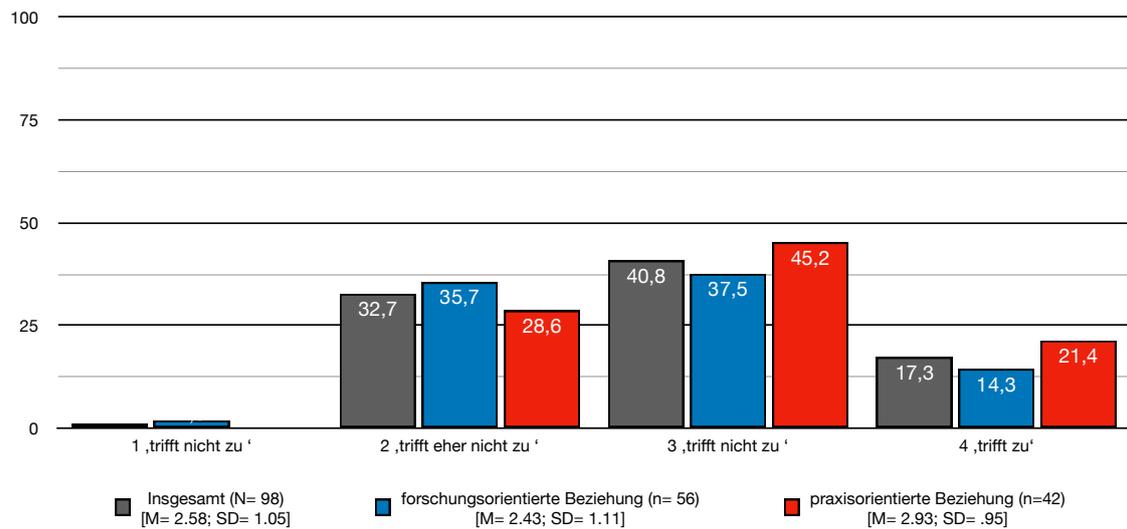


Abbildung 22: Ergebnisse der Expertenbefragung zur Übertragbarkeit eines Modellierungsprozesses aus der Biologie auf die Chemie (Fragen 12.1 und 13), getrennt nach Bezügen, Angaben in Prozent

Bei der Auswertung stellen die Aspekte des Modellierungsprozesses der Biologie die Kategorien dar. 61 % der Befragten geben in diesem Zusammenhang an, dass sie alle Aspekte aus dem Modellierungsprozess der Biologie übernehmen würden. Der Anteil an Befürwortern unter den praxisorientierten Befragten ist dabei kleiner (46.7 %) als der unter den forschungsorientierten Befragten (70.2 %). Falls Aspekte explizit als passend hervorgehoben werden, sind dies vor allem der experimentelle Ansatz zur Überprüfung des Modells (18.1 %), die Hypothesenbildung im Verlauf der Modellierung (14.3 %) und die Beschaffenheit als Kreislauf grundsätzlich (9 %). Als eher unpassend und damit änderungsbedürftig wird vor allem die kreative Entwicklung angesehen (9.2 %), während 43 % der Expert\*innen angeben, dass sie keinen der vorgestellten Aspekte abändern würden. Ebenso liefern 23.3 % keine Ergänzungsvorschläge. Am

häufigsten werden die drei Darstellungsebenen der Chemie nach Johnstone (1993) als mögliche Ergänzung benannt. Weniger häufig werden Modellkritik (3.3 %), mathematische Modelle (nur forschungsorientiert, 5 %) und der Abgleich mit bekannten Gesetzmäßigkeiten (nur praxisorientiert, 5 %) als Ergänzungen vorgeschlagen. Die experimentelle Überprüfung des Modells wird von 11.6 % der Expert\*innen als änderenswert angesehen.

Frage 12.2: „Modellierungsprozesse aus der Mathematik lassen sich meiner Meinung nach gut auf die Chemie übertragen.“ (allgemein)



Frage 15: „Der gezeigte Modellierungsprozess aus der Mathematik lässt sich meiner Meinung nach auf die Chemie übertragen.“ (spezifisch)

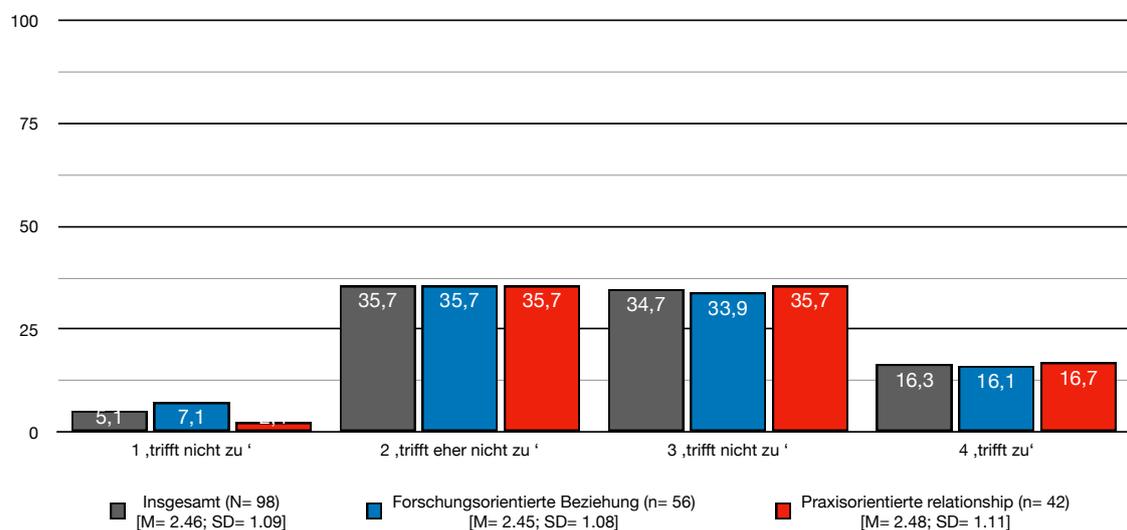


Abbildung 23: Ergebnisse der Expertenbefragung zur Übertragbarkeit von Modellierungsprozessen aus der Mathematik auf die Chemie (Fragen 12.2 und 15), getrennt nach Bezügen, Angaben in Prozent

Für die Mathematik wird der Modellierungsprozess nach Schupp (1988) vorgestellt, der einen Übergang zwischen den beiden Bereichen Welt und Mathematik sowie dem Problem und der Lösung beinhaltet, welcher anschließend von den Expert\*innen hinsichtlich seiner Passung für die Chemie in etwa so gut wie bei der unspezifischen Einschätzung (vorher:  $M= 2.58$ ,  $SD= 1.05^2$ /nachher:  $M= 2.46$ ,  $SD= 1.09^2$ ) bewertet wird (Abbildung 23). Bei dieser Bewertung

sind sich die praxis- und forschungsorientierten Expert\*innen ungefähr einig (Praxis:  $M= 2.45$ ,  $SD= 1.08^2$ /Forschung:  $M= 2.48$ ,  $SD= 1.11^2$ ). Anschließend geben die Expert\*innen auch für den Modellierungsprozess aus der Mathematik wieder an, welche Aspekte sie für die Chemie übernehmen würden sowie welche abgeändert, weggelassen oder ergänzt werden müssten, um die Passung zu verbessern. Zur Auswertung werden Kategorien gebildet, die zum einen die Aspekte des Kreislaufs aus der Mathematik und zum anderen die Aspekte des Kreislaufs aus der Biologie heranziehen. Lediglich 11.4 % der Befragten geben in diesem Zusammenhang an, dass sie den Modellierungsprozess der Mathematik mit all seinen Aspekten für die Chemie übernehmen würden. Unter den praxisorientierten Befragten gibt es diesbezüglich weniger Befürworter (7.1 %) als unter den forschungsorientierten Befragten (14.3 %). Explizit positiv hervorgehoben werden die Kontrastierung zwischen Welt und Mathematik (17.1 %) und der Validierungsschritt (14.3 %). Weniger als 4 % geben an, dass sie nichts an dem Prozess verändern würden, während die Mathematisierung von fast 20 % am kritischsten gesehen wird. Ebenso haben nur 7.2 % der Befragten keine Ergänzungsvorschläge. Ergänzend werden vor allem Aspekte aus dem zuvor bewerteten Biologiekreislauf benannt (36.4 %), was sicherlich auch der Anordnung der Prozesse in der Expertenbefragung geschuldet ist. Außerdem wird angemerkt, dass statt eines Wechsels zwischen Modell und Welt ein Wechsel zwischen der makroskopischen und submikroskopischen Ebene nach Johnstone (1993) treffender wäre (3.6 %). Schließlich wünschen sich auch einige Befragte die Ergänzung eines Experiments im Modellierungsprozess (3.6 %).

### 3.1.5 Diskussion

#### II. Modelle und Modellkompetenz in der Anwendung

Der Anteil an fachdidaktischen Forschungen, die sich mit diesem Thema befassen, erwies sich in der Stichprobe im Vergleich zu anderen Forschungsschwerpunkten als gering, sodass ein Forschungsvorhaben in diesem Bereich als legitimiert angesehen werden kann. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass der tatsächliche Anteil an fachdidaktischen Forschungsarbeiten zum Thema Modelle oder Modellkompetenz im deutschsprachigen Raum eher noch kleiner ist, da aufgrund der Freiwilligkeit einer Teilnahme eher Expert\*innen an der Umfrage teilgenommen haben, die bereits einen Bezug oder zumindest ein Interesse an diesem Thema haben. Dadurch kann nicht von einer Zufallsstichprobe ausgegangen werden. Es zeigte sich, dass alle praxisorientierten Befragten Modelle im Chemieunterricht einsetzen und auch teilweise die Modellkompetenz fördern. Bei genauerer Betrachtung erwiesen sich die Aspekte *Testen* und *Ändern von Modellen* sowohl in der Forschung wie auch im Chemieunterricht nicht so stark adressiert wie die *Eigenschaften* und der *Zweck von Modellen*. Dadurch lässt sich eine Fokussierung des Forschungsvorhabens auf den prozeduralen Kompetenzanteil (*Zweck*, *Testen* und *Ändern von Modellen*) aus dem scheinbar vorhandenen Mangel ableiten. In Bezug auf die untergeordnete Fragestellung nach dem Expertenstatus der Befragten lässt sich daher schlussfolgern, dass aufgrund der deutlichen Verankerung von Modellen und Modellkompetenz im aktuellen

beruflichen Alltag aller Befragten diese auch tatsächlich als Expert\*innen für dieses Gebiet der chemischen Fachdidaktik angesehen werden können. Dadurch können die Urteile der Teilnehmer\*innen in den folgenden Teilen der Expertenbefragung zur Passung der Konzepte in chemischen Kontexten als verlässlich eingestuft werden.

## 12. Modellkompetenz für chemische Kontexte

In Bezug auf die Definition der Modellkompetenz schätzte der Großteil der Befragten diese als passend für die Chemie ein, so dass diese für das vorliegende Forschungsvorhaben grundsätzlich übernommen werden kann. Dennoch soll eine Verfeinerung der Begrifflichkeiten in Anlehnung an die begriffliche Erweiterung von Krüger und Upmeyer zu Belzen (2021) erfolgen. Es wird nun zwischen den Begriffen Modellkompetenz und Modellbildungskompetenz unterschieden. Tabelle 12 stellt den Bezug zur zuvor vorherrschenden Definition nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) her. Zuvor wurde die gesamte Kompetenz als Kombination aus den prozeduralen und konzeptuellen Kompetenzanteilen mit Modellkompetenz bezeichnet. Nun soll zur Fokussierung auf den prozeduralen Kompetenzanteil (Ergebnis aus dem Teil I1) mit Modellkompetenz (MK) nur noch der konzeptuelle Anteil bezeichnet werden, während der prozedurale Teil in Modellbildungskompetenz (MBK) sowie die Gesamtkompetenz in Modellmethodische Kompetenz (MMK) umbenannt werden<sup>3</sup>. Dadurch soll die Methode beim Einsatz von Modellen im Chemieunterricht betont werden (Saborowski, 2000). Damit kann außerdem Modellkompetenz nun synonym zu „Kenntnisse über Modelle“ und Modellbildungskompetenz synonym zu „Modellbildung“ nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) verwendet werden. In Tabelle 12 werden die Definitionen einander gegenübergestellt.

Tabelle 12: Unterscheidung der Modell- und Modellbildungskompetenz für den Kontext dieser Forschungsarbeit

Modellmethodische Kompetenz (MMK)				
Modellkompetenz (MK)		Modellbildungskompetenz (MBK)		
Kenntnisse über Modelle (konzeptuell)		Modellbildung (prozedural)		
<i>Eigenschaften von Modellen</i>	<i>Alternative Modelle</i>	<i>Zweck von Modellen</i>	<i>Testen von Modellen</i>	<i>Ändern von Modellen</i>

## 13. Modellierungsprozesse für chemische Kontexte

Aus den vorangegangenen Beschreibungen der Ergebnisse lassen sich außerdem Schlüsse in Bezug auf die übergeordnete Fragestellung nach einem für die Chemie passenden Modellierungsprozess ableiten. Die Herleitung des Modellierungsprozesses für die Chemie aus den Ergebnissen der Expertenbefragung sowie einschlägiger Literatur stellt Abbildung 24 schrittweise dar. In Bezug auf den Modellierungsprozess zeigte die Expertenbefragung, dass beide vorgestellten Modellierungsprozesse für die Chemie in Frage kommen, allerdings beide ihre

<sup>3</sup> Ab diesem Zeitpunkt werden zur Nomenklatur der Kompetenzdimensionen die Begrifflichkeiten aus Tabelle 12 für den weiteren Verlauf der Dissertationsschrift verwendet. Es kann zu inhaltlichen Widersprüchen zu den vorherigen Kapiteln durch die Doppelbelegung des Begriffs Modellkompetenz kommen.

individuelle Stärken und Schwächen für das Fach Chemie zeigen. Daher scheint für die Chemie ein Mischprozess aus den vorgestellten Kreisläufen sinnvoll. Bei dem Modellierungsprozess nach Fleige et al. (2016) bewerteten die Expert\*innen vor allem die einzelnen Schritte als gut passend. Ausgehend davon werden die Schritte dieses Modellierungsprozesses für den resultierenden Prozess der Chemie übernommen (Abbildung 24, Feld 1). Außerdem sollten die für den Chemieunterricht besonders bedeutenden Darstellungsebenen nach Johnstone (1993) integriert werden, zu denen einige Befragte im Modellierungsprozess aus der Mathematik nach Schupp (1988) in der Unterscheidung zwischen Welt und Mathematik Bezüge erkannten. Wenn auch dieser Kreislauf an sich als wenig passend für die Chemie angesehen wurde, erkannten die Expert\*innen die Unterscheidung zwischen den zwei Bereichen grundlegend als sinnvoll an. Demzufolge werden die submikroskopische und makroskopische Darstellungsebenen nach Johnstone (1993)- die Realwelt und die Modellwelt- mit ihren ganz eigenen Gesetzmäßigkeiten und Regeln (Mikelskis-Seifert, 2010) voneinander getrennt im resultierenden Kreislauf dargestellt und dadurch Übersetzungsprozesse zwischen Modell und Original explizit angesprochen (Abbildung 24, Feld 2). Weiterhin wurde der Validierungsschritt, also der Rückbezug der Ergebnisse auf die Ausgangssituation, als positiv hervorgehoben. Da dieser Schritt im Kreislauf der Biologie bereits integriert ist, wird keine weitere Änderung vorgenommen, die Validierung aber inhaltlich weiter fokussiert. Aus lernpsychologischer Sicht und in Anlehnung an die Kategorisierung von Modelltypen nach Harrison und Treagust (2000) wird außerdem zwischen beobachtbaren (analoge Modelldarstellung) und nicht-beobachtbaren (mentales Modell) Abschnitten unterschieden (Steinbuch, 1977). Daher werden ausgehend von den Schritten in der Biologie die Vorüberlegungen in mentale Modelle und die Modelle in analoge Modelldarstellungen umbenannt und dadurch präzisiert (Abbildung 24, Feld 3). Diese Unterscheidung erweist sich vor allem vor dem Hintergrund als sinnvoll, dass diese beiden Modelltypen sich häufig unterscheiden (Heitzmann, 2013), so dass die erfasste Modellbildungskompetenz (basierend auf der analogen Modelldarstellung) von der tatsächlichen Modellbildungskompetenz (mentales Modell) abweichen kann. Dennoch ist die Einschätzung mentaler Modelle von Lernenden zur Diagnose des vorherrschenden wissenschaftlichen Verständnisses und der Modellbildungskompetenz von Schüler\*innen unerlässlich (Fратиwi et al., 2020), sodass die Unschärfe in der Einschätzung mentaler Modelle über deren analoge Abbildungen hingenommen, aber berücksichtigt werden muss. Zusätzlich werden ebenso wie im ursprünglichen Modellierungsprozess nach Fleige et al. (2016) die Subdimensionen der modellmethodischen Kompetenz an den Stellen des Modellierungsprozesses benannt, an denen sie explizit gefördert werden können. Unterschieden wird in diesem Zusammenhang außerdem zwischen den aktiv geförderten Kompetenzen (Modellbildungskompetenz) im Verlauf des Modellierungsprozesses und der Modellkompetenz als Voraussetzung zum Erwerb der Modellbildungskompetenz (Ergebnis der Expertenbefragung, Abbildung 24, Feld 4). Der resultierende Modellierungsprozess für die Chemie wird in Abbildung 24 (rot umrahmt, Feld 4) dargestellt und folgend erläutert.

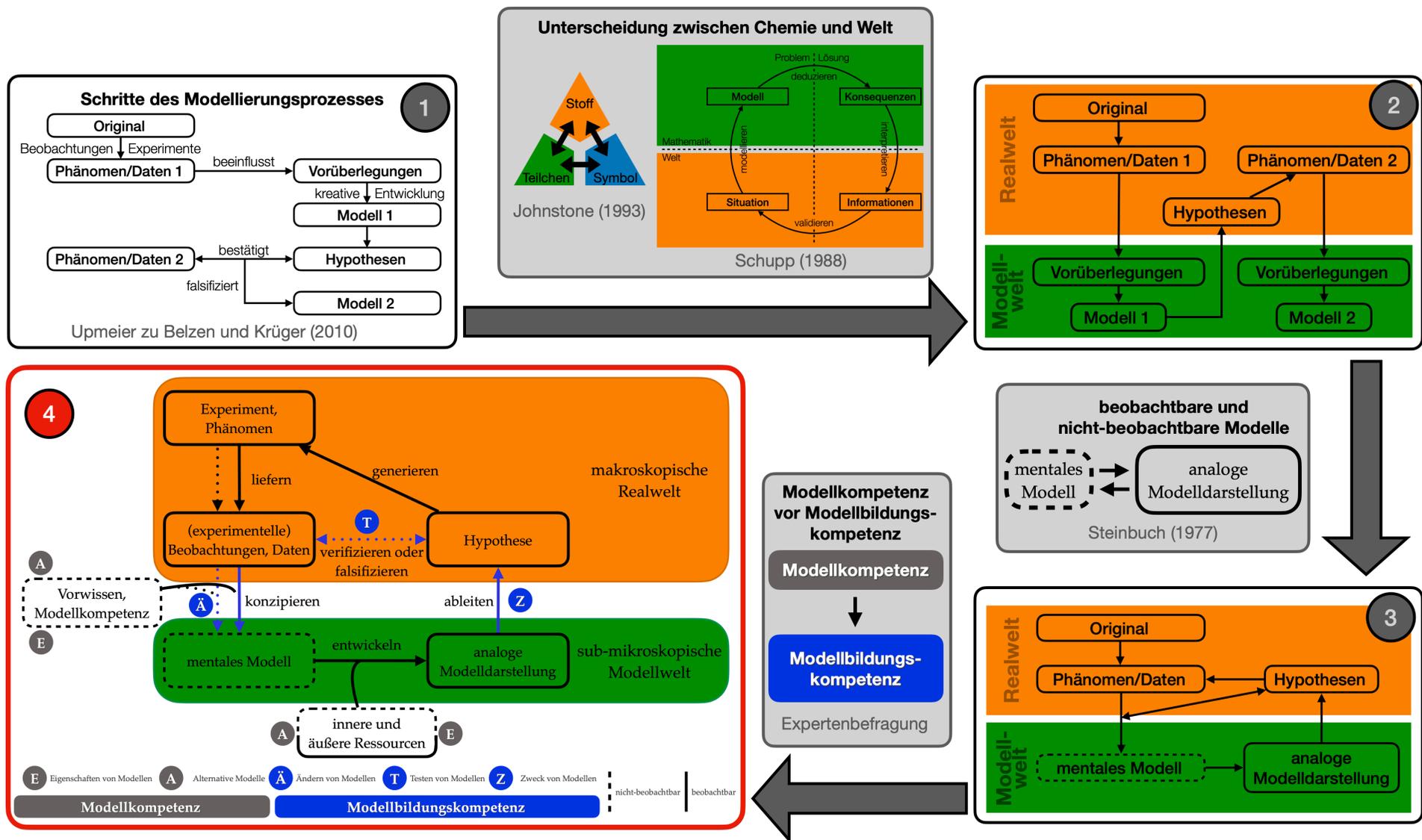


Abbildung 24: Entwicklung eines Modellierungsprozesses für die Chemie zur Förderung der Modellbildungskompetenz

Der abgeleitete Modellierungsprozess für die Chemie unterscheidet grundlegend zwischen der makroskopischen Realwelt (orange hinterlegt) und der sub-mikroskopischen Modellwelt (grün hinterlegt). Des Weiteren werden beobachtbare Abschnitte mit durchlaufenden Linien dargestellt, während die nicht beobachtbaren Gegenstücke durch gestrichelte Linien symbolisiert werden. Der Modellierungsprozess startet mit einem Experiment oder Phänomen in der Realwelt. Dieses liefert Daten oder generiert Beobachtungen. Die Schüler\*innen entwickeln aus den Beobachtungen und Daten eine interne Vorstellung zur Erklärung dieser. Didiş, Eryılmaz und Erkoç (2014) beschreiben die Grundlage für die Bildung mentaler Modelle als eine Kombination aus wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Fragmenten, sodass die Entwicklung von internen Vorstellungen im Übergang von der Real- zur Modellwelt das Vorwissen und die Modellkompetenz (*Alternative Modelle* und *Eigenschaften von Modellen*) einbezieht. Das abrufbare Vorwissen sowie vorherrschende Niveau der Modellkompetenz sind für den Lehrenden nicht beobachtbar und werden daher in Abbildung 24 durch einen gestrichelten Kasten umrahmt. Durch äußere Einflüsse (z.B. Lernsituation, Klassenklima, zur Verfügung stehende Materialien etc.) sowie innere Ressourcen (Vorwissen, Modellkompetenz und weitere Faktoren wie bspw. Kreativität und manuelle Fähigkeiten) kann anschließend eine analoge Modelldarstellung entwickelt werden, welche schließlich für Lehrende und andere Lernende optisch wahrnehmbar ist. Mentale Modelle können damit auch als unsichtbare Zwischenschritte bei der Entwicklung analoger Modelldarstellungen angesehen werden. An dieser Stelle ermöglicht die reale Manifestation des mentalen Modells in Form der analogen Modelldarstellung in gewissem Maße (mentale Modelle und analoge Modelldarstellungen stimmen generisch nicht vollkommen überein) eine Diagnose des mentalen Modells. Ausgehend vom analogen Modell findet wiederum ein Wechsel zwischen den Welten statt, indem modellbasiert eine Hypothese für ein weiteres Experiment in der Realwelt abgeleitet wird. In diesem Zusammenhang wird die Hypothesenüberprüfung als ein *Zweck von Modellen* (Teil der Modellbildungskompetenz) adressiert. Basierend auf der Hypothese kann dann in der Realwelt das entsprechende Experiment oder Phänomen generiert werden, welches sich zur Verifizierung oder Falsifizierung der Hypothese eignet. Mit den Daten oder Beobachtungen aus dem Experiment bzw. Phänomen wird schließlich auf die Hypothese zurückgeschlossen. Hierbei steht das *Testen von Modellen* (MBK) im Fokus. Wird die Hypothese durch die Daten falsifiziert, durchlaufen die Lernenden den Modellierungsprozess erneut. Dabei müssen sie beim Übergang zur Modellwelt zunächst ihr ursprüngliches mentales Modell anpassen, wodurch der Kompetenzbereich *Ändern von Modellen* (MBK) hervorgehoben wird. Durch die Variation des mentalen Modells wird sich voraussichtlich auch die analoge Modelldarstellung, welche sich daraus ableitet, ändern. Damit wird der gesamte Kreislauf so lange in Überarbeitungsschleifen durchlaufen, bis die aus dem Modell abgeleitete Hypothese schließlich durch die Daten des Experiments nicht mehr falsifiziert wird. Das Modell wird damit als passend im Sinne von ausreichend zur Beschreibung der Situation angesehen.

Zuletzt wird der Modellierungsprozess für die Chemie noch auf ein Beispiel aus dem Alltag angewendet, welches im Chemieunterricht im Themenbereich „Stoff-Teilchen“ mit Hilfe von Vorwissen zum undifferenzierten Teilchenmodell eingesetzt werden kann (Abbildung 25).

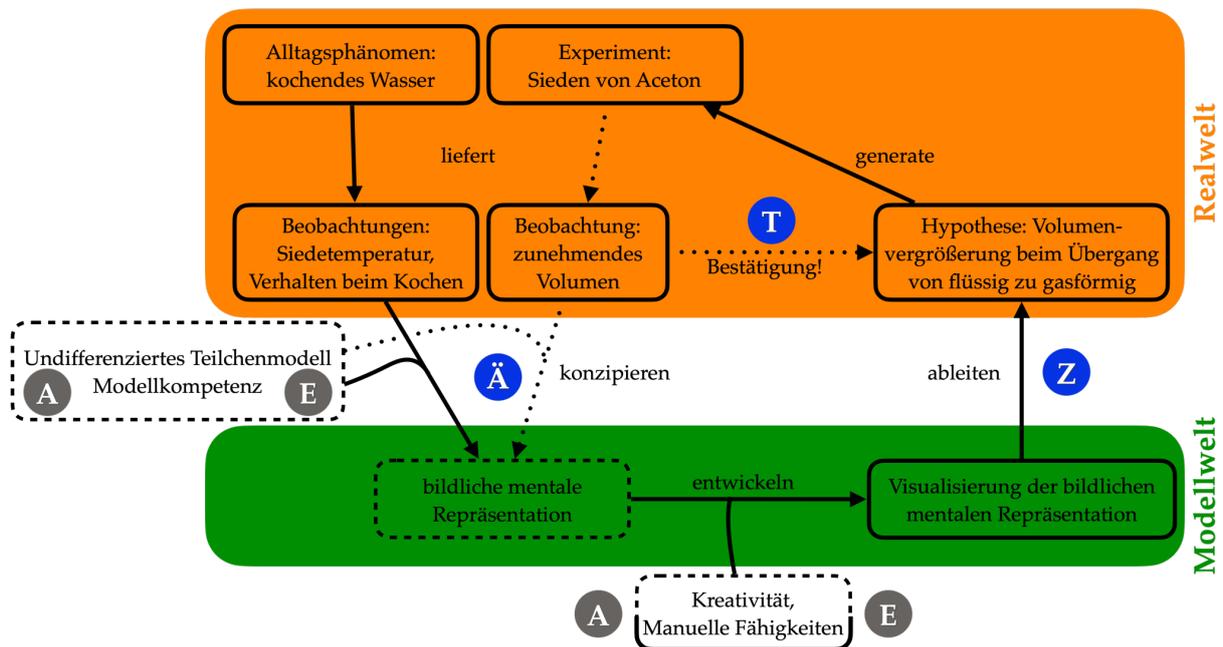


Abbildung 25: Modellierungsprozess für die Chemie am Beispiel kochenden Wassers

Das alltägliche Phänomen kochenden Wassers kann von den Lernenden z.B. bei der Zubereitung von Nudeln oder Kartoffeln beobachtet werden. Dabei ist u.a. erkennbar, dass Wasser siedet und die Siedetemperatur kann gemessen werden. Dies stellt die beobachtbaren Daten dar. Die Schüler\*innen entwickeln dann ausgehend von ihrem Vorwissen zum undifferenzierten Teilchenmodell und ihrer Modellkompetenz eine mentale, bildhafte Modellvorstellung von siedendem Wasser. In einer kreativen Entwicklung, die stark von den manuellen und kognitiven Fähigkeiten der Lernenden ebenso wie von deren Modellkompetenz abhängt, entsteht dann eine Visualisierung der mentalen Vorstellung. Dazu könnte beispielsweise bunter Fotokarton verwendet werden, um die Wasser-Moleküle im undifferenzierten Teilchenmodell als Kreis darzustellen. In einer statischen Modelldarstellung könnten sich z.B. die Abstände zwischen den Teilchen (durch bunte Kreise dargestellt) vom flüssigen zum gasförmigen Aggregatzustand vergrößern. In einer dynamischen Darstellung könnte sich zusätzlich noch beim Übergang von flüssig zu gasförmig die Geschwindigkeit der Teilchenbewegung erhöhen. Daraus ließe sich bspw. die Hypothese ableiten, dass sich das Volumen derselben Stoffmenge beim Sieden vergrößert. Zur Überprüfung würde sich dann ein Experiment zum Sieden von Aceton anbieten. Dabei könnten die Schüler\*innen einige Milliliter Aceton in einen Plastikbeutel füllen und diesen luftleer mit einem Gummiband verschließen. Die Plastiktüte wird dann in heißes Wasser gehalten, wodurch das Aceton siedet und die Tüte sich aufbläht. Nimmt man die Tüte wieder aus dem heißen Wasser, kondensiert das Aceton an der Innenseite der Plastiktüte. Die Flüssigkeitsmenge kann zuletzt aus der Tüte in einen Messzylinder überführt werden, um das Volumen

nach dem Experiment mit dem vor dem Experiment zu vergleichen. Bei sauberer Durchführung sollten beide Volumina identisch sein. Durch das Experiment kann damit die Hypothese als wahr angenommen werden. Es ist demnach nicht nötig, die Modellvorstellung zu überarbeiten.

Zum Abschluss des ersten Teils der Dissertation wird das entwickelte Modell nun auf Basis fachdidaktischer Konzepte und interessanter Erwähnungen aus der Expertenbefragung diskutiert. Grundsätzlich lässt sich die Modellierung im naturwissenschaftlichen Denken verankern, wie dies z.B. Klahr und Dunbar (1988) mit ihrem SDDS-Ansatz postulieren. Die Grundstruktur des entwickelten Modellierungsprozesses stimmt mit den Schritten Vermutung, Bewertung und Modifikation bzw. Reflexion von Clement (1989) sowie Göhner und Krell (2018) überein. Letztere unterschieden in ihrem Modellierungsprozess ebenso wie in dem hier entwickelten auch zwischen der makroskopischen Realwelt und der submikroskopischen Modellwelt. In diesem Zusammenhang wurde von den Expert\*innen in der durchgeführten Befragung häufig die Wichtigkeit der Übersetzungsprozesse zwischen den Welten betont. Diese Sichtweise wird durch die Theorie zum Denken in Modellen (Steinbuch, 1977) unterstützt, die besagt, dass es bei jedem Übergang zwischen der realen und der Modellwelt immer zu Filterungen kommt, die ganz stark von der subjektiven Einschätzung der Wichtigkeit einzelner Aspekte abhängig sind. Auch die Fokussierung des zweiten Teils im Schema (Hypothesenbildung und Suche nach Verifikation oder Falsifikation) lässt sich aus der Trennung zwischen Suchhypothesenraum, Testhypothese und Evidenzbewertung des SDDS-Ansatzes ableiten (Klahr & Dunbar, 1988). Schließlich folgt die Verknüpfung des Modellierungsprozesses mit den Subdimensionen der modellmethodischen Kompetenz einigen Vorbildern aus den Naturwissenschaften (Caspari et al., 2018; Fleige et al., 2016), um die Kompetenzentwicklung zu forcieren.

Auch wenn sich, wie zuvor beschrieben, das entwickelte Modell sehr gut in andere Forschungsstände einordnen lässt, sollten dennoch Limitationen dieses ersten Teils diskutiert werden. In diesem Fall handelte es sich um eine rein schriftliche online-Befragung der Expert\*innen, die sich aus offenen und geschlossenen Antwortformaten zusammensetzt. Gerade bei den offenen Antworten gilt es zu beachten, dass die Ausführlichkeit einer schriftlichen Beantwortung dieser Fragen im Umfang geringer ausfallen kann als bei mündlichen Befragungen. Aus diesem Grund könnte vorhandenes Wissen bei den Expert\*innen verborgen geblieben sein, da eine schriftliche Formulierung des Wissens sowie eine Nachfrage durch eine\*n Interviewer\*in nicht möglich waren. Dennoch konnten durch die räumliche und zeitliche Ungebundenheit der digitalen Umsetzung die Teilnehmer\*innen sich so viel Zeit zum (Formulieren der) Antworten nehmen, wie sie individuell benötigten. Außerdem konnte durch die Anonymität der Effekt der sozialen Erwünschtheit minimiert werden. Die Daten konnten anschließend keiner Person zugeordnet werden, sodass unbedarft persönliche Einschätzungen geäußert werden konnten. Die wohl größte Limitation dieser ersten Befragung stellt allerdings die Anzahl der Teilnehmenden dar. Mit unter 100 Personen war die Stichprobe sehr klein, sodass sich nur wenige verallgemeinernde Aussagen ableiten lassen. Die Stichprobe setzte sich hingegen aus fast gleichen Teilen praxisorientierter und forschungsorientierter Befragter zusammen, sodass der Modellierungsprozess

mit ähnlich starken Bezügen zu Chemieunterricht und chemiedidaktischer Forschung entwickelt werden konnte.

Aufgrund dieser Verankerung unter den Expert\*innen sowie der Eingliederung in weitere Forschungsarbeiten bietet der entwickelte Modellierungsprozess Potenziale für Forschung und Praxis. In der Praxis kann aus diesem Prozess eine Struktur abgeleitet werden, die den roten Faden einer Unterrichtssequenz in der Chemie bildet. Für die Forschung ergeben sich aus Teil I mannigfaltige Anschlussmöglichkeiten. Zwei grundlegend verschiedene Orientierungen im Umgang mit dem entwickelten Prozess werden dazu nun unterschieden. Zum einen kann der Modellierungsprozess als solcher theoriegeleitet oder erneut durch Befragungen weiterentwickelt werden. Dabei könnten Aspekte von der Grundstruktur (Unterscheidung zwischen den Bereichen der Real- und Modellwelt) über die Anordnung der einzelnen Schritte bis hin zu deren Benennungen evaluiert werden. Zum anderen kann der Modellierungsprozess ebenso in seiner Anwendbarkeit evaluiert werden. Hierzu könnte der Kompetenzerwerb beim Einsatz des Prozesses erforscht werden. Im folgenden Teil II soll die Tauglichkeit des Prozesses zur Kompetenzförderung im Chemieunterricht eingeschätzt werden.

## **3.2 Teil II: Einsatz eines Schemas zur Förderung der Modellbildungskompetenz und des Fachwissens im Chemieunterricht**

In Teil I wurden mehrere Modellierungsprozesse vorgestellt, die sich mehr oder weniger für den Einsatz in der Chemie eignen. Aus einer Vielzahl an Prozessen wurden schließlich zwei ausgewählt, welche in einer Expertenbefragung hinsichtlich ihrer Passung zur Chemie beurteilt wurden. Als Ergebnis dieser Befragung konnte gezeigt werden, dass beide Prozesse Potenziale für die Chemie aufwiesen, jedoch in ihrer aktuellen Form nicht perfekt passen. Aus diesem Grund wurde als Ergebnis von Teil I ein Modellierungsprozess entwickelt, der Aspekte aus beiden bestehenden Ansätzen miteinander fusioniert. Dieser neue Modellierungsprozess soll nun im zweiten Teil des Forschungsvorhabens als Grundlage zur Entwicklung einer Intervention dienen, die geeignet ist, die Modellbildungskompetenz und das Fachwissen von Schüler\*innen zu fördern. Da die Intervention im Chemieunterricht verortet sein soll, muss diese den Grundprinzipien des Chemieunterrichts entsprechen.

### **3.2.1 Theoretischer Hintergrund**

In Teil II des Forschungsvorhabens wird eine Unterrichtssequenz aufbauend auf dem Modellierungsprozess aus Teil I entwickelt. Dazu werden zunächst grundlegende Überlegungen im Zusammenhang mit der Konzeption naturwissenschaftlichen Unterrichts vorgestellt und diese anschließend genauer mit Bezug zum Forschungsvorhaben ausgeführt.

#### Konzeption des Chemieunterrichts

Zur Konzeption des Chemieunterrichts gibt es einige Merkmale, die für ein möglichst erfolgreiches Lernen beachtet werden sollten. Diese wurden von Obst und Sommer (2002) in einem Überblicksartikel zusammengefasst. In Tabelle 13 werden die drei dort genannten Aspekte dargestellt und um Anmerkungen anderer Autor\*innen ergänzt. Im Anschluss an die Tabelle werden die Merkmale detaillierter ausgeführt.

Tabelle 13: Merkmale zur Gestaltung des Chemieunterrichts

Gestaltung von Chemieunterricht
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Orientierung an der Wissenschaft Chemie</b> (Obst &amp; Sommer, 2002)               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Wissensaufbau entspricht Kompetenzaufbau in Kompetenzbereichen und vernetzenden Basiskonzepten (KMK, 2004a, 2004b)</li> <li>o Konstruktion von Wissen ermöglichen (Fendt, 2019)</li> </ul> </li> <li>- <b>Orientierung an der Genesis der Schüler*innen</b> (Obst &amp; Sommer, 2002)               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Wissensaufbau an individuellen Voraussetzungen orientieren (Edel &amp; Popp, 2008)</li> <li>o Vorwissen sichern und aktivieren (Ausubel et al., 1980)</li> <li>o Vorstellungen der Lernenden berücksichtigen (Unruh &amp; Petersen, 2007)</li> </ul> </li> <li>- <b>Orientierung an der Lebenswelt der Schüler*innen</b> (Obst &amp; Sommer, 2002)               <ul style="list-style-type: none"> <li>o für Schüler*innen relevante Kontexte integrieren (Fendt, 2019)</li> <li>o Lernen mit Sinn füllen (Unruh &amp; Petersen, 2007)</li> </ul> </li> <li>- <b>Unterstützung zur Selbstständigkeit</b> (Fendt, 2019)               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Freiräume für Selbstorganisation und -reflexion des Lernens schaffen (Hoffman &amp; Spatariu, 2008)</li> </ul> </li> </ul>

Obst und Sommer (2002) geben grundsätzlich drei Aspekte an, nach denen sich Chemieunterricht ausrichten sollte: Orientierung an der Wissenschaft Chemie, an der Genesis der Lernenden sowie an der Lebenswelt der Schüler\*innen. Bei der **Orientierung an der Chemie als Wissenschaft** stellen die Autor\*innen vor allem den fachlichen Bezug her. So sollen Schüler\*innen nach und nach ein systematisches Wissensnetz aufbauen. Damit dies gelingt, legen Bildungsorgane in den Rahmendokumenten (z.B. MBK Saar, 2012; KMK, 2004c, 2004e, 2004d, 2020) eine mehr oder weniger verbindliche Abfolge von Lerninhalten fest und stellen Bezüge zur horizontalen und vertikalen Vernetzung her (Kircher et al., 2007). Die Abfolge der Lerninhalte wird für den Chemieunterricht durch zu erreichende Kompetenzen in den vier Kompetenzbereichen „Fachwissen“, „Erkenntnisgewinnung“, „Kommunikation“ und „Bewertung“ (KMK, 2004d) vorgegeben, die vertikale Vernetzung erfolgt hauptsächlich durch die sog. Basiskonzepte, wobei es sich um übergeordnete, wiederkehrende Ideen der Chemie handelt. Durch diese Grundprinzipien soll der Aufbau von Wissen im Unterricht ermöglicht werden (Fendt, 2019). Im Kompetenzbereich „Fachwissen“ sollen Schüler\*innen chemische Phänomene in ihrem Alltag identifizieren, diese unter Verwendung von Fachsprache und chemischen Gesetzmäßigkeiten erklären und den Basiskonzepten zuordnen können (KMK, 2004d). Zur „Erkenntnisgewinnung“ nutzen die Lernenden experimentelle Untersuchungsmethoden und/oder Modelle, um wissenschaftliche Fragestellungen zu bearbeiten (ebd.). Der Kompetenzbereich „Kommunikation“ fasst Erschließungs- und Austauschprozesse wissenschaftlicher Informationen zusammen, während unter „Bewertung“ der Bedeutungsumfang chemischer Phänomene in verschiedenen Kontexten reflektiert und nach unterschiedlichen Kriterien bewertet wird (ebd.). Dabei gibt das Fachwissen zwar eine inhaltliche Struktur für den Chemieunterricht vor, jedoch sollten alle Kompetenzbereiche zu gleichen Teilen im Unterricht abgebildet werden (Stephani, 2007). In Bezug auf die Basiskonzepte lassen sich je nach Quelle drei bzw. vier Konzepte unterscheiden. So unterscheidet beispielsweise die KMK (2004c) für den mittleren Bildungsabschluss zwischen den vier Basiskonzepten „Stoff-Teilchen-Beziehungen“, „Struktur-Eigenschafts-

Beziehungen“, „chemische Reaktion“ und „energetische Betrachtungen“, während für die allgemeine Hochschulreife (KMK, 2020) nur zwischen dem „Konzept vom Aufbau und von den Eigenschaften der Stoffe und ihrer Teilchen“, dem Konzept „chemischer Reaktionen“ und dem „Energie“-Konzept unterschieden wird. Einige Autor\*innen differenzieren darüber hinaus noch das „Donator-Akzeptor-Prinzip“ oder „chemisches Gleichgewicht“ als eigenständige Basiskonzepte (z.B. Gietz et al., 2015). Eine Übersicht über die Basiskonzepte der einzelnen Autor\*innen sowie Kurzbeschreibungen liefert Tabelle 14.

Tabelle 14: Übersicht über die Basiskonzepte verschiedener Autor\*innen

KMK, 2004	KMK, 2020	Gietz et al., 2015	Kurzbeschreibung
Stoff-Teilchen	Aufbau und Eigenschaften von Stoff und Teilchen		Verständnis des submikroskopischen Baus der Materie
Struktur-Eigenschaft		Struktur-Eigenschaft	Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften eines Stoffes und seiner submikroskopischen Struktur
Chemische Reaktion	Chemische Reaktion	Gleichgewicht	Verständnis umkehrbarer Reaktionen und deren Einflüsse
		Donator-Akzeptor	Verständnis für Prozesse, die durch gegenläufige Vorgänge charakterisiert sind
Energie	Energie	Energie	Energieumsätze bei chemischen Reaktionen

In Bezug auf die Schülerorientierung als zweiten Aspekt nach Obst und Sommer (2002) sollen stets **individuelle Voraussetzungen der Lernenden** bei der Gestaltung von Chemieunterricht beachtet werden (Edel & Popp, 2008). Zu diesen Voraussetzungen zählt zunächst das Vorwissen (Ausubel et al., 1980), welches sowohl aus der Bildungsgeschichte der Lernenden heraus rührt wie auch aus der Lebenswelt der Schüler\*innen. Zum anderen werden auch die individuellen Vorstellungen der Schüler\*innen als Voraussetzung für den Unterricht angesehen (Unruh & Petersen, 2007).

Als weiteres Gestaltungsmerkmal des Chemieunterrichts benennen Obst und Sommer (2002) die **Lebenswelt der Schüler\*innen**. Der Chemieunterricht sollte demnach für Schüler\*innen relevante und bedeutsame Kontexte integrieren (Fendt, 2019). Nur so sei es den Lernenden möglich, den Sinn des Lernens zu begreifen (Unruh & Petersen, 2007). Unruh und Petersen (2007) betonen diesbezüglich, dass nur dadurch „[e]chtes Lernen“ (S. 9) möglich wird, das mit Motivation, Lernfreude und Begeisterung einhergeht und dadurch zu erfolgreichem Lernen wird.

Ergänzend zu den Aspekten nach Obst und Sommer (2002) benennt Fendt (2019) die **Förderung der Eigenständigkeit** der Schüler\*innen als weiteres wichtiges Gestaltungsmerkmal von

Chemieunterricht. Durch eine vermehrte Eigenständigkeit der Lernenden kann über den Ausbau individueller Lern- und Arbeitsstrategien neben dem aktuellen Lernprozess auch zukünftiges Lernen positiv beeinflusst werden (Beck et al., 1991). Als Teil der Lern- und Arbeitsstrategien können auch Prozesse der Selbstorganisation und -reflexion lernförderlich sein (Hoffman & Spataru, 2008).

Ausgehend von den in Tabelle 13 zusammengestellten Merkmalen zur Gestaltung von Chemieunterricht werden die vier Hauptaspekte nun in einzelnen Abschnitten genauer beleuchtet und auf dieses Forschungsvorhaben angewendet.

### Orientierung an der Wissenschaft Chemie: Kompetenzaufbau

Wie zuvor bereits erwähnt wird die Orientierung an der Wissenschaft Chemie im Unterricht durch die vorgegebenen Kompetenzbereiche gesichert. Zum Kompetenzerwerb im schulischen Kontext im Allgemeinen gibt es aus den vergangenen Jahren zahlreiche empirische Befunde (z.B. PISA, TIMSS, IQB-Bildungstrend, VERA). Zum Beispiel konnten Schulleistungsstudien zeigen, dass nur knapp über die Hälfte der Lernenden die Regelstandards im Fach Chemie erreichen (56 % bei Fachwissen, 64% bei Erkenntnisgewinnung, Stanat et al., 2019). Im Folgenden sollen solche Befunde und darauf aufbauende Empfehlungen zur Unterrichtsgestaltung näher beleuchtet werden, die sich speziell auf den Chemieunterricht und die Förderung der modellmethodischen Kompetenz beziehen. Reiners und Saborowski (2017) legen beispielsweise nahe, die Kompetenzförderung spiralcurricular in der gesamten schulischen Entwicklung zu integrieren. Dabei sollte die Komplexität mit der Klassenstufe zunehmen, da die kognitiven Fähigkeiten der Schüler\*innen im Laufe ihrer Schullaufbahn ausgebaut werden (Coll, 2006). Außerdem sollte die modellmethodische Kompetenz wiederholt thematisiert werden, um mögliche Fehlvorstellungen durch Abstinenz von Anwendungsaufgaben der modellmethodischen Kompetenz zu vermeiden (Zoelch et al., 2019). In diesem Zusammenhang gilt es darauf zu achten, dass später erworbenes Wissen zum selben Lerninhalt (z.B. verschiedene Teilchenmodelle) immer in Bezug zu vorherig Gelerntem gesetzt wird (Bradshaw & Anderson, 1982). Differenziertere Teilchenmodelle sollten demnach im schulischen Curriculum immer mit Bezug zu vorherigen Modellen thematisiert werden.

Im Gegensatz zum naturwissenschaftlichen Kontext, für den es nur sehr wenige empirische Befunde zur längsschnittlichen Kompetenzentwicklung von Lernenden gibt (Schecker & Parchmann, 2006), sind Abhängigkeiten des schulischen Kompetenzerwerbs von motivationalen, kognitiven und leistungsbezogenen Variablen im Allgemeinen viel beforscht (z.B. Gast et al., 1985; Reiss et al., 2019). Zunächst sind Schulleistungen in den entsprechenden Fächern generisch gute Indikatoren für den Kompetenzerwerb. Dies rührt daher, dass es sich bei Schulleistungsmessungen genau um Kompetenzmessungen handelt. Schulleistungen werden dabei meist in Form von Zensuren oder verbalen Schulleistungsbewertungen zur Einschätzung leistungsbezogener Eigenschaften von Schüler\*innen herangezogen (Köller & Möller, 2018). Damit eng verwandt ist auch der positive Zusammenhang zwischen dem Kompetenzerwerb und

dem Vorwissen (Gobert & Pallant, 2004). Diesbezüglich ermöglicht nur das Vorhandensein eines breiten Fundus an Vorwissen eine geistige Flexibilität, die die Grundlage für einen erfolgreichen Kompetenzerwerb bildet. Außerdem zeigten sich positive Einflüsse von motivationalen Variablen wie beispielsweise das Fachinteresse (Schiefele & Schaffner, 2020) und das naturwissenschaftsbezogene Fähigkeitsselbstkonzept (Feng et al., 2018) auf den Kompetenzerwerb. Es konnte auf dieser Basis gezeigt werden, dass sich ein größeres Fachinteresse (Zander & Heidig, 2019) und ein umfassendes Fähigkeitsselbstkonzept (Köller & Möller, 2018) positiv auf den Kompetenzerwerb auswirken.

Für das vorliegende Forschungsvorhaben lassen sich aus diesen Befunden mehrere Prädiktorvariablen ableiten, die einen Einfluss auf den schulischen Kompetenzerwerb gezeigt haben. Dazu zählen die Schulleistungen, das Vorwissen (kognitiv), das Fachinteresse und das naturwissenschaftsbezogene Fähigkeitsselbstkonzept.

Im Kontext der Förderung der modellmethodischen Kompetenz im naturwissenschaftlichen Unterricht gibt es einige punktuelle Ansätze, deren grundlegende Ideen nun knapp vorgestellt werden. Leisner (2005) legt mehrere allgemeine Grundsätze bei der Förderung der modellmethodischen Kompetenz im Unterricht nahe: Die modellmethodische Kompetenz als domänenübergreifende Kompetenz kann nur basierend auf mehreren verschiedenen domänenspezifischen Modellierungen entwickelt werden. Die Autorin zeigt außerdem Schlüsselstellen zum Kompetenzerwerb auf, die besonders bedeutsam im Kompetenzaufbau sind. Dabei soll vor allem das hypothesenbildende Wesen von Modellen vermittelt oder über Modellierungen und Modellanwendungen diskutiert und reflektiert werden. Darüber hinaus wird deutlich, dass eine Vermittlung von modellmethodischer Kompetenz auch inhaltlich im Anfangsunterricht (z.B. zum Thema Elektrostatik in der Physik) möglich und im Zusammenhang mit der Forderung nach einer spiralcurricularen Verankerung auch unumgänglich ist. Upmeier zu Belzen und Krüger (2019a) bieten ebenfalls Handlungsimplicationen für den Unterricht an, welche in Tabelle 15 zusammengestellt sind. Die fett markierten Aspekte bilden Überschneidungen mit den allgemeinen Gestaltungsmerkmalen des Chemieunterrichts aus Tabelle 13, die später in separaten Abschnitten näher ausgeführt werden.

Tabelle 15: Implikationen für Handlungsoptionen (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2019a, S. 141f),  
fett: Überschneidungen zu Tabelle 13

Inhaltliche Aspekte
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bei der Förderung der modellmethodischen Kompetenz einen weniger komplexen Fachinhalt wählen</li> <li>- Für Schüler*innen relevante Phänomene einbeziehen</li> <li>- Zum selben Phänomen alternative Modelle ausbilden lassen und nutzen</li> </ul>
Didaktische Aspekte
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Im Verlauf der Einheit Schritte einplanen, in denen ausschließlich die modellmethodische Kompetenz adressiert wird</li> <li>- Subdimensionen der modellmethodischen Kompetenz getrennt voneinander fördern; <i>Eigenschaften von Modellen</i> und <i>alternative Modelle</i> sind kombinierbar sowie <i>Testen</i> und <i>Ändern von Modellen</i></li> <li>- Förderung des räumlichen Vorstellungsvermögens, v.a. durch mentale Manipulation von 3D-Objekten, integrieren (ggf. auch durch digitale Umsetzungen)</li> </ul>
Modellmethodische Aspekte (Theorie)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Eigenschaften von Modellen</i> und das Zustandekommen <i>alternativer Modelle</i> thematisieren</li> <li>- Diskussionen über Nutzen und Grenzen von Modellen integrieren</li> <li>- <i>Zweck</i>, <i>Testen</i> und <i>Ändern von Modellen</i> mit Hilfe von Reflexionsaufgaben aufarbeiten (ggf. durch Reflexionsschemata unterstützt; Fleige et al., 2012)</li> <li>- Umfassende <b>Reflexions- und Diskussionsphasen</b> integrieren, um ein ausgeprägtes Wissenschaftsverständnis aufzubauen</li> <li>- An <b>Schülervorstellungen</b> anknüpfen</li> </ul>
Modellmethodische Aspekte (Praxis)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eigene Modelle entwickeln lassen und alternative Modellvorstellungen kriterienbezogen bewerten</li> <li>- Modellierungsprozesse durch verschiedene Medien (digitale Darstellungen, modeling-based text) explizieren</li> <li>- Förderung der modellmethodischen Kompetenz durch praktische Erfahrungen in diversen Kontexten wiederholt durchführen</li> </ul>

Bestehende Unterrichtskonzepte zur Förderung der modellmethodischen Kompetenz aus unterschiedlichen Fachbereichen zeigen, dass die inhaltliche Verankerung der Modellierung an diversen Stellen möglich ist. Für die Mathematik reichen die inhaltlichen Anknüpfungspunkte von Dreisatzrechnungen im Kontext des Tankens (Leiss & Tropper, 2014) über lineare Funktionen (Brand, 2014) bis hin zum Satz des Pythagoras (Schukajlow & Leiss, 2011). Im Zusammenhang mit Modellierungsprozessen werden diese in der Biologie z.B. inhaltlich in den Themen Transportmechanismen (Meisert, 2009) oder der Wirbelsäule (Fleige et al., 2016) verortet. In der Physik existieren bereits Unterrichtsbeispiele zur Förderung der modellmethodischen Kompetenz u.a. im Bereich Optik (Mikelskis-Seifert, 2010) oder zur Entstehung von Regenbögen (Teichrew & Erb, 2020). Für die Chemie gibt es wenige Ansätze, z.B. zum Thema Elektrochemie (Caspari et al., 2018) oder zur Säure-Base-Theorie im Kontext von Salmiak-Rauch (Saritaş et al., 2021), welche beide in der gymnasialen Oberstufe verankert sind.

In diesem Forschungsprojekt soll in Abgrenzung zu bestehenden Unterrichtseinheiten zur Förderung der modellmethodischen Kompetenz eine Fördereinheit für den chemischen

Anfangsunterricht, Klasse 8, entwickelt werden. In dieser Klassenstufe umfasst der Lehrplan für das Gymnasium im Saarland im Kompetenzbereich Fachwissen die Themenfelder *Sicheres Experimentieren, Stoffe und Stoffeigenschaften, Teilchenmodell, Stoffgemische und ihre Trennung, Deutung chemischer Reaktionen auf stofflicher Ebene, Die Luft, Die chemischen Grundgesetze und Satz von AVOGADRO* und *Das Wasser* (MBK Saar, 2012). Die Auswahl für eines dieser Themenfelder wird zu späterem Zeitpunkt begründet. Neben der Auswahl des inhaltlichen Fokus‘ legen Upmeyer zu Belzen und Krüger (2019a) nahe, nicht die gesamte modellmethodische Kompetenz in einer Einheit zu fördern. In Anlehnung an den Vorschlag, den *Zweck*, das *Testen* und das *Ändern von Modellen* zu kombinieren und die Tatsache, dass *Eigenschaften von Modellen* und *Alternative Modelle* im „Standardunterricht“ bereits häufig thematisiert werden, findet darüber hinaus eine Fokussierung auf die Modellbildungskompetenz als prozeduralen Anteil der modellmethodischen Kompetenz statt. Die Modellkompetenz wird aufgrund ihres Einflusses auf die Modellbildungskompetenz (Meisert, 2008) weiterhin als Prädiktorvariable betrachtet.

#### Individuelle Voraussetzungen: Schülervorstellungen<sup>4</sup>

Vorstellungen sind im Allgemeinen intrinsische Strukturen, die es den Individuen ermöglichen, sich im Alltag zu orientieren und einen stabilen Umgang mit der variablen Umgebung zu erreichen (G. Roth, 1994). Diese Vorstellungen entwickeln Menschen im Verlauf ihres Lebens durch alltägliche Beobachtungen, peer-Interaktionen, Alltagssprache, Massenmedien oder schulische Bildung (Mintzes & Chiu, 2004). (Alltägliche) Vorstellungen sind aufgrund ihrer Genesen über einen langen Zeitraum häufig stabil und schwer zu verändern (W.-M. Roth, 2008). Außerdem zeichnen sie sich generisch durch eine hohe Kontextabhängigkeit aus (Möller, 2013).

Lernende zeigen im Kontext naturwissenschaftlicher Bildung eine große Bandbreite an unterschiedlichen, alltäglichen Vorstellungen zu wissenschaftlichen Phänomenen (Wandersee et al., 1994). Aufgrund der wenigen Berührungspunkte mit Naturwissenschaften im Alltag sind zu Beginn des naturwissenschaftlichen Unterrichts nur selten Konzepte zu Materie oder chemischen Reaktionen vorhanden (Johnson, 2000). Nicht zuletzt aus diesem Grund unterscheiden sich die Vorstellungen der Schüler\*innen teilweise von wissenschaftlich akzeptierten Vorstellungen (Petermann et al., 2008). Die Bezeichner dieser abweichenden Vorstellungen sind sehr breit gefächert. Sie reichen von alternativen Konzepten über Präkonzepten, naiven Theorien, intuitiven Theorien, alternativen Vorstellungen, kindlichen Ideen, Fehlkonzepten bis hin zu vorwissenschaftlichen Vorstellungen (Good, 1991). Im Zusammenhang mit naiven Theorien gehen z.B. Caramazza et al. (1981) davon aus, dass vor dem naturwissenschaftlichen Unterricht keine reflektierte Auseinandersetzung mit unterschiedlichen naturwissenschaftlichen

---

<sup>4</sup> Zur besseren Lesbarkeit werden die Vorstellungen der Lernenden als Schülervorstellungen unter Verwendung des genetischen Maskulinums bezeichnet. Gemeint sind jedoch immer Vorstellungen von Lernenden aller Geschlechter.

Phänomenen stattgefunden hat und daher subjektive, bildhafte, metaphorische oder geschichtsreiche Erklärungsansätze im Vergleich zu naturwissenschaftlichen überwiegen (Gebhard, 2007). Die Termini Präkonzepte (Anderson & Smith, 1984) und vorwissenschaftliche Vorstellungen (Barke, 2006) nehmen zunächst keine Wertung vor. Die Autoren gehen davon aus, dass die Entwicklung solch alltäglicher Vorstellungen durch die grundsätzliche Beschaffenheit des Lernens nicht vermieden werden kann. Diese Präkonzepte können bei den Schüler\*innen im Verlauf der schulischen Bildung weiterhin neben den wissenschaftlichen Konzepten bestehen, da sie sich in Alltagssituationen auch künftig als nützlich und zweckmäßig erweisen (Sumfleth, 1992). Aufgrund dieser Bewährung in alltäglichen Situationen bleiben Alltagsvorstellungen auch häufig mit zunehmendem Fachwissen bestehen (Nicoll, 2001). Die Koexistenz von vorwissenschaftlichen und wissenschaftlichen Vorstellungen kann im Lernverlauf dazu führen, dass beide Vorstellungstypen miteinander vermischt werden, sodass es zu ungewollten Lernergebnissen in Form von hybriden Vorstellungen kommen kann (Wandersee et al., 1994). Für nachhaltiges Lernen ist daher eine Verknüpfung und Reflexion beider Vorstellungstypen essentiell (Fenske et al., 2011). Zuletzt soll noch die Gruppe der „hausgemachten Fehlvorstellungen“ (Barke, 2006, S. 21) vorgestellt werden. In diesem Fall stimmen die Vorstellungen nicht mit wissenschaftlich akzeptierten Vorstellungen überein, was die Bezeichnung als Fehlvorstellung bedingt. Diese Diskrepanz rührt allerdings von Fehlern oder Lücken in den Vorstellungen der Schüler\*innen, die durch mangelhafte Beschulung entstanden sind (daher hausgemacht). Unter diesen Umständen kann Vorwissen sogar lernhinderlich sein (Möller, 2013). In jedem Fall, in dem wissenschaftliche Vorstellungen nicht mit alltäglichen Vorstellungen in Einklang gebracht werden können, ergeben sich mögliche tiefgreifende Lernschwierigkeiten für den naturwissenschaftlichen Unterricht (Petermann et al., 2008). Aus diesem Grund sollen nun einige der gängigsten Schülervorstellungen vorgestellt werden, die Lernschwierigkeiten im naturwissenschaftlichen Unterricht bedingen können.

### *Schülervorstellungen in der Chemie*

In den vergangenen Jahren haben viele Studien häufige Schülervorstellungen in der Chemie bzw. in Bezug zu Teilchen- und Modellvorstellungen aufgedeckt und zusammengetragen:

Duit (2013) erkannte z.B., dass Lernende in Bezug auf das Teilchenmodell häufig die Vorstellung haben, dass zwischen den Teilchen kein leerer Raum ist oder alle Teilchen irgendwann zur Ruhe kommen. Außerdem konnte Duit (2013) zeigen, dass Lernende nur selten eigenständig die Teilchenebene zur Erklärung von Phänomenen heranziehen oder Kontinuums- und Diskontinuumsvorstellungen vermischen. In diesem Zusammenhang werden häufig Erfahrungen aus der Lebenswelt auf die Teilchenebene überführt. Zum Beispiel denken Schüler\*innen, dass die Teilchen des chemischen Elements Schwefel, welches auf der Kontinuumsebene bei Standardbedingungen als gelber Feststoff vorliegt, auf der Diskontinuumsebene ebenfalls eine gelbe Farbe aufweisen müssen. Eine mögliche Begründung dafür sehen Reiners und Saborowski (2017) in der Anschaulichkeit von Sachmodellen. Sie sind der Auffassung, dass mit einer erhöhten Anschaulichkeit die Grenzen zwischen der Stoff- und Teilchenebene vermehrt

verschwimmen. Im Zusammenhang mit diesen Vermischungen weisen Lernende auch häufig die Vorstellung auf, dass man Atome mit dem Mikroskop sehen könne oder Atome massive Kugeln seien (Harrison & Treagust, 1996). Auch diese Vorstellungen basieren auf makroskopischen Erfahrungen der Schüler\*innen im Alltag. Noch gravierender für die Ausbildung eines wissenschaftlichen Teilchenverständnisses sind Vorstellungen, die davon ausgehen, dass Materie kontinuierlich ist (Materie besteht zwar aus Teilchen, zwischen den Atomen existiert aber wieder Materie; Horton, 2007). Kempke und Flint (2021) identifizieren unter den chemischen Schlüsselthemen der Sekundarstufe I neben der Formelsprache und der Einführung des Teilchenkonzepts chemische Reaktionen und Redoxreaktionen als Themen, bei denen häufig Lernschwierigkeiten im Zusammenhang mit Modellen auftreten. Bei chemischen Reaktionen gehen einige Lernende davon aus, dass diese irreversibel sind, Atome verschwinden können oder sich die Gesamtmasse im Verlauf chemischer Reaktionen verändert (Horton, 2007). Die Veränderung der Gesamtmasse wird nach der Vorstellung einiger Lernender dadurch bedingt, dass entstehende Gase weniger wiegen als Feststoffe (Johannsmeyer et al., 2003) oder selbst gar keine Masse haben (Schmidt, 1997). Da vorunterrichtliche bzw. alltägliche Vorstellungen jeden Unterricht beeinflussen (Anderson & Smith, 1984), müssen vorhandene Vorstellungen zunächst diagnostiziert und schließlich im Unterricht berücksichtigt werden. Beide Schritte werden in den folgenden Subkapiteln knapp beschrieben.

### *Diagnose von Schülervorstellungen*

Zur Diagnose von Schülervorstellungen wurden bereits diverse Methoden angewandt. Eine der häufigsten Methoden stellt das leitfadengestützte Interview dar. Dieses wurde z.B. von Denk (2018) eingesetzt, um Vorstellungen von Lernenden zum Aufbau der Erde zu erheben, oder von Fendt (2019) u.a. zum Kern-Hülle-Modell. Möller (2013) ergänzt diese verbale Diagnosemöglichkeit um offene Fragen oder Multiple Choice-Aufgaben in Form von Fragebögen. Roth (2008) betont im Zusammenhang mit Interviews und Fragebögen, dass durch diese Diagnosemethoden neben dem Vorhandensein von Schülervorstellungen auch deren Struktur und Abrufbarkeit erhoben werden kann. So können beispielsweise Vernetzungen zwischen Wissensbausteinen oder die Beschaffenheit mentaler Vorstellungen als dynamisch oder statisch identifiziert werden. Eine weitere Methode, die besonders geeignet ist, um neben den Schülervorstellungen auch den Grad der Vernetzung zwischen einzelnen Bestandteilen der Vorstellung zu erheben, ist das Concept Mapping (Graf, 2014). Concept Mapping ist der Überbegriff für verschiedene Methoden, die Begriffsnetze darstellen, „*die aus durch Relationen verbundenen Begriffen bestehen*“ (Haugwitz & Sandmann, 2009, S. 90). Kattmann (2016) ergänzt die Liste der Diagnosewerkzeuge um Zeichnungen, Kartenabfragen, Prognosen zu Experimenten und (Szenarien-) Aufgaben sowie Concept-Cartoons. Concept Cartoons sind comicartige Abbildungen, die meist drei bis fünf Personen in einer alltäglichen Situation zeigen. Diese Personen äußern dabei unterschiedliche (pseudo-) wissenschaftliche Erklärungen oder Ansätze zum selben Thema (Stephenson & Warwick, 2002). Eine der Äußerungen stellt dabei die wissenschaftlich akzeptierte Meinung dar, während die anderen gängige Schülervorstellungen adressieren, die

durchaus plausibel sind, allerdings nicht der wissenschaftlich akzeptierten Meinung entsprechen (ebd.). Ein Beispiel für einen Concept Cartoon zum Teilchenmodell wird in Abbildung 26 dargestellt.

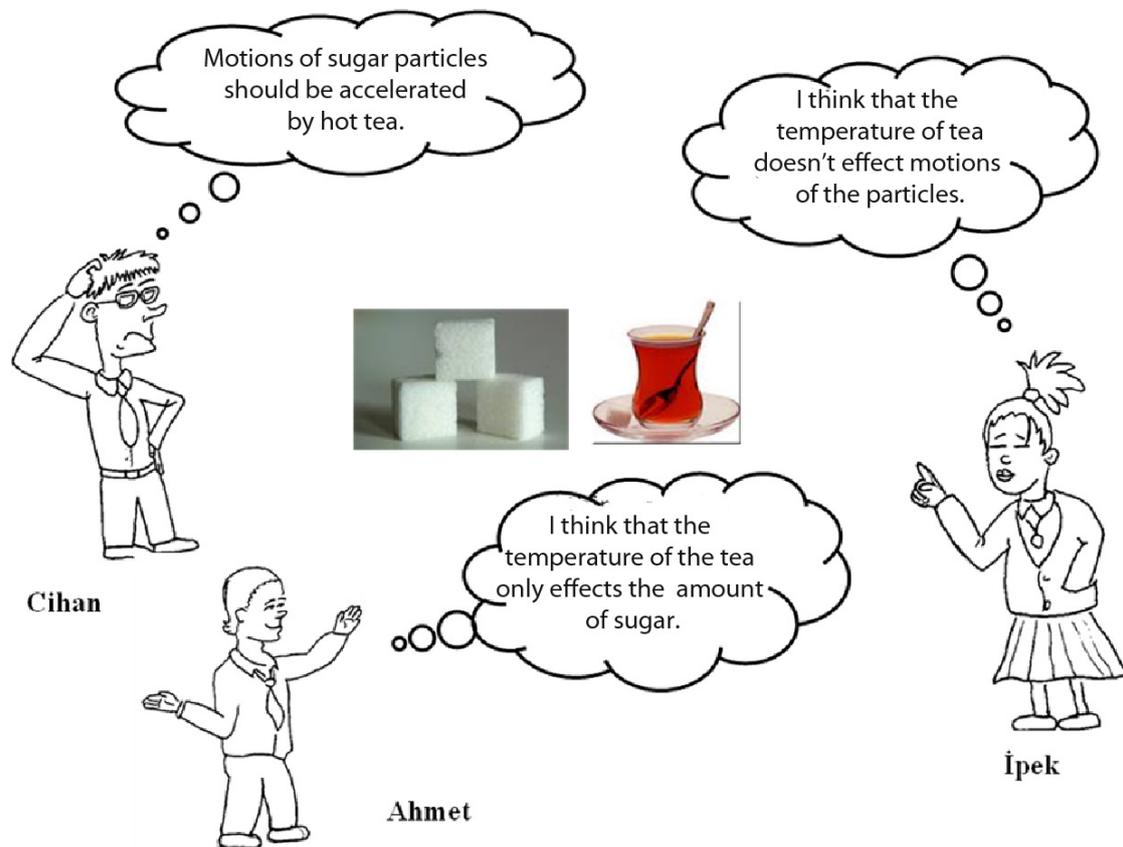


Abbildung 26: Concept Cartoon zur Abhängigkeit des Teilchenmodells von der Temperatur (İnel & Balm, 2013, S. 378)

In diesem Concept Cartoon stellen die drei Kinder ihre Vorstellungen zur Abhängigkeit des Teilchenmodells von der Temperatur vor. Hier weist Cihan die weit verbreitete Vorstellung auf, dass die Bewegung der Teilchen gar nicht durch die Temperatur beeinflusst wird. Ahmet stellt mit seiner Aussage gar keinen Bezug zum Teilchenmodell her, sondern bleibt mit seiner Äußerung auf einer rein makroskopischen Ebene. Auch dies deckt sich mit den Vorstellungen vieler Schüler\*innen. Nur İpeks Vorstellung geht mit der wissenschaftlich akzeptierten Vorstellung einher, dass Teilchen ständig in Bewegung sind und sich bei höheren Temperaturen stärker bewegen. Dieser Concept Cartoon wurde als Ansatz für eine Unterrichtseinheit zu Einflussfaktoren von Teilchenbewegungen eingesetzt.

Neben den bereits vorgestellten Möglichkeiten zur Diagnose von Schülervorstellungen werden auch noch einige, weniger häufig eingesetzte Möglichkeiten genannt: So können praktische Handlungen (Möller, 2013) oder Textproduktionen (Hundertmark & Schanze, 2017) angewendet werden, um Schülervorstellungen darzustellen und diese durch die Lehrperson zu diagnostizieren.

## *Umgang mit Schülervorstellungen im Chemieunterricht*

Im Anschluss an eine Diagnose der Schülervorstellungen stellt sich die Frage nach dem Umgang damit im Chemieunterricht. In diesem Kontext werden nun zwei erprobte Unterrichtsgänge zum Umgang mit Schülervorstellungen vorgestellt.

Kattmann (2016) zielt mit seinem Konzept darauf ab, dass Schüler\*innen durch einen unterrichtlichen Impuls ihre Alltagsvorstellungen überdenken und diese aktiv selbst verändern. Er spricht in diesem Zusammenhang von einer „conceptual reconstruction“ (ebd., S. 19). Das an Schülervorstellungen orientierte Vorgehen im Unterricht nach Kattmann (2016) gliedert sich in folgende Schritte: Bewusstmachen – Umlernen – Anwendungen - Reflexion. In der Phase der Bewusstmachung beschreibt zunächst jeder Schüler/jede Schülerin seine/ihre Vorstellung des naturwissenschaftlichen Phänomens. In diesem Schritt können die zuvor beschriebenen Diagnosewerkzeuge zum Einsatz kommen. Anschließend findet das Umlernen statt, das sich je nach Beschaffenheit der Alltagsvorstellungen unterschiedlich gestaltet. Im Fall der „Anknüpfung“ wird eine Alltagsvorstellung aufgespürt, die einen mentalen Anker für die wissenschaftliche Erklärung des Phänomens im Vorwissen bildet. Beim „Perspektivenwechsel“ wird die Vorstellung des/der Lernenden um die wissenschaftliche Perspektive derselben Situation ergänzt. Dadurch kann zwischen beiden Perspektiven aktiv gewechselt und beide können miteinander verglichen werden. Die ursprüngliche Vorstellung bleibt hierbei erhalten. Im Gegensatz dazu wird bei der Methode des „Kontrasts“ die ursprüngliche Vorstellung entweder aktiv überarbeitet oder durch einen kognitiven Konflikt zunächst vollständig verworfen und anschließend durch eine neue Vorstellung ersetzt. Im Fall der „Brücke“ ermöglichen die Alltagsvorstellungen der Schüler\*innen einen besseren Zugang zum wissenschaftlichen Verständnis des Phänomens, indem bekannte Muster und Vorgehensweisen auf die wissenschaftlichen Aspekte angewendet werden. Die neu erworbene bzw. „umgelernte“ wissenschaftliche Vorstellung wird im nächsten Unterrichtsschritt auf eine andere Situation angewendet, um die Vorstellung zu festigen. Im letzten Schritt wird abschließend die ursprüngliche Vorstellung mit der wissenschaftlichen Vorstellung verglichen. Dadurch soll den Schüler\*innen der Lernerfolg verdeutlicht werden. Durch die Anwendung dieses Vorgehens konnte Kattmann (2016) einen größeren und nachhaltigeren Lernerfolg bei den Schüler\*innen belegen.

Ein zweites erprobtes Verfahren explizit aus dem Kontext des Chemieunterrichts soll nun vorgestellt werden. Petermann, Friedrich und Oetken (2008) entwickelten „das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren“ am Beispiel des „Gesetzes der Erhaltung der Masse“. Sie nahmen in diesem Fall Schülervorstellungen zum Boyle-Versuch als Ansatzpunkt. Bei dem Boyle-Versuch handelt es sich um ein Experiment zur Verbrennung von Holzkohle in einer Sauerstoff-Atmosphäre im geschlossenen System (Johannsmeyer et al., 2001). In Abbildung 27 wird ein möglicher Versuchsaufbau abgebildet, bei dem das geschlossene System durch einen Rundkolben mit aufgesetztem durchbohrtem Stopfen realisiert wird, in dem ein Glasrohr mit Gummischlauch und über gestülptem Luftballon steckt. Bei der Durchführung des Versuchs wird zunächst die Gesamtmasse des Versuchsaufbaus bestimmt, bevor die Kohle im

Inneren des Rundkolbens erhitzt wird. Die Kohle entzündet sich nach einiger Zeit mit heller Flamme. Kohlenstoff reagiert mit Sauerstoff und bildet Kohlenstoffdioxid. Nach der Reaktion ist damit (neben evtl. vorhandenem Rest-Sauerstoff) nur noch das Produkt Kohlenstoffdioxid im Rundkolben vorhanden, wobei es sich um ein farbloses Gas handelt. Kohle als fester Ausgangsstoff liegt nicht mehr vor, das gasförmige Produkt kann optisch nicht wahrgenommen werden. Die Gesamtmasse bleibt unverändert.

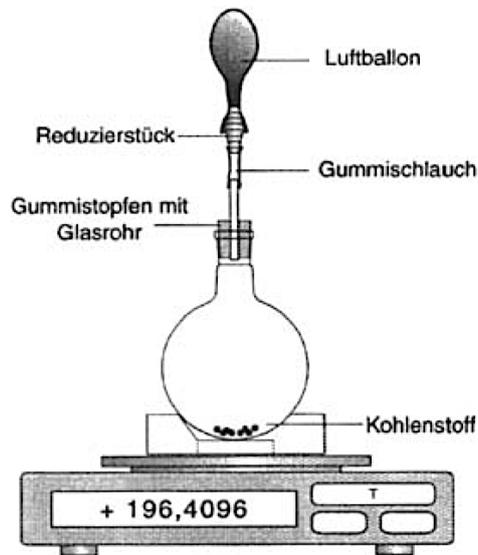


Abbildung 27: Aufbau des Boyle-Versuchs nach Johannsmeyer et al. (2001, S. 156).

Das Unterrichtsverfahren nach Petermann, Friedrich und Oetken (2008) startet mit einer „Problemgewinnung und Hypothesenbildung“, in der die Versuchsdurchführung besprochen und die Gesamtmasse der Apparatur bestimmt wird sowie Hypothesen zur erwarteten Gesamtmasse nach der Versuchsdurchführung aufgestellt und gesammelt werden. In der daran anschließenden Phase der „fachlichen Klärung des Unterrichtsgegenstandes“ wird zunächst der Boyle-Versuch durch die Lehrperson durchgeführt und die Gesamtmasse erneut bestimmt. Fakultativ kann zum Nachweis des Reaktionsprodukts (Kohlenstoffdioxid) die Kalkwasserprobe durchgeführt werden (Kalkwasser [gesättigte Calciumhydroxid-Lösung] trübt sich beim Einleiten von Kohlenstoffdioxid durch die Bildung von in Wasser schwerlöslichem Kalk [Calciumcarbonat]). Dies ist allerdings erst nach dem Erkalten der Versuchsapparatur und der Bestimmung der Gesamtmasse nach dem Experiment möglich. Im Anschluss findet eine Klärung der chemischen Reaktion auf makroskopischer, submikroskopischer und symbolischer Ebene (vgl. Abbildung 28) statt. Auf der makroskopischen Ebene werden die Edukte (Kohlenstoff und Sauerstoff) sowie das Produkt (Kohlenstoffdioxid) mit ihren Eigenschaften genannt, während auf der submikroskopischen Ebene die Umgruppierung der Teilchen im Verlauf der chemischen Reaktion thematisiert wird. Bei der Umgruppierung bildet sich aus einem Molekül Sauerstoff und einem Kohlenstoffatom ein Molekül Kohlenstoffdioxid. Auf der Symbolebene wird die Reaktionsgleichung entsprechend der Abbildung aufgestellt.

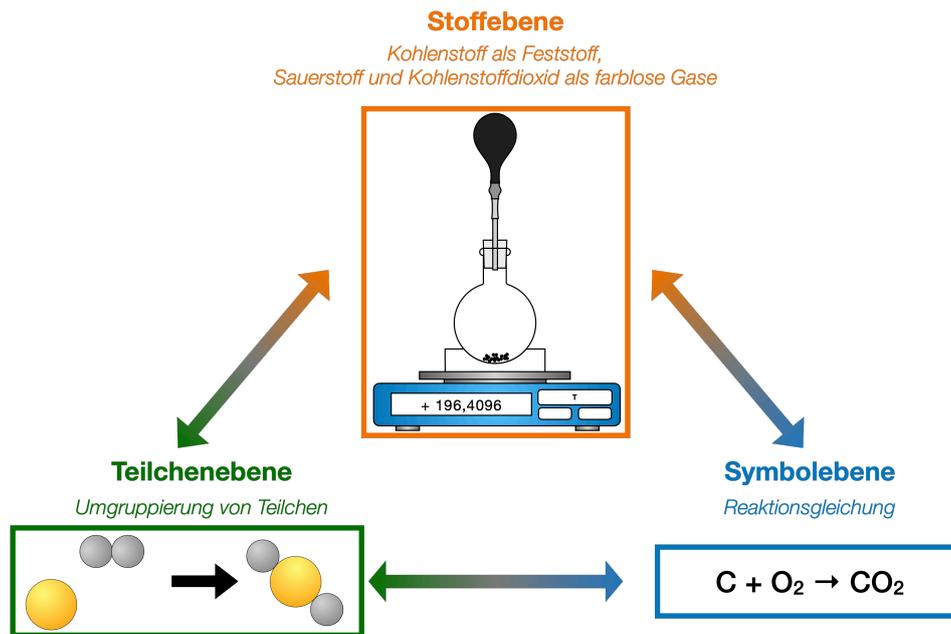


Abbildung 28: Reaktion des Boyle-Experiments auf allen drei Ebenen des Chemieunterrichts

Daran schließt sich die Phase der „Erarbeitung, Festigung und Wissenssicherung“ an. Bei der Erarbeitung setzen sich die Lernenden mit empirisch gefundenen und zuvor in der Lerngruppe gesammelten Schülervorstellungen auseinander und widerlegen diese explizit mit wissenschaftlichen Argumentationen, um so „Denkfehler“ aufzudecken. In der anschließenden Phase „Anwendung und Transfer“ wird das zuvor erworbene Wissen auf ein weiteres naturwissenschaftliches Phänomen angewendet. Im Kontext des Boyle-Versuchs könnten beispielsweise andere Verbrennungsreaktionen (z.B. Eisen, Schwefel) in offenen oder geschlossenen Systemen durchgeführt und Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede reflektiert werden. Zuletzt wird in der Phase der „Metakognition“ darüber reflektiert, inwiefern sich individuelle Vorstellungen verändert haben. Falls sich Vorstellungen verändert haben, soll außerdem thematisiert werden, ob die befolgte Argumentationslinie für die Lernenden nachvollziehbar war, sodass der Wandel in der eigenen Vorstellung als überzeugend eingeschätzt werden kann.

Für das vorliegende Forschungsvorhaben lässt sich aus den beiden vorgestellten Unterrichtsgängen ableiten, dass die Schüler\*innen zunächst ihre eigenen Modelle bilden müssen, daraus Hypothesen ableiten und daran anschließend ihre Modelle überarbeiten bzw. die Vorstellungen miteinander vergleichen. Die entwickelte Lerneinheit soll an Schülervorstellungen anknüpfen, die nicht vollumfänglich mit wissenschaftlichen Ansichten übereinstimmen. Dadurch kann eine Überarbeitung des selbst entwickelten Modells aus den anfänglichen Vorstellungen provoziert werden, wodurch das *Ändern von Modellen* in den Fokus rückt. Da es zu Verbrennungen diverse Schülervorstellungen gibt, die nicht mit wissenschaftlichen Vorstellungen übereinstimmen, wird für die entwickelte Lerneinheit der Kontext der Verbrennungen im Zusammenhang mit dem „Gesetz der Erhaltung der Masse“ gewählt. Damit befindet sich die Lerneinheit zu Beginn des Themenfelds *Chemische Grundgesetze und Satz von AVOGADRO* in Klassenstufe

8. Als Methode zur Erfassung der Schülervorstellungen fertigen die Schüler\*innen in der entwickelten Lerneinheit Zeichnungen an. Die Auseinandersetzung mit den Schülervorstellungen findet aufgrund der Lernvoraussetzungen ausschließlich auf einer Stoff- und Teilchenebene statt. Die Symbolebene wird in Klassenstufe 8 erst zum Ende des Themenfelds *Chemische Grundgesetze und Satz von AVOGADRO* erreicht. Die gesamte Intervention wird im Kapitel 3.2.3 vorgestellt.

#### Lebenswelt der Schüler\*innen: Relevante Kontexte

Die Verankerung relevanter Kontexte in der Chemie geht bis auf die Bildungsstandards für das Fach Chemie zurück. Dort wird die Integration realer Probleme in den Unterricht gefordert, um das Erkennen von Problemen in der alltäglichen Umwelt sowie das Erwägen von Lösungen und Diskutieren von Konsequenzen zu ermöglichen (KMK, 2004d). Die Definition relevanter Kontexte aus Sicht des Chemieunterrichts ist zum einen sehr breit gefächert und wird zum anderen häufig synonym zu authentischen Kontexten verwendet. Marks und Eilks (2009) geben beispielweise an, dass relevante Kontexte sich dadurch auszeichnen, dass sie Probleme thematisieren, die der aktuellen Gesellschaft entspringen und kontrovers diskutiert werden können. Durch die Thematisierung von relevanten Problemen im Unterricht soll es den Schüler\*innen möglich sein, auch an Diskussionen außerhalb des Unterrichts aktiv teilzunehmen und sich selbst eine Meinung zu bilden. Stuckey et al. (2014) erweitern diese Definition noch um verschiedene Relevanzdimensionen. Sie sind der Meinung, dass sich Relevanz nicht nur auf gesellschaftlicher Ebene (gesellschaftliche Relevanz), sondern auch auf einer individuellen oder beruflichen Ebene manifestieren kann. Alle diese Ebenen können sich auf das aktuelle sowie zukünftige Leben der Schüler\*innen beziehen und von intrinsischer oder extrinsischer Orientierung geprägt sein. Die Relevanz eines Themas auf individueller Ebene, die sich auf das aktuelle Leben der Schüler\*innen bezieht und extrinsisch orientiert ist, ist beispielsweise der Wunsch, in diesem Thema gute Noten zu erhalten. Bezüglich der Relevanzdimensionen sollte je nach Klassenstufe eine unterschiedliche Akzentuierung umgesetzt werden (Stuckey et al., 2014). Im Verlauf des Bildungsgangs der Schüler\*innen sollte sich die adressierte Relevanzdimension von einer individuellen Ebene (v.a. in der Unterstufe) über die gesellschaftliche Ebene hin zur beruflichen Ebene (v.a. Abschlussklassen oder in der beruflichen Bildung) verschieben (vgl. Abbildung 29).

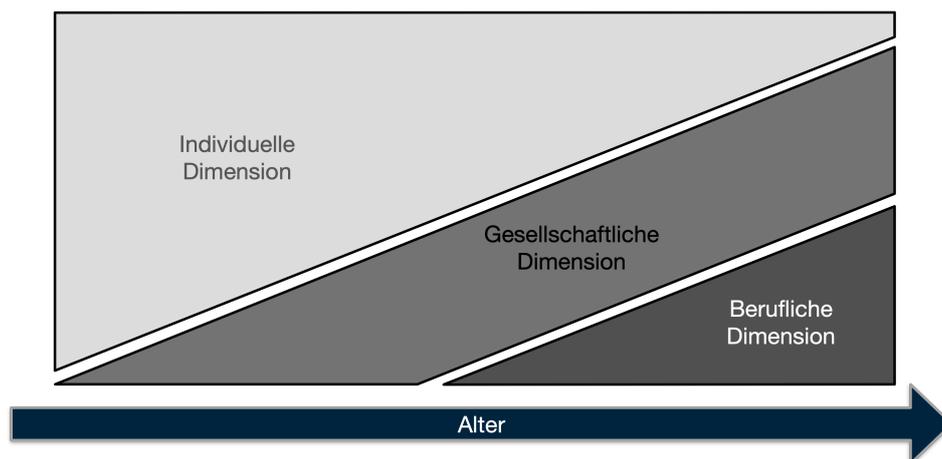


Abbildung 29: Die Verschiebung in den Relevanzdimensionen in Abhängigkeit vom Alter der Schüler\*innen (Stuckey et al., 2014, S. 179)

Verschiedene Relevanzdimensionen können im Chemieunterricht durch die Verankerung der Fachinhalte in unterschiedlichen Kontexten umgesetzt werden. Dieser Idee geht das Konzept „Chemie im Kontext“ nach. Entsprechende Kontexte bieten den Lernenden Anknüpfungspunkte, um nachvollziehbare Anlässe zur Beschäftigung mit chemiebezogenen Themen zu erkennen, erworbene Fähig- und Fertigkeiten sinnhaft anzuwenden und neue Inhalte in bestehende Denkstrukturen zu integrieren (Demuth et al., 2008). Diese Grundidee weist bereits auf die drei Säulen von „Chemie im Kontext“ hin: Kontextorientierung, Vermittlung von Basiskonzepten und Methodik. Ein möglicher Kontext könnte beispielweise durch die Impulsfrage „Alkohol: zu wertvoll für ein Getränk?“ gebildet werden (Nentwig et al., 2007). Aus den Kontexten lassen sich in einem Schritt der Dekontextualisierung (Leisen, 2016) fachliche Inhalte ableiten. Im Beispiel des Alkohols von Nentwig et al. (2007) wird der fachliche Inhalt durch die Eigenschaften und daraus abgeleiteten Einsatzmöglichkeiten von Alkohol z.B. als Brandbeschleuniger gebildet. Dadurch erwerben die Schüler\*innen neues situierendes, fachbezogenes Wissen. In einem anschließenden Abstraktionsschritt wird das Gelernte in die Grundideen der Basiskonzepte der Chemie eingeordnet. Im Beispiel von Nentwig et al. (2007) wären dies vor allem Struktur-Eigenschafts-Beziehungen zur Entflammbarkeit oder Löslichkeit von Ethanol ausgehend von der submikroskopischen Struktur. Ausgehend davon kann eine Rekontextualisierung stattfinden, in der das neu erworbene und abstrahierte Wissen auf andere passende Kontexte angewendet wird (Leisen, 2016). Im Alkohol-Beispiel könnten die Schüler\*innen den Einsatz von Alkoholen in Reinigungs- und Desinfektionsmitteln durch die Eigenschaften begründen, die wiederum auf der submikroskopischen Struktur von Alkoholen beruhen.

Für das vorliegende Forschungsprojekt hat ausgehend von der Kompetenzorientierung und der Orientierung an Schülervorstellungen eine Fokussierung auf das Gesetz der Erhaltung der Masse im Themenfeld *Chemische Grundgesetze und Satz von AVOGADRO* der Klassenstufe 8 stattgefunden. Daher werden folgend mögliche Kontexte auf unterschiedlichen Relevanzdimensionen aufgeführt:

- **Gesellschaftlich:**  
Müllverbrennungsanlage: Wenn man Müll verbrennt, dann ist er weg oder nicht?
- **Individuell:**  
Abbrennen einer Kerze/eines Streichholzes: Beim Abbrennen der Kerze /des Streichholzes wird es weniger!?
- **Beruflich:**  
großtechnische Herstellung von Ammoniak: In welchem Verhältnis müssen Stickstoff und Wasserstoff zur Reaktion gebracht werden, um eine optimal Ausbeute an Ammoniak zu erhalten?

Bedingt durch die Altersstufe der Schüler\*innen wird der Kontext des „Verschwindens“ eines Streichholzes beim Verbrennen als Kontext für die Lerneinheit ausgewählt, da sich in diesem Kontext die größte individuelle Relevanz zeigt.

### Reflexions- und Diskussionsphasen

Ein weiterer wichtiger Punkt, der in den Empfehlungen von Upmeyer zu Belzen und Krüger (2019a) speziell für die Förderung von Kompetenzen im Zusammenhang mit Modellen benannt wird, ist die Integration von ausführlichen Reflexions- und Diskussionsphasen im Verlauf der Unterrichtssequenz. Aus diesem Grund soll zunächst der Begriff Reflexion definiert werden. Reflexion bedeutet ausgehend von dem lateinischen Ursprung re-flectere „sich zurückbeugen“ oder „umwenden“. In Lernkontexten ist reflektiertes Lernen *„ein bewusster Prozess und geht mit dem Nachdenken über das Lernen – dessen Subjekt, dessen Objekt, dessen Bedingungen – einher“* (Pelosi, 2019, S. 3). Schübler (2008) unterscheidet beim reflexiven Lernen drei Reflexionsebenen: Selbst-, Prozess- und Problemreflexion. Im Rahmen einer Selbstreflexion werden das eigene Denken und Lernen mit routinierten Deutungs- und Evaluationsmustern in den Fokus genommen. Ebenso findet auf dieser Ebene eine Reflexion von Gefühlen statt. Als mögliche Reflexionsimpulse werden innere Dialoge oder angeleitete Selbstevaluationen (z.B. in Form von Lerntagebüchern) vorgeschlagen. Als weiteren Impuls bieten sich ebenso Portfolios an (Gläser-Zikuda & Hascher, 2007). Die Prozessevaluation als zweite Reflexionsebene nach Schübler (2008) findet in Gruppen statt und fokussiert Störungen oder Funktionalitäten im gemeinsamen Lernprozess. Als Impulse können in diesem Fall metakommunikative oder gruppendynamische Übungen (z.B. Blitzlicht) dienen. Auf der dritten Reflexionsebene, der Problemreflexion, werden Handlungen in ihrem individuellen Kontext reflektiert. Zu diesem Zweck eignen sich Fallarbeiten oder konkrete Handlungsaufgaben mit diversen individuellen und gesellschaftlichen Kontexten (Schübler, 2008).

Einen Bezug zwischen der Reflexion und der Modellbildung im Speziellen stellen z.B. Fleige et al. (2012) her, indem sie für Modellierungsprozesse explizit ausführliche Reflexionsphasen fordern. In diesen Phasen werden Reflexionsaufgaben bearbeitet, die sich über die gesamte Fördereinheit verteilen. Dies kann beispielsweise in Form eines Schemas (Reflexionsschema) umgesetzt werden, welches den gesamten Modellierungsprozess begleitet. Nach Fleige et al.

(2016) kann dies durch ein begleitendes Arbeitsblatt umgesetzt werden, welches dieselbe Struktur aufweist wie der durchgeführte Modellierungsprozess (Abbildung 4). In Abbildung 30 wird das von Caspari et al. (2018) eingesetzte Reflexionsschema zum Thema Salzlösungen dargestellt, welches in der Unterrichtseinheit zur Förderung der modellmethodischen Kompetenz in der Einführungsphase der Gymnasialen Oberstufe im Kontext Elektrochemie eingesetzt wurde.

Das Reflexionsschema beginnt oben links in der Ecke mit dem Original, einer Salzlösung. Ausgehend davon führen die Lernenden ein Experiment zur Überprüfung der elektrischen Leitfähigkeit durch. Als Ergebnis hat diese Schülerin notiert, dass die Lampe leuchtet und damit die Lösung den elektrischen Strom leitet. Anschließend wurden von der Schülerin ebenso wie es der Modellierungsprozess vorsieht, Vorüberlegungen zur elektrischen Leitfähigkeit im Allgemeinen notiert. Dazu zählt, dass elektrische Leitfähigkeit nur dann möglich ist, wenn bewegliche Ladungsträger vorhanden sind. Dann wurde ein erstes Modell entwickelt, welches die Bewegung der Sulfationen verdeutlicht. Ausgehend davon konnte die Schülerin eine Hypothese über die Ionenbewegung ableiten. Im daran anschließenden Experiment konnte die Bewegung geladener Teilchen durch ionische Farbstoffe sichtbar gemacht werden. Die Ergebnisse des Experiments führten in diesem Fall dazu, dass die Hypothese teilweise falsifiziert wurde: Die Annahme, dass keine Ionen von der negativ geladenen Elektrode angezogen werden, konnte so widerlegt werden und bildete die Grundlage zur Entwicklung des zweiten Modells. In diesem Modell ist eine Bewegung beider Ionensorten erkennbar. Auch aus diesem Modell leitete die Schülerin eine Hypothese ab, welche erneut experimentell überprüft wurde und wieder zu dem Schluss führte, dass das Modell erneut überarbeitet werden muss. Dieser Kreislauf entspricht in seinen Schritten exakt dem Modellierungsprozess.

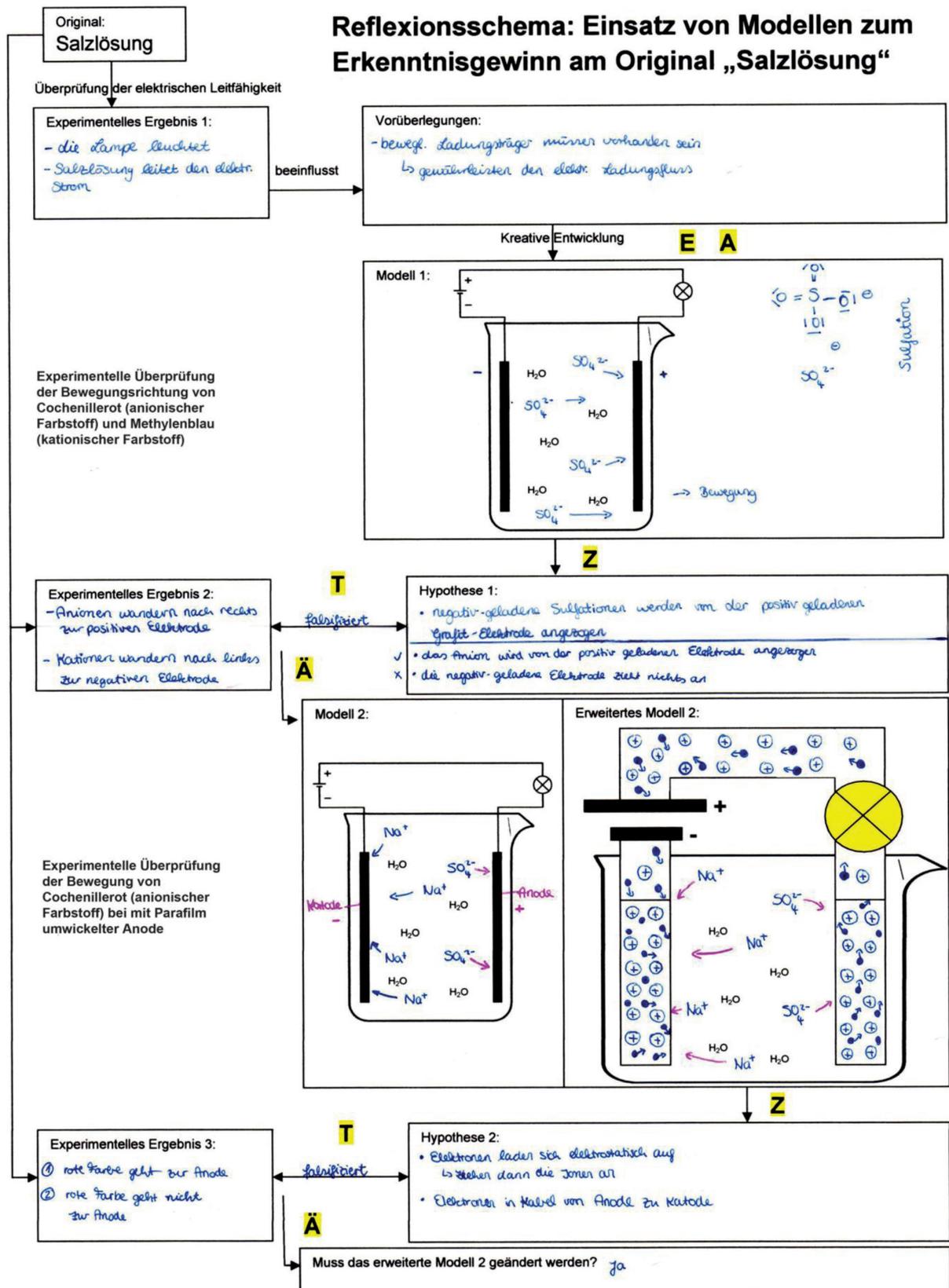


Abbildung 30: bearbeitetes Reflexionsschema „Salzlösung“ (Caspari et al., 2018, S. 26)

Da sich dieses Reflexionsschema in diesem chemischen Kontext wie auch in einigen biologischen Kontexten (Fleige et al., 2016) als nützlich zur Förderung der modellmethodischen

Kompetenz erwiesen hat, soll ein ähnliches Schema für den in Teil I entwickelten Modellierungsprozess entwickelt werden. Dieses Schema wird in Kapitel 3.2.3 im Detail vorgestellt.

In Anlehnung an die Reflexionsschemata haben Upmeier zu Belzen und Krüger (2019b) offene Reflexionsfragen entwickelt, die zum einen die Reflexion des eigenen Lernprozesses bei den Schüler\*innen anregen und es zum anderen der Lehrperson ermöglichen, das Niveau der Subdimensionen der modellmethodischen Kompetenz bei den Schüler\*innen zu diagnostizieren. Diese Reflexionsfragen (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2019b, S. 40) werden folgend zusammengestellt und der adressierten Subdimension zugeordnet:

- **Eigenschaften von Modellen:**  
„Erkläre, inwieweit ein Modell seinem naturwissenschaftlichen Phänomen entspricht.“
- **Alternative Modelle:**  
„Begründe, inwiefern es zu einem naturwissenschaftlichen Phänomen verschiedene Modelle geben kann.“
- **Zweck von Modellen:**  
„Beschreibe verschiedene Zwecke, die Modelle in den Naturwissenschaften erfüllen.“
- **Testen von Modellen:**  
„Erkläre, inwiefern sich überprüfen lässt, ob ein naturwissenschaftliches Modell seinen wissenschaftlichen Zweck erfüllt.“
- **Ändern von Modellen:**  
„Begründe, inwiefern ein gegebenes naturwissenschaftliches Modell verändert wird.“

Einige der offenen Reflexionsfragen werden auch in die entwickelte Lerneinheit dieses Forschungsvorhabens integriert. Damit liegt der Fokus der Reflexion in der entwickelten Intervention auf der Selbstreflexion in Form von angeleiteten Selbstevaluationen (hier durch Arbeitsblätter umgesetzt). Eine genaue Beschreibung ist auch hier dem Kapitel 3.2.3 zu entnehmen.

### Praktische Erfahrungen

Nach dem Verständnis von handlungsorientiertem Unterricht nach Jank und Meyer (2014) sollte Unterricht ganzheitlich und schüleraktiv sein. Damit einher geht die Forderung, Schüler\*innen im Unterricht „möglichst viel selbst erkunden, erproben, entdecken, erörtern, planen oder verwerfen zu lassen“ (ebd., S. 316). Es scheint daher auch nicht verwunderlich, dass dieser Anspruch auch an Unterricht mit dem Fokus auf der Modellbildung gestellt wird. Daher fordern u.a. Treagust et al. (2002) eine aktive Auseinandersetzung mit eigenen Modellvorstellungen und deren realen Repräsentationen. Graf (2002) schlägt in diesem Fall vor, die Schüler\*innen aktiv an dem Modellentstehungsprozess zu beteiligen, um dadurch modellmethodische Kompetenz zu erwerben. So können Schüler\*innen beispielsweise Modelle selbst bauen oder zeichnen, um damit anschließend zu arbeiten bzw. Modellierungsprozesse zu durchlaufen. Dieser Empfehlung gehen auch Krell, Upmeier zu Belzen und Krüger (2016) nach. Die Autor\*innen fokussieren allerdings genauer, dass vor allem das *Ändern von Modellen* durch eine selbst

durchgeführte Weiterentwicklung von Modellen effektiv umgesetzt werden kann. Zur optimalen Entwicklung im Unterricht soll eine enge Verzahnung zwischen Hand- und Kopfarbeit erfolgen (Jank & Meyer, 2014). Das bedeutet genauer, dass geistige Denk-Handlungen im selben Maße im Unterricht adressiert werden sollen wie mechanische Arbeiten. Eine Möglichkeit zur Verknüpfung dieser beiden Arbeitsweisen stellt das Experiment im naturwissenschaftlichen Unterricht dar. Die Kultusministerkonferenz (2004d) formuliert dazu: Die Schüler\*innen „*verknüpfen experimentelle Ergebnisse mit Modellvorstellungen und erlangen im Teilchenbereich ein tieferes Verständnis*“ (ebd., S. 7). Damit Experimente allerdings als Schulexperimente taugen und damit auch dem zuvor genannten Anspruch gerecht werden können, müssen sie verschiedenen Kriterien entsprechen (Pfeifer et al., 2002):

- **Optischer Eindruck:** Sie müssen visuell aktiv sein und damit eine (intendierte) Beobachtung erlauben oder sogar klar erkennbare optische Eindrücke liefern.
- **Ideeller Rahmen:** Sie müssen für die adressierte Klassenstufe geeignet sein. Dies bezieht sich neben den Sicherheitsaspekten auch auf manuelle Fähigkeiten sowie kognitive Leistungen. Aus diesem Grund sollten sich Schulexperimente immer nach dem Vorwissensstand der Lerngruppe richten.
- **Materieller Rahmen:** Zeitliche Gegebenheiten oder die materielle Ausstattung beeinflussen Schulexperimente. So müssen Experimente mit dem in der Schule vorhandenen Equipment in der vorgegebenen starren zeitlichen Struktur (45 Minuten-Intervalle) durchführbar sein.

Ausgehend von diesen Ausführungen zum praktischen Einsatz werden die Schüler\*innen in der vorliegenden Studie zum einen aktiv ihre eigenen Modelle in Form von Zeichnungen darstellen. Darüber hinaus werden zwei Experimente in die Lerneinheit integriert, die in ihrer Komplexität bezüglich des Lerngegenstandes und der experimentellen Fähigkeiten den Lernenden angemessen sind. Dabei adressiert das erste Experiment, bei dem die Schüler\*innen Streichhölzer im offenen System verbrennen, genau die alltäglichen Vorstellungen der Schüler\*innen, die meist nicht mit den wissenschaftlich akzeptierten Erklärungen übereinstimmen. Die experimentelle Handhabe im zweiten Experiment (Verbrennung von Streichhölzern im geschlossenen System, Aufbau: Abbildung 35) ist etwas anspruchsvoller. Da das geschlossene System aus Reagenzglas, Luftballon und Kabelbinder allerdings schon vorbereitet zur Verfügung gestellt wird, kann dies dem Alter entsprechend vorentlastet werden.

### 3.2.2 Zielsetzung und Fragestellung

Im Verlauf des theoretischen Hintergrunds in diesem Teil hat sich gezeigt, dass bei der Entwicklung von Lernmaterialien für den Chemieunterricht viele Aspekte beachtet werden müssen. Dabei wurde vor allem auf die Orientierung an der Wissenschaft, die Analyse von Schülervorstellungen, relevante Kontexte, praktische Erfahrungen sowie Reflexions- und Diskussionsphasen eingegangen. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass Modellierungsprozesse in

diversen Themenbereichen verschiedener Fächer eingesetzt wurden. Für die Chemie lassen sich bestehende Ansätze allerdings vermehrt in der gymnasialen Oberstufe verorten, sodass in diesem Forschungsvorhaben eine Fördermaßnahme für den Anfangsunterricht in der Chemie entwickelt wird. Diese Intervention soll an dem in Teil I entwickelten Modellierungsprozess orientiert sein. Da zuvor einige Autor\*innen im Zusammenhang mit Modellierungen Reflexions-schemata einsetzten (z.B. Caspari et al., 2018; Fleige et al., 2016), soll im Zusammenhang mit diesem Forschungsvorhaben zunächst geprüft werden, ob sich ein Reflexionsschema und zugehörige Reflexionsaufgaben positiv auf den Kompetenzerwerb auswirken. In diesem Zusammenhang werden das Fachwissen und die Modellbildungskompetenz betrachtet. Daraus lässt sich Forschungsfrage 1 mit Bezug zur Modellbildungskompetenz (FF1, A) und zum Fachwissen (FF1, B) ableiten. Diese werden zusammen mit den Hypothesen in Tabelle 16 dargestellt.

Wie bereits oben angesprochen liefert der theoretische Hintergrund Indizien dafür, dass der Einsatz eines Reflexionsschemas den Erwerb der Modellbildungskompetenz positiv beeinflusst. Für das Fachwissen konnte ebenfalls gezeigt werden, dass in diesem Bereich ein positiver Einfluss durch Reflexions- und Diskussionsaufgaben erreicht werden kann (z.B. Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2019a). Daher lassen sich Hypothesen zur Beantwortung von Forschungsfrage 1 ableiten, die in Tabelle 16 integriert sind.

Aus den Einflussfaktoren für den schulischen Kompetenzerwerb, die in Kapitel 3.2.1 herausgestellt wurden, ergibt sich darüber hinaus eine weitere Forschungsfrage. Dabei soll erforscht werden, ob sich die Kompetenzveränderungen, die sich bei den Schüler\*innen im Verlauf der Intervention zeigen, auf die Intervention als solche oder auf persönliche Eigenschaften der Lernenden zurück führen lassen. Diesbezüglich werden kognitive (Schulleistungen in den Naturwissenschaften, Vorwissen), motivationale (Fachinteresse, naturwissenschaftliches Fähigkeits-selbstkonzept) und kompetenzbezogene Variablen (Modellkompetenz) zur Beurteilung herangezogen. Von allen Variablen werden ausgehend vom theoretischen Hintergrund positive Einflüsse auf die Veränderung der Modellbildungskompetenz (AV<sub>1</sub>) und des Fachwissens (AV<sub>2</sub>) erwartet. Forschungsfrage 2 wird mit den zugehörigen Hypothesen ebenfalls in Tabelle 16 übersichtlich dargestellt.

Tabelle 16: Übersicht über die Forschungsfragen und zugehörigen Hypothesen in Teil II

Abhängige Variable 1: Modellbildungskompetenz	Abhängige Variable 2: Fachwissen
<i>Forschungsfrage 1: Erhöht der Einsatz eines Reflexionsschemas entsprechend des Modellierungsprozesses in der Chemie ...</i>	
<i>Forschungsfrage 1,A:</i> <i>... die Modellbildungskompetenz (AV<sub>1</sub>) von Schüler*innen?</i>	<i>Forschungsfrage 1,B:</i> <i>... das Fachwissen (AV<sub>2</sub>) von Schüler*innen?</i>
<p>H<sub>0</sub><sup>A</sup>: Schüler*innen, die das Reflexionsschema entsprechend des Modellierungsprozesses in der Chemie verwenden, erfahren keinen Zuwachs im Bereich der Modellbildungskompetenz unter Kontrolle von Alter und Geschlecht.</p> <p>H<sub>1</sub><sup>A</sup>: Schüler*innen, die das Reflexionsschema entsprechend des Modellierungsprozesses in der Chemie verwenden, erfahren einen signifikanten Zuwachs im Bereich der Modellbildungskompetenz unter Kontrolle von Alter und Geschlecht.</p>	<p>H<sub>0</sub><sup>B</sup>: Schüler*innen, die das Reflexionsschema entsprechend des Modellierungsprozesses in der Chemie verwenden, erfahren keinen Zuwachs im Bereich des Fachwissens unter Kontrolle von Alter und Geschlecht.</p> <p>H<sub>1</sub><sup>B</sup>: Schüler*innen, die das Reflexionsschema entsprechend des Modellierungsprozesses in der Chemie verwenden, erfahren einen signifikanten Zuwachs im Bereich des Fachwissens unter Kontrolle von Alter und Geschlecht.</p>
<i>Forschungsfrage 2: Inwieweit wird die Veränderung ...</i>	
<i>Forschungsfrage 2,A:</i> <i>... der Modellbildungskompetenz (AV<sub>1</sub>) während der Haupteinheit durch kognitive Variablen (Schulleistungen in den Naturwissenschaften, Vorwissen), motivationale Variablen (Fachinteresse, naturwissenschaftliches Fähigkeitsselbstkonzept) und kompetenzbezogene Variablen (Modellkompetenz) vorhergesagt?</i>	<i>Forschungsfrage 2,B:</i> <i>... des Fachwissens (AV<sub>2</sub>) während der Haupteinheit durch kognitive Variablen (Schulleistungen in den Naturwissenschaften, Vorwissen), motivationale Variablen (Fachinteresse, naturwissenschaftliches Fähigkeitsselbstkonzept) und kompetenzbezogene Variablen (Modellkompetenz) vorhergesagt?</i>
<p>H<sub>0</sub><sup>A,2</sup>: Kognitive Variablen, motivationale Variablen und kompetenzbezogene Variablen sind keine signifikanten Prädiktoren für einen Zuwachs im Bereich der Modellbildungskompetenz.</p> <p>H<sub>1</sub><sup>A,2</sup>: Kognitive Variablen, motivationale Variablen und kompetenzbezogene Variablen sind signifikante Prädiktoren für einen Zuwachs im Bereich der Modellbildungskompetenz.</p>	<p>H<sub>0</sub><sup>B,2</sup>: Kognitive Variablen, motivationale Variablen und kompetenzbezogene Variablen sind keine signifikanten Prädiktoren für einen Zuwachs im Bereich des Fachwissens.</p> <p>H<sub>1</sub><sup>B,2</sup>: Kognitive Variablen, motivationale Variablen und kompetenzbezogene Variablen sind signifikante Prädiktoren für einen Zuwachs im Bereich des Fachwissens.</p>

### 3.2.3 Methodisches Vorgehen

#### Untersuchungsdesign

Zur Überprüfung der Hypothesen wird eine Interventionsstudie im quasiexperimentellen Design mit Messwiederholung durchgeführt. Die beiden Untersuchungsgruppen (Kontrollgruppe, KG, und Experimentalgruppe, EG) unterscheiden sich im Einsatz des Reflexionsschemas mit Reflexionsaufgaben, das den Modellierungsprozess begleitet. Alle weiteren Inhalte der Intervention sind identisch. Als abhängige Variablen werden zum einen die Modellbildungskompetenz ( $AV_1$ ) und zum anderen das Fachwissen ( $AV_2$ ) erfasst. Für die Modellbildungskompetenz werden die Subdimensionen *Zweck*, *Testen* und *Ändern von Modellen* erhoben, für das Fachwissen werden keine Subskalen unterteilt. Um die Entwicklung dieser Variablen über den gesamten Zeitraum der Intervention einschätzen zu können, werden die abhängigen Variablen zu drei Messzeitpunkten erhoben. Der erste Messzeitpunkt  $T=0$  liegt am Beginn der Einheit, der zweite in der Mitte der Einheit ( $T=1$ ) und der dritte ( $T=2$ ) am Ende der Einheit. Ebenfalls zu allen drei Messzeitpunkten erhoben werden ein anonymisierender Code sowie Kontrollvariablen (Alter, Geschlecht, Klassenstufe und Schulform), die zu Beginn eine Charakterisierung der Stichprobe ermöglichen. Der Code dient dazu, die Daten einer Person zu allen drei Messzeitpunkten unter der Wahrung der Anonymität zusammenzuführen. Da es in einigen Fällen zu Fehlern in den Codes kommen kann bzw. Codes bei verschiedenen Personen (z.B. Zwillingen) identisch sein können, werden darüber hinaus die Kontrollvariablen zu allen drei Zeitpunkten erhoben. Unter Einbezug dieser Kontrollvariablen kann eine Zusammengruppierung der Werte einer Person sicherer durchgeführt werden. Ergänzend zu den abhängigen Variablen, dem Code und den Kontrollvariablen werden weitere Variablen erhoben, die nach den theoretischen Ausführungen einen Einfluss auf den Fachwissens- bzw. den Kompetenzzuwachs haben können. Dazu zählen kognitive (Schulleistungen in den Naturwissenschaften, Vorwissen), motivationale (Fachinteresse, naturwissenschaftliches Fähigkeitsselbstkonzept) und kompetenzbezogene Variablen (Modellkompetenz). Diese werden nur zum Zeitpunkt  $T=0$  erfasst. Die Schulleistungen werden für alle naturwissenschaftlichen Fächer (Biologie, Chemie, Naturwissenschaften und Physik) getrennt erhoben. Für das Fachinteresse lassen sich außerdem die Subdimensionen „gefühlbezogene Valenzen“, „wertbezogene Valenzen“ und „intrinsische Orientierung“ unterscheiden. Eine Übersicht über die erhobenen Variablen zu den drei Messzeitpunkten kann Tabelle 17 im folgenden Kapitel entnommen werden.

#### Datenerhebung: Messinstrumente

Die einbezogenen Variablen werden durch eine Mischung aus bestehenden, evaluierten Tests und selbst entwickelten Items im offenen und geschlossenen Format erhoben. Dabei werden die offenen Antworten mithilfe eines Kodierleitfadens quantifiziert, sodass diese auch in die quantitative Auswertung miteinbezogen werden können. Tabelle 17 zeigt eine Übersicht über die Variablen zusammen mit den zugehörigen Quellen.

Tabelle 17: Übersicht über die Erhebungsinstrumente in Teil II

Variablen		Format	Anzahl der Items	Quelle	Erhebungszeitpunkt		
					T=0	T=1	T=2
Abhängige Variablen	Modellbildungskompetenz (AV <sub>1</sub> )	offen	3	Grünkorn et al. (2014)	X	X	X
		geschlossen	15	Engelschalt (2021)			
	Fachwissen (AV <sub>2</sub> )	offen	2	selbst entwickelt	X	X	X
		geschlossen	2	Johannsmeyer et al. (2003)			
Prädiktorvariablen	kognitiv: Schulleistungen in Naturwissenschaften	offen	4	selbst entwickelt	X		
	kognitiv: Vorwissen	halboffen	2	selbst entwickelt	X		
		geschlossen	1	selbst entwickelt			
	motivational: Fachinteresse	geschlossen	11	Bergmann (2020)	X		
	motivational: naturwissenschaftsbezogenes Fähigkeitsselbstkonzept	geschlossen	6	PISA (Frey et al., 2009)	X		
kompetenzbezogen: Modellkompetenz	offen	2	Grünkorn et al. (2014)	X			
	geschlossen	10	Engelschalt (2021)				
Kontrollvariablen	Alter	offen	1	selbst entwickelt	X	X	X
	Geschlecht	geschlossen	1	selbst entwickelt	X	X	X
	Klassenstufe	geschlossen	1	selbst entwickelt	X	X	X
	Schulform	geschlossen	1	selbst entwickelt	X	X	X
	Individueller Code	offen	1	Pöge (2008)	X	X	X

Bei den Erhebungsinstrumenten zur Modellbildungskompetenz (AV<sub>1</sub>) werden Items mit offenem und geschlossenem Format miteinander kombiniert. Die geschlossenformatigen Items sind aus der Ratingskala von Engelschalt (2021) entnommen und umfassen jeweils fünf Items pro Subdimension (*Zweck von Modellen*, *Testen von Modellen* oder *Ändern von Modellen*). Die Ratingskala weist eine 5 Punkt-Likert-Skala (1= trifft gar nicht zu/ 2=trifft wenig zu/ 3=trifft teilweise zu/ 4=trifft ziemlich zu/ 5= trifft völlig zu) auf, mit dessen Hilfe die Schüler\*innen das Zutreffen unterschiedlicher Aussagen mit Bezug zu Modellen bewerten, z.B. „Ein Modell verbindet ein Original mit theoretischen Aspekten“. Bei den drei Items mit offenem Format zur Modellbildungskompetenz (Grünkorn et al., 2014) sind die Teilnehmer\*innen aufgefordert, jeweils einen Satzanfang zu vervollständigen, der sich entweder mit dem *Zweck*, *Testen* oder *Ändern von Modellen* befasst. Der Satzanfang zum *Zweck von Modellen* lautet zum Beispiel: „Modelle dienen dazu, dass...“. Im Zusammenhang mit dem Fachwissen (AV<sub>2</sub>) wird das von Johannsmeyer et al. (2003) entwickelte Testinstrument als Kombination aus einem Item mit geschlossenem Format zum Boyle-Experiment und einem Item mit offenem Format zur Begründung der vorangegangenen Antwort eingesetzt. Im selben Stil wurden zusätzlich zwei weitere Kombinationen aus Items mit geschlossenem und offenem Format entwickelt, bei denen die Schüler\*innen zunächst im geschlossenen Format aus einer Auswahl an Beschreibungen diejenigen Versuchsaufbauten auswählen, bei denen die Gesamtmasse konstant bleibt bzw. zunimmt, und anschließend ihre Entscheidung im offenen Format begründen. Zur Einschätzung der kognitiven Fähigkeiten werden zunächst die letzten Zeugnisnoten der Schüler\*innen in den Fächern Naturwissenschaften, Biologie, Chemie und Physik im offenen Format abgefragt. Ergänzend bearbeiten die Lernenden (halb-) offene Items, die eine Einschätzung des Vorwissensniveaus der Schüler\*innen erlauben. In diesem Kontext umfasst das Vorwissen die Eigenheiten einer chemischen Reaktion, Wortgleichungen zu Verbrennungsreaktionen und die Darstellung chemischer Reaktionen im Atommodell nach DALTON. Als erste motivationale Variable wird das Fachinteresse über Items mit einer 5 Punkt-Likert-Skala (1= trifft gar nicht zu/ 2=trifft wenig zu/ 3=trifft teilweise zu/ 4=trifft ziemlich zu/ 5= trifft völlig zu) nach Bergmann (2020) erhoben. In diesem Zusammenhang können die drei Subdimensionen „gefühlsbezogene Valenzen“ (4 Items), „wertbezogene Valenzen“ (4 Items) und „intrinsische Orientierung“ (3 Items) unterschieden werden. Die sechs Items zur zweiten motivationalen Variable, dem „naturwissenschaftsbezogenen Fähigkeitsselbstkonzept“, sind dem PISA-Fundus entnommen (Frey et al., 2009) und weisen erneut eine 5 Punkt-Likert-Skala (1= trifft gar nicht zu/ 2=trifft wenig zu/ 3=trifft teilweise zu/ 4=trifft ziemlich zu/ 5= trifft völlig zu) auf. Ebenso wie die Items zur Modellbildungskompetenz werden auch die Items zur Modellkompetenz aus der Ratingskala nach Engelschalt (2021) entnommen. Hier können jeweils 5 Items den Subdimensionen *Eigenschaften von Modellen* und *Alternative Modelle* zugeordnet werden. Erneut sind die Items mit einer 5 Punkt-Likert-Skala (1= trifft gar nicht zu/ 2=trifft wenig zu/ 3=trifft teilweise zu/ 4=trifft ziemlich zu/ 5= trifft völlig zu) versehen. Auch hier entsprechen die beiden korrespondierenden Items im offenen Format wieder den zu vervollständigenden Satzanfängen nach Grünkorn et al.

(2014). Für die Kontrollvariablen werden entsprechend ihrer Beschaffenheit entweder selbst entwickelte offene Items im offenen (Alter: Trage bitte dein Alter ein.) oder geschlossenen Format (z.B. Schulform: Wähle bitte im Folgenden deine Schulform aus. *Gymnasium/ Gemeinschaftsschule/ Realschule/ Oberstufengymnasium oder Fachoberschule/ Sonstiges*) eingesetzt. Als unterstützende Variable wird ein individueller Code von den Teilnehmer\*innen abgefragt, der eine Gruppierung der Daten einer Person zu allen drei Messzeitpunkten erlaubt. Als Vorlage zum Generieren dieses Codes wird das Muster nach Pöge (2008) herangezogen. Die vollständigen Fragebögen für alle drei Messzeitpunkte können in Anhang „VII. Fragebogen I-III, Studie in Teil II“ eingesehen werden.

### Ergebnisse der Reliabilitätsanalysen

Zunächst werden die Ergebnisse der **Inter-Rater-Reliabilitäten** wiedergegeben. Zur Einschätzung der offenen Antworten fand ein Rating durch zwei Rater statt. Diese wurden beide zuvor geschult und kodierten die offenen Antworten unabhängig voneinander anhand des Kodierleitfadens (vgl. Kapitel Datenauswertung). Dabei ergaben sich gute bis sehr gute Übereinstimmungen. Die Ergebnisse werden in Tabelle 18 zusammengestellt.

Die Werte der Beurteilerübereinstimmung sind alle signifikant, reichen in ihrer Güte allerdings von fragwürdigen ( $r=.17^5$ ) bis hin zu exzellenten Übereinstimmungen ( $\kappa_w=1.00^6$ ). Für die weiteren Auswertungen wurden übereinstimmende Werte zwischen den Ratern übernommen. Im Fall unterschiedlicher Ratings fand zwischen beiden Ratern eine Konsensbildung statt, sodass auch für diese Items ein übereinstimmender Wert für die weiteren Analysen gefunden wurde. Ausgehend von dieser Quantifizierung der offenen Items können Reliabilitätsanalysen für die verschiedenen Skalen angeschlossen werden.

---

<sup>5</sup> Für das gewichtete Cohens Kappa zählen Werte zwischen .4 und .6 als mittelmäßige Übereinstimmung, Werte zwischen .6 und .75 als gute Übereinstimmung und Werte über .75 als exzellente Übereinstimmung (Cohen, 1988).

<sup>6</sup> Für die Intra-Klassen-Korrelation gelten Werte unter .5 als geringe Übereinstimmung, Werte zwischen .5 und .75 als mäßige Übereinstimmung, Werte zwischen .75 und .9 als gute Übereinstimmung sowie Werte über .7 als ausgezeichnete Übereinstimmung (Koo & Li, 2016).

Tabelle 18: Übersicht über die Ergebnisse der Inter-Rater-Reliabilitätsanalysen zu den Items mit offenem Format in Teil II, in rot dargestellt sind inakzeptable Werte

Variable	Wortlaut des Items	Interrater-Reliabilität
Fachwissen (T=0)	„Begründe bitte deine Vermutung, ob die Masse im oben beschriebenen Versuch zunimmt, gleich bleibt oder abnimmt.“	$r=.94$ , Sig. .000
	„Begründe bitte deine Auswahl, bei welchem Versuchsaufbau/ bei welchen Versuchsaufbauten die Gesamtmasse gleich bleibt.“	$r=1$ , Sig. .000
Fachwissen (T=1)	„Begründe bitte deine Vermutung, ob die Masse im oben beschriebenen Versuch zunimmt, gleich bleibt oder abnimmt.“	$r=.80$ , Sig. .000
	„Begründe bitte deine Auswahl, bei welchem Versuchsaufbau/ bei welchen Versuchsaufbauten die Gesamtmasse gleich bleibt.“	$r=.74$ , Sig. .000
Fachwissen (T=2)	„Begründe bitte deine Vermutung, ob die Masse im oben beschriebenen Versuch zunimmt, gleich bleibt oder abnimmt.“	$r=.66$ , Sig. .000
	„Begründe bitte deine Auswahl, bei welchem Versuchsaufbau/ bei welchen Versuchsaufbauten die Gesamtmasse gleich bleibt.“	$r=.77$ , Sig. .000
Vorwissen (T=0)	„Definiere den Begriff „chemische Reaktion“.“	$r=.68$ , Sig. .000
	„Gib die Wortgleichung zur Verbrennung von Magnesium an.“	$r=.80$ , Sig. .000
Modell- kompetenz (T=0)	Eigenschaften von Modellen: „Die Beziehung zwischen Modell und Original besteht darin, dass...“	$\kappa_w=.64$ , Sig. .000
	Alternative Modelle: „Mehrere Modelle zu einem Original sind sinnvoll, weil...“	$\kappa_w=.24$ , Sig. .000
Modell- bildungs- kompetenz (T=0)	Zweck von Modellen: „Modelle dienen dazu, dass...“	$\kappa_w=.51$ , Sig. .000
	Testen von Modellen: „Modelle überprüft man, indem...“	$\kappa_w=.47$ , Sig. .000
	Ändern von Modellen: „Modelle werden verändert, weil...“	$\kappa_w=.52$ , Sig. .000
Modell- bildungs- kompetenz (T=1)	Zweck von Modellen: „Modelle dienen dazu, dass...“	$\kappa_w=.68$ , Sig. .000
	Testen von Modellen: „Modelle überprüft man, indem...“	$\kappa_w=.62$ , Sig. .000
	Ändern von Modellen: „Modelle werden verändert, weil...“	$\kappa_w=.76$ , Sig. .000
Modell- bildungs- kompetenz (T=2)	Zweck von Modellen: „Modelle dienen dazu, dass...“	$\kappa_w=.64$ , Sig. .000
	Testen von Modellen: „Modelle überprüft man, indem...“	$\kappa_w=.17$ , Sig. .000
	Ändern von Modellen: „Modelle werden verändert, weil...“	$\kappa_w=.65$ , Sig. .000

Die **Reliabilitätsanalysen** zur Einschätzung der internen Konsistenzen wurden für die bestehenden Skalen sowie deren Subskalen geprüft. Für eigens entwickelte (Vor- und Fachwissen) oder zusammengefasste Skalen (z.B. Modell- und Modellbildungskompetenz: Zusammenfassung von Items mit offenem und geschlossenem Format) fand ebenfalls eine Reliabilitätsanalyse statt. Eine Übersicht über die getesteten Skalen und Subskalen mit den zugehörigen Reliabilitäten für alle drei Messzeitpunkte zeigt Tabelle 19. Die Reliabilitätswerte sowie

ausführlichere Ergebnisse können dem Anhang „X.“ Ergebnisse der Reliabilitätsanalysen“ entnommen werden. Zunächst werden die Ergebnisse für die bestehenden Skalen vorgestellt. Für das Fachinteresse als Gesamtskala zeigt sich eine exzellente interne Konsistenz (Cronbachs Alpha = .93<sup>7</sup>), die internen Konsistenzen der Subskalen „gefühlsbezogene Valenzen“, „wertbezogenen Valenzen“ und „intrinsische Orientierung“ können als gut eingeschätzt werden ( $\alpha$  = .77 bis .85). Auch das Weglassen einzelner Items würde die interne Konsistenz nicht merklich verbessern. Ausgehend davon können sowohl die Gesamtskala als auch die Subskalen in den anschließenden Analysen als solche verwendet und zur Mittelwertbildung über die entsprechenden Items herangezogen werden. Für das naturwissenschaftsbezogene Fähigkeitsselbstkonzept ergab sich ebenfalls eine exzellente Reliabilität ( $\alpha$  = .90), sodass auch in diesem Fall die Skala entsprechend weiter verwendet werden kann.

---

<sup>7</sup> Interne Konsistenzen kleiner als .5 gelten als inakzeptabel, kleiner als .6 als schlecht, kleiner .7 fragwürdig, kleiner .8 als akzeptabel, kleiner .9 als gut und größer als exzellent (Blanz, 2015).

Tabelle 19: Übersicht über die Skalen der Studie in Teil II mit zugehörigen Reliabilitäten, in rot dargestellt sind inakzeptable Werte  
 (für Skalen mit Items gemischter und offener Formate: g: Reliabilität aller Items geschlossenen Formats, g+o: Reliabilität aller Items geschlossenen und offenen Formats)

Name der Skala	Anzahl der Items	Beispielitem	Reliabilitäten		
			T=0	T=1	T=2
Fachinteresse (Gesamtskala)	14	"Mich mit Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie zu befassen, gehört zu meinen Lieblingsbeschäftigungen."	$\alpha=.93$		
Gefühlsbezogene Valenzen	5	„Wenn ich mich mit Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie beschäftige, bekomme ich gute Laune.“	$\alpha=.84$		
Wertbezogene Valenzen	5	„Das Fach Chemie ist für mich persönlich wichtig.“	$\alpha=.85$		
Intrinsische Orientierung	4	„Wenn ich mehr Zeit hätte, würde ich mich intensiver mit Themen und Fragestellungen des Faches Chemie beschäftigen.“	$\alpha=.77$		
Naturwissenschaftsbezogenes Fähigkeitsselbstkonzept (Gesamtskala)	6	„Ich glaube, dass ich anspruchsvollen Stoff im Chemieunterricht leicht lernen kann.“	$\alpha=.90$		
Modellkompetenz (Gesamtskala)	10 +2 (offen)	„Ein Modell umfasst, was Modellierer bezüglich des Originals vermuten.“	$\alpha=.88$ (g) $\alpha=.50$ (g + o)		
Eigenschaften von Modellen	5 +1 (offen)	„Ein Modell verbindet ein Original mit theoretischen Aspekten.“	$\alpha=.74$ (g) $\alpha=.27$ (g + o)		
Alternative Modelle	5 +1 (offen)	„Es gibt verschiedene Modelle, weil es verschiedene theoretische Interpretationen des Originals gibt.“	$\alpha=.78$ (g) $\alpha=.45$ (g + o)		
Vorwissen (Gesamtskala)	1 +2 (offen)	„Definiere den Begriff "chemische Reaktion".“	$\alpha=.21$ (g + o)*		
Fachwissen (Gesamtskala)	2 +2 (offen)	„Bei welchem beschriebenen Versuchsaufbau/ welchen beschriebenen Versuchsaufbauten ist die Gesamtmasse vor und nach der Reaktion gleich?“	$\alpha=.56$ (g + o)	$\alpha=.70$ (g + o)	$\alpha=.77$ (g + o)

Modellbildungskompetenz (Gesamtskala)	15 +3 (offen)	„Modelle werden getestet, indem man prüft, ob sich das Modell auf das Ausgangsobjekt anwenden lässt.“	$\alpha=.95$ (g) $\alpha=.85$ (g + o)	$\alpha=.94$ (g) $\alpha=.76$ (g + o)	$\alpha=.66$ (g) $\alpha=.70$ (g + o)
Zweck von Modellen	5 +1 (offen)	„Ein Modell dient als Forschungswerkzeug.“	$\alpha=.87$ (g) $\alpha=.74$ (g + o)	$\alpha=.82$ (g) $\alpha=.60$ (g + o)	$\alpha=.49$ (g) $\alpha=.50$ (g + o)
Testen von Modellen	5 +1 (offen)	„Modelle werden getestet, indem Hypothesen über das Original mit dem Modell überprüft werden.“	$\alpha=.85$ (g) $\alpha=.88$ (g + o)	$\alpha=.85$ (g) $\alpha=.59$ (g + o)	$\alpha=.24$ (g)** $\alpha=.28$ (g + o)
Ändern von Modellen	5 +1 (offen)	„Ein Modell wird verändert, wenn die Ergebnisse von Experimenten den Modellvorhersagen widersprechen.“	$\alpha=.88$ (g) $\alpha=.85$ (g + o)	$\alpha=.84$ (g) $\alpha=.78$ (g + o)	$\alpha=.64$ (g) $\alpha=.69$ (g + o)

\* Bei Weglassen des Items „Notiere die Wortgleichung zur Bildung von Eisenoxid aus den Elementen“ erhöht sich Cronbachs Alpha auf  $\alpha=.43$  (g+o)

\*\* Bei Weglassen des Items „4) Modelle werden getestet, indem man prüft, ob sich das Modell auf das Ausgangsobjekt anwenden lässt.“ erhöht sich Cronbachs Alpha auf  $\alpha=.35$  (g)

Nun werden die Ergebnisse der Reliabilitätsprüfung der gemischten Skalen vorgestellt. Für die Modellkompetenz und zugehörigen Subskalen zeigen sich inakzeptable bis gute interne Konsistenzen ( $\alpha = .27$  bis  $.88$ ). Dabei liegen die Reliabilitäten der Skalen mit ausschließlich Items geschlossenen Formats (wie sie bei Engelschalt (2021) verwendet wurden) stets höher ( $\alpha = .74$  bis  $.88$ ) als die der gemischten Skalen ( $\alpha = .27$  bis  $.50$ ). Für weitere Analysen werden demnach nur die Skalen mit ausschließlich Items geschlossenen Formats genutzt. Für die Modellbildungskompetenz und ihre Subdimensionen werden die Reliabilitäten der gemischten Skalen und der Skalen mit ausschließlich geschlossenen Formaten wie bei Engelschalt (2021) ermittelt. Hier zeigen die Skalen wie bei Engelschalt (2021) sehr gute bis exzellente Werte zwischen  $\alpha = .85$  und  $.95$ , unter Einbezug der Items mit offenen Formaten sinken die internen Konsistenzen leicht auf Werte zwischen  $\alpha = .74$  (*Zweck von Modellen*) und  $.88$  (*Ändern von Modellen*,  $T=0$ ). Da diese niedrigeren Werte aber weiterhin als annehmbar gelten, werden die (Sub-) Skalen mit gemischtformatigen Items für weitere Analysen als solche verwendet.

Zuletzt sollen noch die Skalen aus selbst entwickelten Items bezüglich ihrer Reliabilität eingeschätzt werden. Für das Vorwissen ergaben sich inakzeptable Werte für die interne Konsistenz ( $\alpha = .21$ ), bei Weglassen des Items zur Wortgleichung bei der Bildung von Eisenoxid steigt Cronbachs Alpha auf  $\alpha = .43$ . Aus forschungspragmatischen Gründen und zur besseren Übersichtlichkeit werden die folgenden Analysen dennoch mit der Gesamtskala (reduziert um das Item der Wortgleichung) durchgeführt. Für das Fachwissen zeigen die Ergebnisse der Reliabilitätsanalysen, dass sich die interne Konsistenz im akzeptablen Bereich bewegt ( $\alpha = .56$  ( $T=0$ ),  $\alpha = .70$  ( $T=1$ ) und  $\alpha = .77$  ( $T=2$ )), daher wird auch die Skala Fachwissen für weitere Analysen verwendet.

### Intervention

Bei der Intervention handelt es sich um eine Unterrichtseinheit für die Klassenstufe 8 zum Thema „Gesetz der Erhaltung der Masse“, die sich über vier Unterrichtsstunden á 45 Minuten erstreckt. Grundsätzlich teilt sich die Intervention in zwei Teile: eine vorbereitende Einheit (Stunde 1 und 2) und eine Haupteinheit (Stunde 3 und 4). Eine Übersicht über den Gesamttablauf der Intervention erlaubt Abbildung 31.

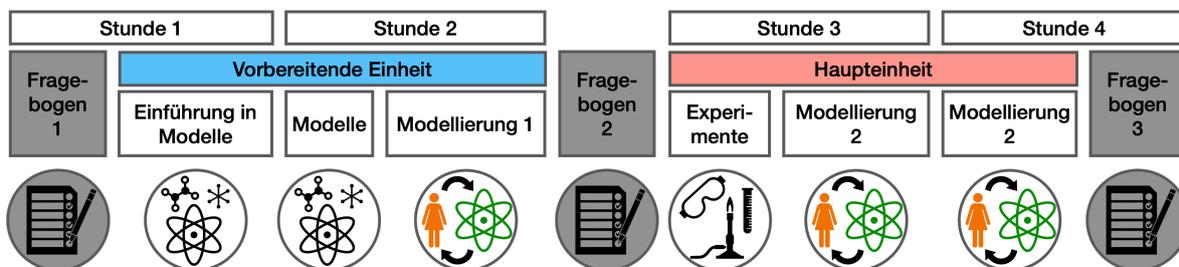


Abbildung 31: Übersicht über den Ablauf der Intervention in Teil II

Zu Beginn der Intervention in Stunde 1 bearbeiten die Lernenden den ersten Fragebogen ( $T=0$ ). Anschließend starten sie in die vorbereitende Einheit. Der Fokus dieses Teils ist es, das

Vorwissen der Schüler\*innen zu sichern. Das Vorwissen umfasst in diesem Fall nicht nur inhaltliche Kenntnisse (Eigenheiten chemischer Reaktionen, Wortgleichungen zu Verbrennungsreaktionen, Darstellung chemischer Reaktionen im Atommodell nach DALTON), sondern auch die Modellkompetenz als Voraussetzung zur Ausbildung der Modellbildungskompetenz (Schwarz et al., 2009). Die vorbereitende Einheit thematisiert demnach die beiden Subdimensionen der Modellkompetenz (*Eigenschaften von Modellen* und *Alternative Modelle*) an schülernahen Beispielen zunächst im fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch mit begleitender Präsentation und Sicherungsblatt für die Schüler\*innen (siehe Anhang „V. Materialien der Intervention in Teil II“), welches in Einzelarbeit ausgefüllt wird. Zu Beginn werden Modelle als idealisierte Repräsentationen am Beispiel von Spielzeugautos von den entsprechenden Originalen abgegrenzt und Modelle in der Chemie als Gedankenmodelle definiert. Dadurch findet eine altersgerechte Verankerung der *Eigenschaften von Modellen* auf dem zweiten Kompetenzniveau nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) statt. Im Zusammenhang mit *Alternativen Modellen* werden in der zweiten Stunde der vorbereitenden Einheit unterschiedliche Modelle des Menschen thematisiert, sodass die Schüler\*innen auf dem Kompetenzniveau III (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010) erkennen, dass es zu unterschiedlichen Fragestellungen auch unterschiedliche Modelle zum selben Objekt geben kann. Anschließend wird der Modellierungsprozess aus Teil I im Lehrervortrag vorgestellt, bevor die Schüler\*innen diesen Prozess selbst durchlaufen. So soll gesichert sein, dass die Schüler\*innen bereits mit dem methodischen Vorgehen vertraut sind (Mattes, 2010), bevor sie in der Haupteinheit den Modellierungsprozess zusammen mit chemischem Fachinhalt durchlaufen, um kognitive Kapazitäten zu schonen, die in der Haupteinheit die Förderung des Fachwissens und der Modellbildungskompetenz ermöglichen (Sweller, 1994). In diesem Teil sollen die Lernenden in Kleingruppen à zwei bis drei Personen im Rahmen eines Modellierungsprozesses herausfinden, womit ein Überraschungsei (Ü-Ei) gefüllt ist, ohne dieses zu öffnen (Jesgarz, 2022). Zur Verfügung stehen dazu das Überraschungsei mit unbekannter Füllung (fest verschlossen), zwei leere Überraschungseier, sechs mögliche Füllungen, ein Feststofftrichter und ein Spatel (vgl. Abbildung 32). Die Schüler\*innen führen zunächst ein Experiment durch (z.B. das Ü-Ei mit unbekannter Füllung schütteln und das Geräusch mit gefüllten Ü-Eiern bekannter Inhalte vergleichen), um Vermutungen aufzustellen, womit das Ei gefüllt sein könnte. Dazu zeichnen sie nachfolgend ein Modell vom Inneren des Ü-Eis. Im weiteren Verlauf führen die Schüler\*innen ein zweites Experiment durch, um den Inhalt genauer zu bestimmen. Dieses Mal nehmen sie Werkzeuge (z.B. Taschenlampe oder Waage) zu Hilfe. Die Ergebnisse dieses Experiments haben ggf. zur Folge, dass die Lernenden ihre Vermutung über den Inhalt des Ü-Eis überarbeiten müssen und damit auch das zugehörige Modell. Die begleitenden Arbeitsblätter unterscheiden sich zwischen der Experimental- und der Kontrollgruppe derart, dass in der Experimentalgruppe Aufgaben, die sich auf der Stoffebene bewegen, in Orange und solche auf der Teilchenebene in Grün umrahmt sind (Leisner, 2005). Dadurch soll der Bezug der einzelnen Schritte zu den Repräsentationsebenen der Chemie verdeutlicht werden. Außerdem beinhalteten die Arbeitsblätter der Schüler\*innen in der EG zusätzliche Reflexionsaufgaben (Upmeier zu Belzen & Krüger, 2019b). Demzufolge

wird die Sammlung an Arbeitsblättern für die vier Unterrichtsstunden als Reflexionsheft bezeichnet. Neben den vereinzelt Reflexionsaufgaben im Verlauf der Einheit bearbeiten die Schüler\*innen der EG am Ende jedes durchgeführten Modellierungsprozesses eine zusätzliche Aufgabe dazu, indem die Schüler\*innen über den Modellierungsprozess als solchen reflektieren. In diesen Aufgaben schneiden die Lernenden die einzelnen Schritte des Modellierungsprozesses aus dem Reflexionsheft aus und kleben diese in Form eines großen Modellierungsprozesses auf einem DIN A4 Papier zusammen. Dadurch wird eine bessere Visualisierung der beiden Ebenen erreicht und das Verständnis für die Übergänge vertieft. Am Ende der zweiten Unterrichtsstunde ist die vorbereitende Einheit abgeschlossen und die Lernenden bearbeiten den zweiten Fragebogen (T=1) als Hausaufgabe in Vorbereitung auf die dritte Stunde.



Abbildung 32: Materialien zu Modellierungsaufgabe mit dem Überraschungsei unbekannter Füllung in der vorbereitenden Einheit von Teil II

Die Haupteinheit der Intervention in Teil II erstreckt sich über die dritte und vierte Unterrichtsstunde und wird in Abbildung 33 als Modellierungsprozess entsprechend Teil I dargestellt. Dieser Teil der Intervention wird von den Schüler\*innen in Partnerarbeit durchgeführt und startet mit einem Experiment zur Verbrennung von Streichhölzern im offenen System (Abdampfschale). Mit der Wahl dieses Experiments wird zum einen ein alltägliches Phänomen in den Chemieunterricht integriert, um eine individuelle Relevanz (Stuckey et al., 2013) herzustellen, und zum anderen an Vorstellungen von Schüler\*innen zum Thema Verbrennungen angeknüpft werden. Diese Vorstellungen, die z.B. vom Verschwinden von Teilchen ausgehen (Horton, 2007), stimmen nicht mit wissenschaftlich akzeptierten Vorstellungen überein, erhöhen allerdings die Möglichkeit, Modelle zu generieren, die schließlich aufgrund von neuen Erkenntnissen im Verlauf der Lerneinheit falsifiziert oder verändert werden können (Caspari et al., 2018).

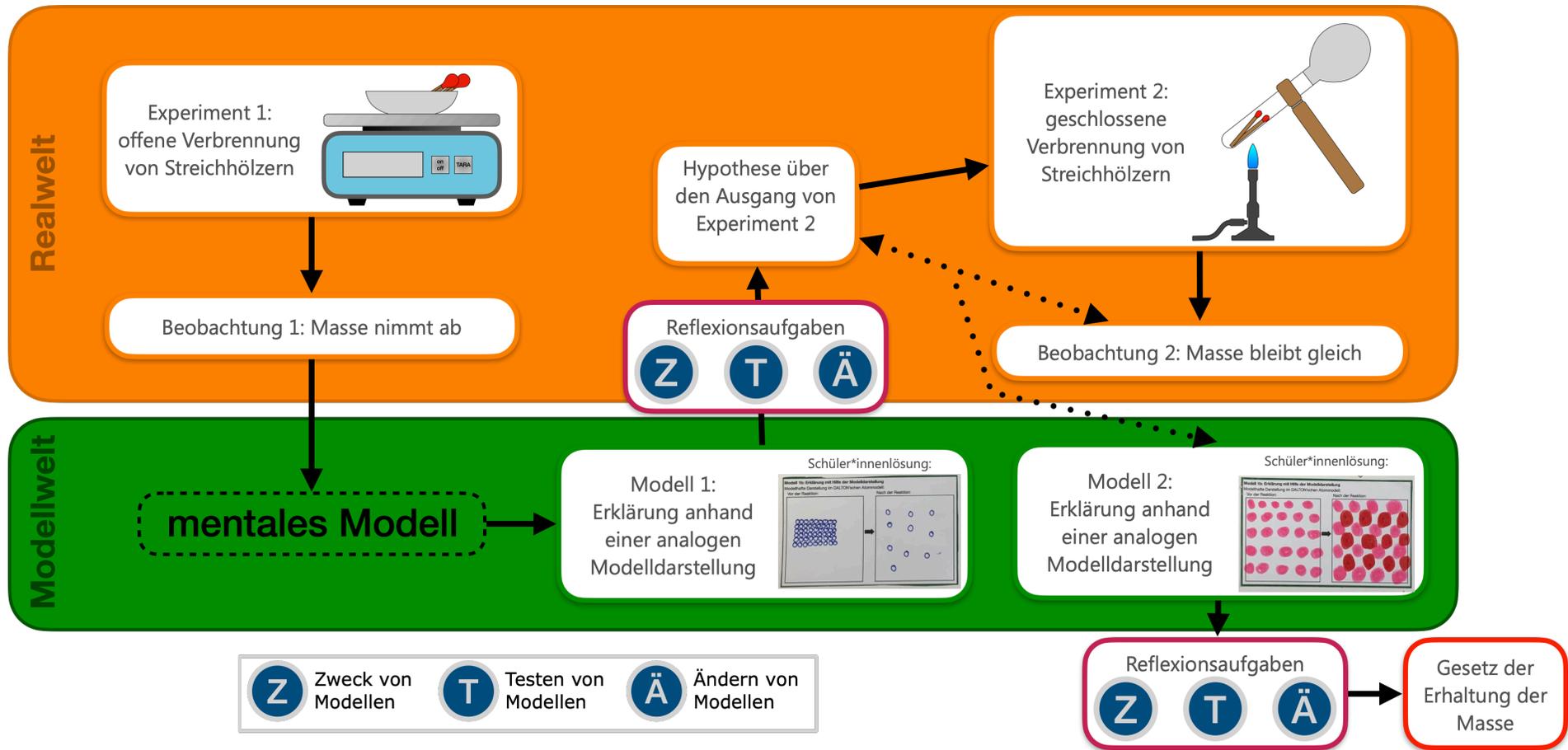


Abbildung 33: Aufgaben der Haupteinheit in Teil II verortet im Modellierungsprozess aus Teil I

Bei Experiment 1 „Verbrennung von Streichhölzern im offenen System“ stellen die Schüler\*innen eine Abdampfschale auf die Waage und tarieren. Anschließend geben sie vier Streichhölzer hinein und notieren die Masse der Streichhölzer. Vier Streichhölzer wiegen ca. 0,4 g. Die Streichhölzer werden in der Abdampfschale auf der Waage entzündet. Nachdem sie vollständig verkohlt sind, zeigt die Waage eine Masse von 0,0 g an. Im Anschluss an das Experiment ergänzen die Schüler\*innen das Versuchsprotokoll und stellen die Reaktion modellhaft im Atommodell nach DALTON durch Zeichnungen dar.

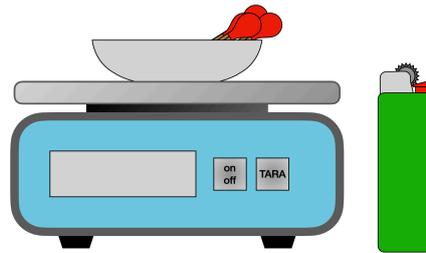


Abbildung 34: Versuchsaufbau Experiment 1

Die Schüler\*innen der Experimentalgruppe bearbeiten nach den Arbeitsaufträgen zu Experiment 1 weiterführend die folgenden drei Reflexionsfragen (in Anlehnung an Upmeyer zu Belzen und Krüger, 2019b) in schriftlicher Form:

- Erkläre, welchen Zweck das DALTON'sche Atommodell zur Erklärung einnimmt.
- Überlege dir Möglichkeiten, wie sich überprüfen lässt, ob deine notierte Modelldarstellung aus Aufgabe 1.4 ihren Zweck erfüllt.
- Überlege dir, wodurch eine Modelldarstellung verändert werden könnte/müsste.

Als Überarbeitungsanlass für das zuvor entwickelte Modell dient ein zweites Experiment (Abbildung 35). Zum Ausgang dieses Experiments sollen die Schüler\*innen zunächst Hypothesen aufstellen, nachdem sie sich die Durchführung zu Experiment 2 durchgelesen haben. Dabei sollen die Schüler\*innen die Ergebnisse des ersten Experiments sowie das zugehörige Modell beachten.

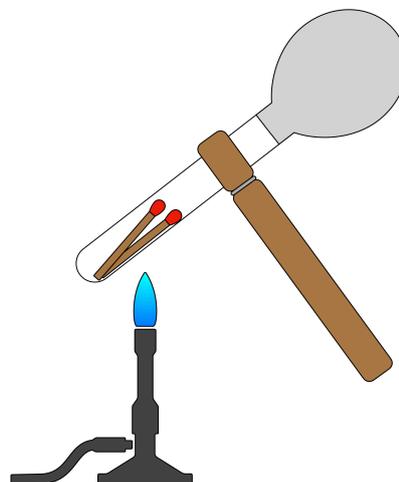


Abbildung 35: Versuchsaufbau Experiment 2

Im zweiten Experiment führen die Schüler\*innen erneut eine Verbrennung von Streichhölzern durch, in diesem Fall allerdings im geschlossenen System („Verbrennung von Streichhölzern im geschlossenen System“). Das geschlossene System wird durch ein Reagenzglas mit aufgesetztem Luftballon, der mit einem Kabelbinder befestigt ist, erzeugt. Die Lernenden bestimmen hier vor der Durchführung des Experiments die Gesamtmasse des Aufbaus. Beim Erhitzen in der rauschenden Brennerflamme entzünden sich die Streichhölzer auch im geschlossenen System, verkohlen und der Luftballon bläht sich auf. Die Gesamtmasse ist nach der Reaktion identisch zur Gesamtmasse vor dem Experiment. Nach der Vervollständigung des Versuchsprotokolls ziehen die Schüler\*innen Rückschlüsse auf ihre Hypothese und können diese falsifizieren oder als gültig annehmen. Auch hier stellen die Lernenden die an der Reaktion beteiligten Teilchen einmal vor und einmal nach der Reaktion im Atommodell nach DALTON dar. Daran schließt sich ein schriftlicher Vergleich der beiden Experimente an, der den Schüler\*innen aufzeigt, dass ausschließlich die Beschaffenheit des Systems für das unterschiedliche Verhalten in Bezug auf die Masse verantwortlich ist, nicht aber die Reaktion als solche. Diese Tatsache könnte dazu führen, dass einige Schüler\*innen ihre Modelle zu Experiment eins (Teilchen verschwinden) überarbeiten müssen. Für die Lernenden der Experimentalgruppe schließt sich daran ein Arbeitsauftrag an, der die Modellierungsschritte auf der Stoffebene und diejenigen auf der Teilchenebene noch einmal optisch voneinander trennt, um einen stärkeren Bezug zum Modellierungsprozess herzustellen. Dazu schneiden die Schüler\*innen der EG alle farbige umrandeten Teile aus dem Reflexionsheft aus und kleben diese zu einem großen Modellierungsprozess auf einem DIN A3-Blatt zusammen und beantworten anschließend erneut zwei Reflexionsfragen:

- Erkläre stichwortartig den Modellierungsprozess der Chemie anhand deiner Ergebnisse aus Aufgabe 3 (Zusammenkleben der ausgeschnittenen Arbeitsaufträge zu einem Schema).
- Erkläre, inwieweit du in dieser Einheit deine Modelldarstellung verändert hast und wie es dazu kam.

Zum Abschluss leiten alle Schüler\*innen das „Gesetz der Erhaltung der Masse“ ab und füllen den abschließenden Fragebogen aus (T=2). Eine vergleichende Übersicht über die Intervention der beiden Gruppen liefert Abbildung 36.

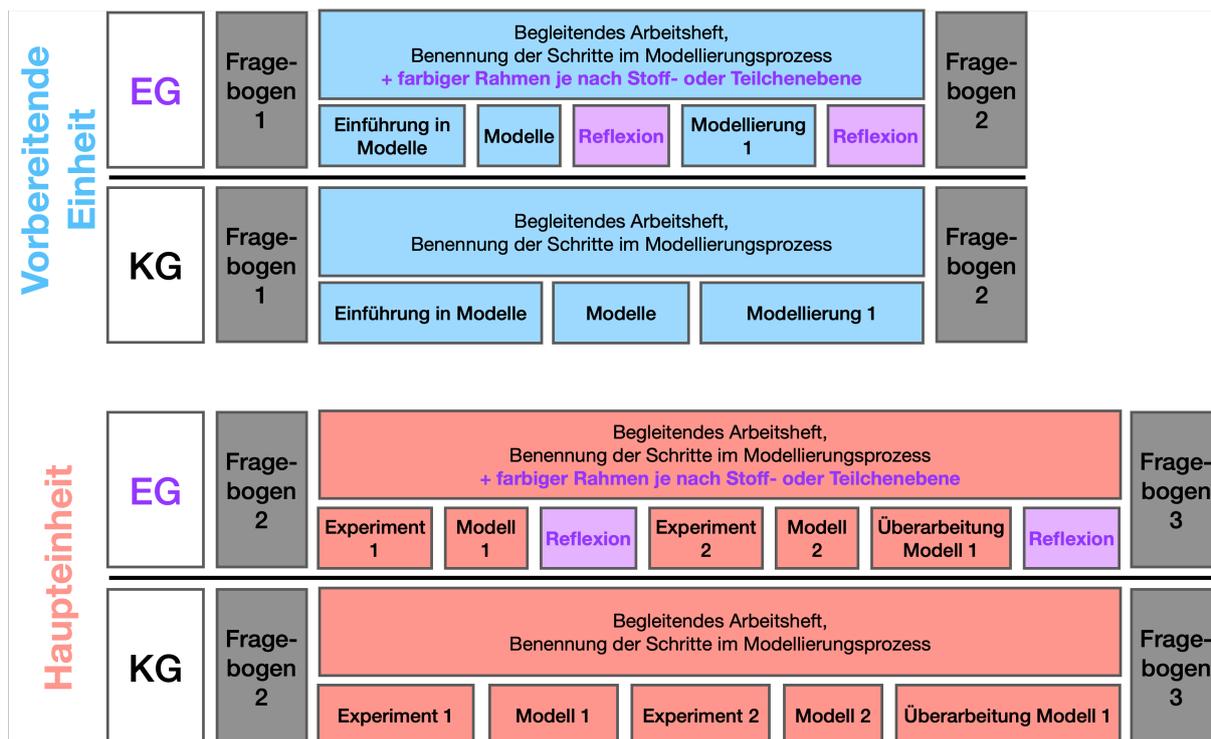


Abbildung 36: Übersicht über die Intervention in Studie 1, untergliedert nach Gruppen

### Beschreibung der Stichprobe

Die Gesamtstichprobe setzte sich aus 106 Schüler\*innen aus vier achten Klassen einer Realschule im Saarland zusammen. Es handelt sich um ein quasi-Experiment, da gesamte Klassen einer Experimentalbedingung zugeordnet werden. Zur Auswertung können nur diejenigen Schüler\*innen integriert werden, die zu allen drei Messzeitpunkten anwesend waren und deren individuelle Codes sich zweifelsfrei zuordnen ließen. So verringerte sich die Stichprobengröße auf insgesamt 40 Schüler\*innen, das entspricht nur 37.7 % der Ausgangsstichprobe. Der Drop-out war demnach bei dieser Durchführungsvariante sehr hoch. Grund dafür waren vor allem Krankheitsfälle bei den Schüler\*innen, sodass mindestens ein Fragebogen zu einem der drei Messzeitpunkte nicht ausgefüllt werden konnte, oder die Angabe von falschen oder nicht lesbaren Codes. In Drop-out Analysen konnte gezeigt werden, dass die Schüler\*innen der gültigen Stichprobe über ein signifikant höheres Vorwissen als die Schüler\*innen, die im Rahmen der Bereinigung des Datensatzes von weiteren Analysen ausgeschlossen wurden, verfügen ( $t(11,58) = -5.346, p < .001$ ). Dadurch müssen die Ergebnisse bezüglich des Vorwissens vorsichtiger interpretiert werden, da in diesem Zusammenhang die Eigenschaften einer Stichprobe abgebildet werden, die nicht der Ausgangsstichprobe entspricht. Für das Vorwissen, das Fachinteresse und das naturwissenschaftsbezogene Fähigkeitsselbstkonzept konnten zum Zeitpunkt  $T=0$  keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schüler\*innen der gültigen Stichprobe und der ausgeschlossenen Stichprobe gezeigt werden. Ebenso gilt dies für die abhängigen Variablen (Fachwissen, Modellbildungskompetenz) zu allen drei Messzeitpunkten. Alle Ergebnisse der

Drop-out Analysen können im Anhang „0. Ergebnisse der Drop out-Analysen“ eingesehen werden.

Tabelle 20: Übersicht über die Kontrollvariablen in der gültigen Stichprobe in Teil II

Gruppe	Kontrollgruppe	Experimentalgruppe	gesamt
Personenanzahl	$n=17$ (42.5 %)	$n=23$ (57.5 %)	$N=40$
Geschlecht	männlich: 5 (29.4 %) weiblich: 10 (58.8 %) divers: /	männlich: 7 (30.4 %) weiblich: 14 (60.8 %) divers: /	männlich: 12 (30 %) weiblich: 24 (60 %) divers: /
Alter	$M=14.1$ , $SD=.57$	$M=13.8$ , $SD=.68$	$M=13.9$ , $SD=.64$
Schulform	Realschule	Realschule	Realschule
Klasse	8	8	8
Naturwissenschaftsnoten	Nicht auswertbar, da offenes Format und damit Vermischung zwischen 15 Punkte-System und 6 Punkte-System		

In Tabelle 20 wird die Verteilung der Stichprobe über die beiden Gruppen dargestellt und es werden weitere Charakterisierungsmerkmale abgebildet. Die Verteilung der Teilnehmer\*innen auf die beiden Gruppen war nach dem Dropout ungefähr gleichmäßig (42.5 % zu 57.5 %). Die Verteilung zwischen den Geschlechtern in beiden Gruppen ist ähnlich, insgesamt liegt allerdings der Anteil an Schülerinnen deutlich höher (Anteil insgesamt ca. 60 %) als der an Jungen (Anteil insgesamt ca. 30 %). Aufgrund dieser Ungleichverteilung werden vor den hypothesenprüfenden Auswertungen etwaig signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen und Geschlechtern betrachtet. Das Durchschnittsalter der Schüler\*innen liegt über alle Gruppen hinweg bei ca. 14 Jahren ( $M_{\text{ges}}= 13.9$  Jahre,  $SD_{\text{ges}}= .64$ ;  $M_{\text{EG}}= 13.8$  Jahre,  $SD_{\text{EG}}= .68$ ;  $M_{\text{KG}}= 14.1$  Jahre,  $SD_{\text{KG}}= .57$ ). Die Schulform und Klassenstufe ist für alle Teilnehmer\*innen identisch, da es sich um die vier Parallelklassen einer Realschule der Klassenstufe 8 handelt. Zusätzlich werden alle vier Klassen im Chemie-Regelunterricht von derselben Lehrperson beschult. Die Schulnoten können leider nicht ausgewertet werden, da durch das offene Antwortformat kein einheitliches Punktesystem bei der Angabe verwendet wurde, sodass eine Mischung aus dem 6-Punkte-System und dem 15-Punkte-System entstanden ist. Aus diesem Grund könnte beispielsweise die Angabe 3 Punkte im 6-Punkte-System als befriedigend eingeschätzt werden, während sie im 15-Punkte-System eine mangelhafte Schulleistung attestiert. Somit waren die Schulleistungen in dieser Form nicht interpretierbar und wurden für die folgenden Analysen nicht betrachtet. Zusätzlich zu den Kontrollvariablen wurden noch Prädiktorvariablen der Kognition, Motivation und Kompetenz erhoben. Die Charakterisierung der Stichprobe bezüglich dieser Variablen wird in Tabelle 21 zusammengestellt und folgend beschrieben.

Tabelle 21: Übersicht über die Prädiktorvariablen in der Stichprobe der Studie in Teil II nach Gruppen und Geschlechtern

	KG (n=17)	EG (n=23)	Männlich (n=12)	Weiblich (n=24)	Gesamt (N=40)
Summe aller <i>Vorwissens</i> -Items (T=0), Punkte: 0-8	M= 2.41, SD= 1.62	M= 2.30, SD= 1.74	M= 2.42, SD= 1.68	M= 2.50, SD= 1.77	M= 2.71, SD= .83
Mittelwert aller <i>Fachinteresse</i> (FI)-Items (Gesamt, T=0), Skala: 1-5	M= 2.44, SD= .83	M= 2.91, SD= .79	M= 2.95, SD= .75	M= 2.74, SD= .70	M= 2.35, SD= 1.67
Mittelwert aller <i>Gefühlsbezogene Valenzen</i> -Items (FI, T=0) Skala: 1-5	M= 2.67, SD= .98	M= 3.01, SD= .84	M= 3.29, SD= .76	M= 2.92, SD= .74	M= 2.93, SD= .91
Mittelwert aller <i>Wertbezogene Valenzen</i> -Items (FI, T=0) Skala: 1-5	M= 2.69, SD= .92	M= 3.01, SD= .92	M= 3.06, SD= .77	M= 2.93, SD= .86	M= 2.87, SD= .91
Mittelwert aller <i>Intrinsische Orientierung</i> -Items (FI, T=0) Skala: 1-5	M= 1.78, SD= .73	M= 2.51, SD= .94	M= 2.36, SD= 1.05	M= 2.26, SD= .77	M= 2.20, SD= .92
Mittelwert aller <i>Fähigkeitsselbstkonzept</i> -Items (T=0) Skala: 1-5	M= 2.87, SD= .80	M= 3.24, SD= .95	M= 3.22, SD= 1.11	M= 3.04, SD= .84	M= 3.08, SD= .90
Mittelwert aller <i>Modellkompetenz</i> (MK)-Items (Gesamt, T=0), z-standardisiert <sup>8</sup>	M= .11, SD= .39	M= -1.11, SD= .81	M= -0.05, SD= .86	M= -0.01, SD= .63	M= -.02, SD= .67
Mittelwert aller <i>Eigenschaften von Modellen</i> -Items (MK, T=0) z-standardisiert <sup>8</sup>	M= .06, SD= .42	M= -.06, SD= .82	M= .01, SD= .86	M= -.02, SD= .64	M= -.01, SD= .68
Mittelwert aller <i>Alternative Modelle</i> -Items (MK, T=0) z-standardisiert <sup>8</sup>	M= .16, SD= .44	M= -.17, SD= .84	M= -.11, SD= .91	M= .01, SD= .67	M= -.03, SD= .71

In Bezug auf das Vorwissen konnten die Schüler\*innen maximal 8 Punkte erreichen. Die Mittelwerte von ca. 2.5 zeigen, dass die Stichprobe insgesamt und über die Gruppen bzw. Geschlechter ein geringes Vorwissen aufweist. Das Fachinteresse wies eine Skala von 1 bis 5 auf, sodass Mittelwerte in der Stichprobe zwischen 1.7 und 3.4 im mittleren Bereich liegen. Die „intrinsische Orientierung“ scheint in diesem Zusammenhang bei den Schüler\*innen am wenigsten ausgeprägt, da hier die Mittelwerte in allen Gruppen unter denen der „gefühl-, und „wertbezogenen Valenzen“ sowie der Gesamtskala liegen. Das „naturwissenschaftliche

<sup>8</sup> Bei diesem Wert handelt es sich um eine z-standardisierte Größe. Bei diesen Größen fand eine Mittelwertbildung zwischen Items mit offenen und geschlossenen Formaten unterschiedlicher Ranges statt, die nur nach z-Standardisierung sinnvoll möglich ist.

Fachinteresse“ liegt bei den Schülern leicht höher ( $M= 2.95, SD= .75$ ) als bei ihren weiblichen Klassenkameradinnen ( $M= 2.74, SD= .70$ ). Auch die Skala des „naturwissenschaftsbezogenen Fähigkeitsselbstkonzepts“ weist eine Range von 1 bis 5 auf, sodass auch hier die Werte der Stichprobe um 3 als zufriedenstellend anzusehen sind. Diesbezüglich liegt ebenfalls der Mittelwert der Jungen wieder höher als der der Mädchen. In diesen Zusammenhang decken sich die Befunde mit Schulleistungsstudien (z.B. Kosuch, 2010), bei denen die Motivation von Schülern im naturwissenschaftlichen Bereich höher liegt als die der Schülerinnen. Dies rührt unter anderem daher, dass Mädchen ihre Fähigkeiten in den naturwissenschaftlichen Fächern oft schlechter einschätzen als Jungen, obwohl die Fähigkeiten auf einem vergleichbaren Niveau sind (Kessels & Heyder, 2018). Dieser Sachverhalt kann auch hier gezeigt werden: Die Mädchen weisen in der Stichprobe höhere schulleitungsbezogene Werte auf. Entsprechend der Literatur (Wendt et al., 2016) liegen die Mittelwerte der Schülerinnen in den Bereichen Vorwissen ( $M_m=2.42, SD_m= 1.67/ M_w=2.50, SD_w= 1.76$ ) und Modellkompetenz ( $M_m= -.05, SD_m= .86/ M_w= -.01, SD_w= .63$ ) sowie den Subdimensionen über denen der Schüler, allerdings kann auch hier keine Signifikanz festgestellt werden. Aufgrund dessen kann auch der Umstand vernachlässigt werden, dass im bereinigten Datensatz nur halb so viele Datensätze von Jungen wie von Mädchen verwendet werden konnten.

Die Skalen der Modellkompetenz wurden zur Mittelwertbildung zwischen offenen und geschlossenen Items z-standardisiert. Dabei zeigt sich, dass die Werte der Modellkompetenz mit den beiden Subdimensionen bei der Kontrollgruppe höher liegen als bei der Experimentalgruppe, zwischen den Geschlechtern sind die Werte ähnlich. Um Gruppenunterschiede in den Stichprobencharakteristika für die weiteren Analysen auszuschließen, werden zu im Kapitel „Deskriptive Statistik und Unterschiede zu T=0“ die Ergebnisse von Varianzanalysen bezüglich der Gruppen berichtet.

### **3.2.4 Ergebnisse**

Anschließend an die Beschreibung des methodischen Vorgehens sollen nun die Ergebnisse der Erhebung in Teil II vorgestellt werden. Hierbei werden zunächst deskriptive Ergebnisse in Bezug auf die abhängigen Variablen sowie entsprechende Subdimensionen vorgestellt. Vor den weiteren Analysen zur Beurteilung der Forschungsfragen werden die Ergebnisse der Signifikanzanalysen zu Gruppen- und Geschlechtsanalysen präsentiert. Bei den hypothesenüberprüfenden Auswertungen soll ein besonderer Fokus auf der Entwicklung der abhängigen Variablen über die Zeit sowie entsprechenden Einflüssen der Prädiktorvariablen auf diese Entwicklung liegen.

#### Datenauswertung

Vor der Datenauswertung muss eine Datenbereinigung stattfinden. In diesem Schritt werden zunächst alle Datensätze eliminiert, die den Beispiel-Code anstelle eines individuellen Codes entsprechend des vorgegebenen Musters beinhalten. In den Fällen individueller Codes ist eine

Gruppierung der Daten aller drei Messzeitpunkte möglich. Die gruppierten Werte werden anschließend zu einem großen Datensatz mit allen zugeordneten Werten der drei Messzeitpunkte zusammengeführt. Falls sich ein Code zu allen drei Messzeitpunkten im Datensatz findet, können die Datenreihen der drei Messzeitpunkte einwandfrei zu einem Datensatz für die finale Auswertung zusammengefasst werden. In einigen Fällen unterscheidet sich der Code einer Person zu einem Messzeitpunkt geringfügig, sodass auf Grundlage der Kontrollvariablen die Passung angenommen oder ausgeschlossen werden kann. So können weitere Datensätze identifiziert werden. Einige Datensätze bleiben allerdings bis zuletzt unvollständig, weil sich entweder die Codes selbst unter Berücksichtigung der Kontrollvariablen nicht zweifelsfrei zuordnen lassen oder die Person zu einem Erhebungszeitpunkt nicht in der Schule anwesend war, wodurch der Datensatz von Beginn an unvollständig ist. Diese unvollständigen Datensätze werden nicht zur Auswertung herangezogen.

Im bereinigten Datensatz findet eine Quantifizierung aller offenen Items statt. Dazu wird zunächst ein Kodierleitfaden entwickelt, der bei jedem Item Kategorien mit zugehörigen Punktzahlen vorgibt. Die entsprechenden Kategorien werden in allen Fällen deduktiv gebildet. Für die Fachwissens- und Vorwissensfragen gibt es eine Musterlösung, auf dessen Grundlage jeder Schülerantwort eine Punktzahl zugeordnet wird, während für die offenen Satzanfänge zur Modell- und Modellbildungskompetenz die Niveaustufen nach Grünkorn et al. (2014) als Kodierleitfaden angewendet und anhand aufgetretener Schülerantworten ggf. induktiv ergänzt werden. Auszüge aus dem Kodiermanual werden folgend in Abbildung 37 dargestellt, das vollständige Manual befindet sich in Anhang „VIII. Kodiermanual Fragebögen, Teil II“.

**Auszug aus dem Kodiermanual**

**Seite 8: Vorwissen**

- „Definiere den Begriff „Chemische Reaktion“.“ (V\_1\_o\_0)  
 - Vorgang (1 P.)  
 - neuer Stoff mit neuen Eigenschaften entsteht (1 P.)  
 - Umgruppierung von Teilchen (1 P.)  
 → max. 3 Punkte

**Seite 11: Modellkompetenz (offen)**

„Die Beziehung zwischen Modell und Original besteht darin, dass ...“ (E\_o\_0)

Niveau I = 1 P.	Niveau II = 2 P.	Niveau III = 3 P.
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modell als Kopie (Das Modell sieht genauso aus wie das Original und gleicht ihm in allen Eigenschaften. Das Modell ist eine vergrößerte/verkleinerte Kopie des Originals.)</li> <li>- Modell mit großer Ähnlichkeit (Das Modell ähnelt dem Original in fast allen Eigenschaften. Bestimmte Eigenschaften des Originals sind vom Modellierer nicht gut umgesetzt worden oder entsprechen nicht meinen Vorstellungen.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modell ist in Teilen eine Kopie ( Das Modell gleicht nur in bestimmten Merkmalen dem Original. Andere Merkmale sind für den Modellierer nicht bekannt und können daher nicht beurteilt werden.)</li> <li>- Modell als fokussierte Darstellung (Das Modell ist vereinfacht, d. h. nur bestimmte Merkmale sind dargestellt und hervorgehoben. Andere Merkmale sind nicht gezeigt.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modell als hypothetische Darstellung (Das Modell stellt eine Idee/Hypothese über das Original dar. Eine Ähnlichkeit zwischen Original und Modell ist möglich.)</li> </ul>

Abbildung 37: Auszug aus dem Kodiermanual der Erhebung in Teil II

Auf Grundlage des Kodiermanuals findet eine Schulung von zwei Ratern statt. Diese bewerten unabhängig voneinander die Schülerantworten und ordnen individuell Kategorien mit zugehörigen Punktzahlen zu. Zur Prüfung der Beurteilerübereinstimmung wird eine Inter-Rater-Reliabilitätsprüfung durchgeführt. Die Datenauswertung wird vollständig mit IBM® SPSS® Statistics Version 27.0.0.0 realisiert. Die verwendeten Syntax-Befehle zur gesamten Auswertung können dem Anhang IX. “SPSS-Syntax zur Datenauswertung in Teil II“ entnommen werden. Bei intervallskalierten Kategorien (z.B. Items zur Modell- und Modellbildungskompetenz zur Zuordnung der Niveaustufen) wird die Einschätzung der Übereinstimmung mittels Intra-Klassenkorrelationskoeffizienten (IKK) durchgeführt, während für ordinalskalierte Kategorien Cohens Kappa Aufschluss über das Maß der Übereinstimmung gibt (Döring & Bortz, 2016). Auf Grundlage der Ergebnisse werden übereinstimmende Ratings beider Rater übernommen, während kritische Fälle händisch nachgearbeitet werden, indem zunächst eine Diskussion über die unterschiedlichen Ratings geführt, anschließend ein Konsens gebildet und dadurch ein gemeinsamer Wert in den Datensatz übernommen wird. Nach Abschluss der Kodierung und

Überprüfung der Beurteilerübereinstimmung können die Variablen zur weiteren Auswertung verwendet werden. Anschließend werden zu Beginn der Datenauswertung negativ formulierte Items umkodiert, bevor nach zufriedenstellender Reliabilitätsprüfung (vgl. Kapitel „3.2.3. Ergebnisse der Reliabilitätsanalysen“) innerhalb der Skalen Mittelwerte bzw. Summen gebildet werden. Für alle Leistungstest-Skalen (Fachwissen und Vorwissen) werden Summenvariablen gebildet. Zu den vorgegebenen Ratingskalen (Fachinteresse mit Subdimensionen, Fähigkeitsselbstkonzept, geschlossene Items der Modell- und Modellbildungskompetenz mit Subdimensionen) werden Mittelwerte gebildet. Bei der Modellbildungskompetenz sowie deren Subdimensionen sollen Mittelwerte über alle zugehörigen Items gebildet werden. Da zur Erfassung dieser Variablen sowohl Auszüge aus einer Ratingskala mit Items geschlossenen Formats der Range 1-5 wie auch Items mit offenem Format (Range 0-3) zum Einsatz kommen, muss für eine sinnhafte Mittelwertbildung zuvor eine Z-Standardisierung durchgeführt werden. Bei einer Z-Standardisierung handelt es sich um ein Verfahren, bei dem eine Datenreihe derart transformiert wird, dass sie den arithmetischen Mittelwert 0 und die Varianz bzw. Standardabweichung 1 aufweist (Diaz-Bone & Weischer, 2015). Im Anschluss daran können deskriptive Analysen durchgeführt werden. Um mögliche Kovariate für die anschließenden hypothesenprüfenden Analysen zu identifizieren, werden Varianzanalysen für beide Gruppen zu T=0 durchgeführt. Daran schließt sich eine MANOVA (ohne Kovariate) oder eine MANCOVA (unter Einbezug von Kovariaten) mit Messwiederholung an, um mögliche Interaktionseffekte zwischen der Intervention (Einsatz des Reflexionsschemas, unabhängige Variable) und dem Messzeitpunkt in Bezug auf die abhängige Variable Modellbildungskompetenz ( $AV_1$ ) mit ihren Subdimensionen aufzudecken. Für die zweite abhängige Variable, Fachwissen ( $AV_2$ ), wird eine AN(C)OVA mit Messwiederholung durchgeführt, um die aufgestellten Forschungshypothesen zu beurteilen. Mit den Ergebnissen dieser Analysen kann Forschungsfrage 1 beantwortet werden. Zuletzt werden Korrelations- und Regressionsanalysen durchgeführt, um Zusammenhänge zu erkennen. Diese Zusammenhänge geben Auskunft über die Beantwortung der Forschungsfrage 2.

#### Deskriptive Statistik und Unterschiede zu T=0

Da eine Zuordnung der Schüler\*innen zu den beiden Gruppen nicht vollständig randomisiert, sondern im Klassenverband geschah, sollen zunächst beide Gruppen vor der Intervention (T=0) auf Vergleichbarkeit hinsichtlich ihrer Anfangsbedingungen überprüft werden. Dazu werden neben Unterscheiden in der Modellbildungskompetenz und dem Fachwissen (AVs) auch Unterschiede in den Prädiktor- und Kontrollvariablen untersucht. Zu den Prädiktorvariablen zählen in diesem Zusammenhang das Vorwissen, das Fachinteresse, das naturwissenschaftsbezogene Fähigkeitsselbstkonzept und die Modellkompetenz mit ihren beiden Subskalen. Bei Alter, Geschlecht, Schulform und Klassenstufe, die als Kontrollvariablen erhoben wurden, wird folgend nur für das Geschlecht mögliche Unterschiede betrachtet, da sowohl die Klassenstufe wie auch Schulform für alle Teilnehmer\*innen identisch waren und damit einhergehend sich auch das Alter der Schüler\*innen nur minimal unterschied. Zur Identifikation von Unterschieden zu Beginn (T=0) werden für metrische Variablen  $t$ -Tests und für nominalskalierte Variablen

(Geschlecht) Chi-Quadrat-Tests durchgeführt. Vor Durchführung der  $t$ -Tests wurde durch Levene-Tests auf Varianzhomogenität geprüft, da diese Eigenschaft eine Voraussetzung für die Ausführung der Tests darstellt. Da es sich bei  $t$ -Tests allerdings um ein Verfahren handelt, welches sehr robust gegen die Verletzung von Voraussetzungen ist, kann selbst bei Varianzheterogenität von einer Zuverlässigkeit des Tests ausgegangen werden. Die Ergebnisse sowie deskriptiven Statistiken werden zur besseren Übersichtlichkeit in Tabelle 22 zusammengestellt.

Zunächst werden die Gruppen bezüglich der Geschlechterverteilung hin untersucht. Hierbei zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen,  $\chi^2(2) = 1.02$ ,  $p = .95$ . Die gesamte Stichprobe weist in Bezug auf die motivationalen Variablen (Fachinteresse und Fähigkeitsselbstkonzept) ein mittleres Niveau auf, da die Mittelwerte über beide Gruppen zwischen 2.44 und 3.24 liegen (Skala 1 bis 5). Dabei ist erkennbar, dass die entsprechenden Mittelwerte für das Fachinteresse ( $M_{EG} = 2.91$ ,  $SD_{EG} = .79$  /  $M_{KG} = 2.44$ ,  $SD_{KG} = .83$ ) und das naturwissenschaftsbezogene Fähigkeitsselbstkonzept ( $M_{EG} = 3.24$ ,  $SD_{EG} = .95$  /  $M_{KG} = 2.88$ ,  $SD_{KG} = .80$ ) bei der EG marginal höher liegen als bei der KG. Dieser Unterschied lässt sich allerdings inferenzstatistisch nicht belegen (Fachinteresse:  $t(38) = 1.81$ ,  $p = .079$  und Fähigkeitsselbstkonzept:  $t(38) = 1.28$ ,  $p = .207$ ). Aufgrund der Menge (11) an durchgeführten  $t$ -Tests für unabhängige Stichproben muss eine Alpha-Bonferoni-Adjustierung durchgeführt werden (Eid et al., 2017), sodass das Signifikanzniveau auf  $p = .05/11 \approx .0045$  fällt<sup>9</sup>. Für die schulleistungsbezogenen Variablen Vorwissen und Modellkompetenz (mit Subdimensionen) liegen die Mittelwerte der Kontrollgruppe leicht über denen der Experimentalgruppe (Vorwissen:  $M_{EG} = 2.30$ ,  $SD_{EG} = 1.74$  /  $M_{KG} = 2.41$ ,  $SD_{KG} = 1.62$ ; Modellkompetenz:  $M_{EG} = .11$ ,  $SD_{EG} = .81$  /  $M_{KG} = .11$ ,  $SD_{KG} = .39$ ), die Gruppen unterschieden sich allerdings nicht statistisch signifikant voneinander. Zuletzt werden die abhängigen Variablen zum Zeitpunkt  $T=0$  zwischen den beiden Gruppen verglichen. Bezüglich der Modellbildungskompetenz und ihren Subdimensionen sind mittlere Kompetenzbereiche zwischen  $-.19$  und  $.22$  erkennbar. Dabei liegen die Werte in der Kontrollgruppe stets höher als in der Experimentalgruppe, es kann allerdings kein signifikanter Unterschied belegt werden. Für das Fachwissen zu Beginn der Intervention liegen die Werte in beiden Gruppen mit ungefähr 0.5 erreichten Punkten von 8 möglichen Punkten sehr niedrig ( $M_{EG} = .62$ ,  $SD_{EG} = .41$  /  $M_{KG} = .55$ ,  $SD_{KG} = .40$ ). Die Gruppen unterschieden sich auch bezüglich des Fachwissens im Vortest nicht statistisch signifikant voneinander.

---

<sup>9</sup> Die Alpha-Bonferoni-Adjustierung wurde in diesem Fall durchgeführt, um die Kumulation der Alpha-Fehler bei vermehrten Analysen derselben Stichprobe zu kompensieren.

Tabelle 22. Deskriptive Statistik und Varianzanalysen bezüglich der Gruppen im Vortest von Teil II

	Unterscheidung nach Gruppen	
Geschlecht	m <sub>EG</sub> : 7 (30.4 %), w <sub>EG</sub> : 14 (60.9 %)	m <sub>KG</sub> : 5 (29.4 %), w <sub>KG</sub> : 10 (58.8 %)
	$\chi^2(2) = 1.02, p = .95, n = 40$	
Mittelwert aller <i>Fachinteresse</i> (FI)-Items (Gesamt), Skala: 1-5	$M_{EG} = 2.91, SD_{EG} = .79$	$M_{KG} = 2.44, SD_{KG} = .83$
	$t(38) = 1.81, p = .079^A$	
Mittelwert aller <i>Fähigkeitsselbstkonzept</i> -Items, Skala: 1-5	$M_{EG} = 3.24, SD_{EG} = .95$	$M_{KG} = 2.88, SD_{KG} = .80$
	$t(38) = 1.28, p = .207^A$	
Summe aller <i>Vorwissens</i> -Items, Punkte: 0-8	$M_{EG} = 2.30, SD_{EG} = 1.74$	$M_{KG} = 2.41, SD_{KG} = 1.62$
	$t(38) = -.20, p = .844^A$	
Mittelwert aller <i>Modellkompetenz</i> (MK)-Items <sup>8</sup> , z-standardisiert	$M_{EG} = -.11, SD_{EG} = .81$	$M_{KG} = .11, SD_{KG} = .39$
	$t(38) = -1.05, p = .300^A$	
Mittelwert aller <i>Eigenschaften von Modellen</i> -Items (MK) <sup>8</sup> , z-standardisiert	$M_{EG} = -.06, SD_{EG} = .83$	$M_{KG} = .06, SD_{KG} = .42$
	$t(38) = -.55, p = .583^A$	
Mittelwert aller <i>Alternative Modelle</i> -Items (MK) <sup>8</sup> , z-standardisiert	$M_{EG} = -.17, SD_{EG} = .84$	$M_{KG} = .16, SD_{KG} = .44$
	$t(38) = -1.44, p = .157^A$	
Mittelwert aller <i>Modellbildungskompetenz</i> (MBK)-Items (Gesamt, T=0) <sup>8</sup> , z-standardisiert	$M_{EG} = -.18, SD_{EG} = .86$	$M_{KG} = .21, SD_{KG} = .44$
	$t(34.25) = -1.89, p = .067^B$	
Mittelwert aller <i>Zweck von Modellen</i> -Items (MBK, T=0) <sup>8</sup> , z-standardisiert	$M_{EG} = -.19, SD_{EG} = .83$	$M_{KG} = .22, SD_{KG} = .56$
	$t(38) = -1.77, p = .085^A$	
Mittelwert aller <i>Testen von Modellen</i> -Items (MBK, T=0) <sup>8</sup> , z-standardisiert	$M_{EG} = -.18, SD_{EG} = .91$	$M_{KG} = .20, SD_{KG} = .46$
	$t(34.27) = -1.69, p = .101^B$	
Mittelwert aller <i>Ändern von Modellen</i> -Items (MBK, T=0) <sup>8</sup> , z-standardisiert	$M_{EG} = -.19, SD_{EG} = .93$	$M_{KG} = .22, SD_{KG} = .50$
	$t(38) = -1.63, p = .112^A$	
Summe aller <i>Fachwissens</i> -Items (T=0), 0-8 Punkte	$M_{EG} = .62, SD_{EG} = .41$	$M_{KG} = .55, SD_{KG} = .40$
	$t(38) = .052, p = .607^A$	

<sup>A</sup> Varianzhomogenität angenommen, da Levene-Test nicht signifikant

<sup>B</sup> Varianzheterogenität angenommen, da Levene-Test signifikant

Zusammenfassend unterscheiden sich die beiden Geschlechter in keiner der Variablen im Vortest statistisch signifikant voneinander, sodass keine Gruppenunterschiede bei den hypothesenprüfenden Auswertungen berücksichtigt werden müssen. Aus diesem Grund werden keine Kovariate in die (M)ANOVA mit Messwiederholung mit einbezogen.

## Ergebnisse zu den Fragestellungen und Hypothesen

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse mit Bezug zu den Forschungsfragen vorgestellt, indem die in Kapitel „3.2.2 Zielsetzung und Fragestellung“ formulierten Hypothesen auf ihre Gültigkeit hin überprüft werden. **Forschungsfrage 1** beschäftigt sich damit, ob sich die zeitlichen Veränderungen (T=0 bis T=2) der beiden Gruppen (EG/KG) unter Kontrolle von Alter und Geschlecht signifikant voneinander unterscheiden. Ausgehend von nicht vorhandenen Gruppenunterschieden im Geschlecht und der Tatsache, dass alle Schüler\*innen aus derselben Klassenstufe waren, war eine Kontrolle von Alter und Geschlecht nicht nötig. Um diese Forschungsfrage zu beantworten und die Hypothesen zu beurteilen, wird daher vor allem der Interaktionseffekt zwischen der Gruppe und der Zeit betrachtet. Zur besseren Übersichtlichkeit werden zunächst Ergebnisse für die abhängige Variable 1, Modellbildungskompetenz (FF1, A), berichtet und anschließend die Ergebnisse für AV<sub>2</sub>, Fachwissen (FF1, B). Vor Beschreibung der Ergebnisse werden jeweils die Hypothesen im Zusammenhang mit Forschungsfrage 1 noch einmal wiedergegeben:

Bezug zur Modellbildungskompetenz (FF 1, A):

- $H_0^A$ : Schüler\*innen, die das Reflexionsschema entsprechend des Modellierungsprozesses in der Chemie verwenden, erfahren keinen Zuwachs im Bereich der Modellbildungskompetenz unter Kontrolle von Alter und Geschlecht.
- $H_1^A$ : Schüler\*innen, die das Reflexionsschema entsprechend des Modellierungsprozesses in der Chemie verwenden, erfahren einen signifikanten Zuwachs im Bereich der Modellbildungskompetenz unter Kontrolle von Alter und Geschlecht.

Zunächst werden die deskriptiven Ergebnisse bezüglich der Modellbildungskompetenz und ihrer Subdimensionen vorgestellt, die zusammen mit den Werten des Fachwissens in Tabelle 23 zusammengestellt sind.

Tabelle 23: Deskriptive Statistik der abhängigen Variablen in Teil II von T=0 bis T=2

Variable	Zeitpunkt	KG (n=17)	EG (n=23)	Gesamt (N=40)
Mittelwert aller Modellbildungskompetenz (MBK)-Items (Gesamt) <sup>8</sup> , z-standardisiert	T=0	M= .21, SD= .44	M= -.18, SD= .86	M= -.02, SD= .73
	T=1	M= -.06, SD= .81	M= .03, SD= .63	M= -.01, SD= .70
	T=2	M= 1.17, SD= .42	M= 1.04, SD= .39	M= 1.10, SD= .40
Mittelwert aller Zweck von Modellen-Items (MBK) <sup>8</sup> , z-standardisiert	T=0	M= .22, SD= .56	M= -.19, SD= 1.74	M= -.02, SD= .75
	T=1	M= -.05, SD= .81	M= .01, SD= .65	M= -.02, SD= .71
	T=2	M= -.06, SD= .53	M= .03, SD= .53	M= .00, SD= .52
Mittelwert aller Testen von Modellen-Items (MBK) <sup>8</sup> , z-standardisiert	T=0	M= .19, SD= .46	M= -.18, SD= .91	M= -.02, SD= .77
	T=1	M= -.10, SD= .88	M= .00, SD= .69	M= -.01, SD= .77
	T=2	M= .11, SD= .45	M= -.10, SD= .49	M= -.01, SD= .48
Mittelwert aller Ändern von Modellen-Items (MBK) <sup>8</sup> , z-standardisiert	T=0	M= .22, SD= .50	M= -.19, SD= .93	M= -.01, SD= .79
	T=1	M= -.05, SD= .90	M= -.01, SD= .72	M= -.02, SD= .79
	T=2	M= .10, SD= .72	M= -.08, SD= .52	M= -.00, SD= .61
Summe aller Fachwissens-Items (T=0) 0-8 Punkte	T=0	M= .55, SD= .40	M= .62, SD= .41	M= .59, SD= .40
	T=1	M= .62, SD= .36	M= .62, SD= .41	M= .61, SD= .38
	T=2	M= .95, SD= .44	M= .86, SD= .43	M= .90, SD= .44

Im Zusammenhang mit der Modellbildungskompetenz liegen die Werte der Gesamtskala zu Zeitpunkt T=0 zwischen -.18 und .21. Dabei handelt es sich um eine mittlere Kompetenz. Für T=1 liegen die Werte knapp über oder unter .00. Davon ausgehend steigen die Werte für die MBK als Gesamtskala auf 1.04 bis 1.17. Unter den Subdimensionen verhält sich keine wie die andere. Die Werte steigen entweder von T=0 zu T=1 an und fallen dann von T=1 zu T=2 ab (z.B. *Testen von Modellen*, EG) oder es ist zunächst ein Abfall und dann ein Anstieg der Werte zu verzeichnen (z.B. *Testen von Modellen*, KG). Bei anderen Subdimensionen und Gruppen zeigt sich von T=0 bis T=2 eine stetige Zunahme der Werte (z.B. *Zweck von Modellen*, EG). Um diese Entwicklungen statistisch belegt zu erforschen, werden folgend die Ergebnisse der MANOVA mit Messwiederholung vorgestellt, um eine Grundlage zur Beurteilung der Forschungshypothesen auszubilden.

Zur Beurteilung der Hypothese wird nun der Interaktionseffekt zwischen Zeit und Gruppe berichtet. Hierbei kann kein signifikanter Zusammenhang gezeigt werden ( $F(8, 31) = 1.107$ ,  $p = .385$ , partielles  $\eta^2 = .22$ , Wilk's  $\lambda = .77$ ). Dies lässt sich ebenso für die einzelnen Variablen, Modellbildungskompetenz und Subdimensionen, erkennen. Die Werte zu den Tests auf Univariate werden in Tabelle 24 (Zeit\*ExpBed) zusammengestellt. Die zeitliche Veränderung der beiden Gruppen unterscheidet sich damit für keine der Variablen signifikant.  $H_0^A$  kann damit nicht widerlegt werden und es muss damit angenommen werden, dass es keinen signifikanten

Unterschied in der Veränderung der Modellbildungskompetenz über die Zeit bezüglich des Einsatzes des Reflexionsschemas gibt.

Tabelle 24: Tests auf Univariate, MANOVA mit Messwiederholung für Modellbildungskompetenz, Studie 1

Quelle	Maß	Typ III Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig. (p)	Partielles Eta-Quadrat
Zeit*ExpBed	MBK <sup>A</sup>	1.16	1.38	.84	1.73	.19	.04
	Z <sup>A</sup>	1.52	1.58	.97	1.94	.16	.05
	T <sup>A</sup>	1.36	1.45	.94	1.63	.21	.04
	Ae <sup>B</sup>	.95	2	.48	1.12	.32	.03
Zeit	<b>MBK<sup>A</sup></b>	<b>31.77</b>	<b>1.38</b>	<b>23.06</b>	<b>47.52</b>	<b>&lt; .01*</b>	<b>.56</b>
	Z <sup>A</sup>	.02	1.58	.01	.03	.95	< .01
	T <sup>A</sup>	.03	1.45	.02	.03	.93	< .01
	Ae <sup>B</sup>	.04	2	.02	.05	.95	< .01

MBK= Modellbildungskompetenz, Z= Zweck von Modellen, T= Testen von Modellen, Ae= Ändern von Modellen, ExpBed= Experimentalbedingung bzw. Gruppe

<sup>A</sup> Hier werden die Werte für Greenhouse-Geisser Korrektur berichtet, da der Mauchly-Test signifikant war und damit die Sphärizität als Voraussetzung für weitere Analysen nicht gegeben ist.

<sup>B</sup> Hier werden die Werte für angenommene Sphärizität berichtet, da der Mauchly-Test nicht signifikant war und damit die Sphärizität als Voraussetzung für weitere Analysen gegeben ist.

\* Dieser Wert ist auf dem Niveau 0,01 (2-seitig) signifikant.

Da beide Gruppen einer Intervention unterzogen wurden, die sich nur im Einsatz des Reflexionsschemas unterscheidet, soll nun gemittelt über beide Gruppen die Wirkung der durchgeführten Intervention über den Haupteffekt Zeit interpretiert werden. Auch diese Werte sind in Tabelle 24 (Zeit) dargestellt. An dieser Stelle ist erkennbar, dass für die Gesamtskala (MBK) ein signifikanter Einfluss der Zeit herausgestellt werden konnte (Greenhouse-Geisser-Korrektur:  $F(1,38,76) = 47.52, p < .01$ , partielles  $\eta^2 = .56$ ). Damit kann ein Haupteffekt der Zeit für die Gesamtskala Modellbildungskompetenz gezeigt werden. Für diesen Fall sollen Paarvergleiche genaueren Aufschluss für die zeitliche Veränderung der Variable geben (dargestellt in Abbildung 38). Es zeigt sich, dass sich die Werte im Verlauf der vorbereitenden Einheit (von T=0 zu T=1) nicht signifikant verändert haben ( $F(1,42.47) = .04, p = .85$ , partielles  $\eta^2 < .01$ ). Die Veränderung im Verlauf der Haupteinheit (T=1 zu T=2) kann allerdings als signifikant belegt werden ( $F(1,16.92) = 110.10, p < .01$ , partielles  $\eta^2 < .74$ ). Unter Einbezug der zuvor berichteten Mittelwerte der Modellbildungskompetenz (Tabelle 23) kann schließlich gefolgert werden, dass die Intervention der Haupteinheit bei allen Teilnehmer\*innen zu einem signifikanten Zuwachs an Modellbildungskompetenz geführt hat.

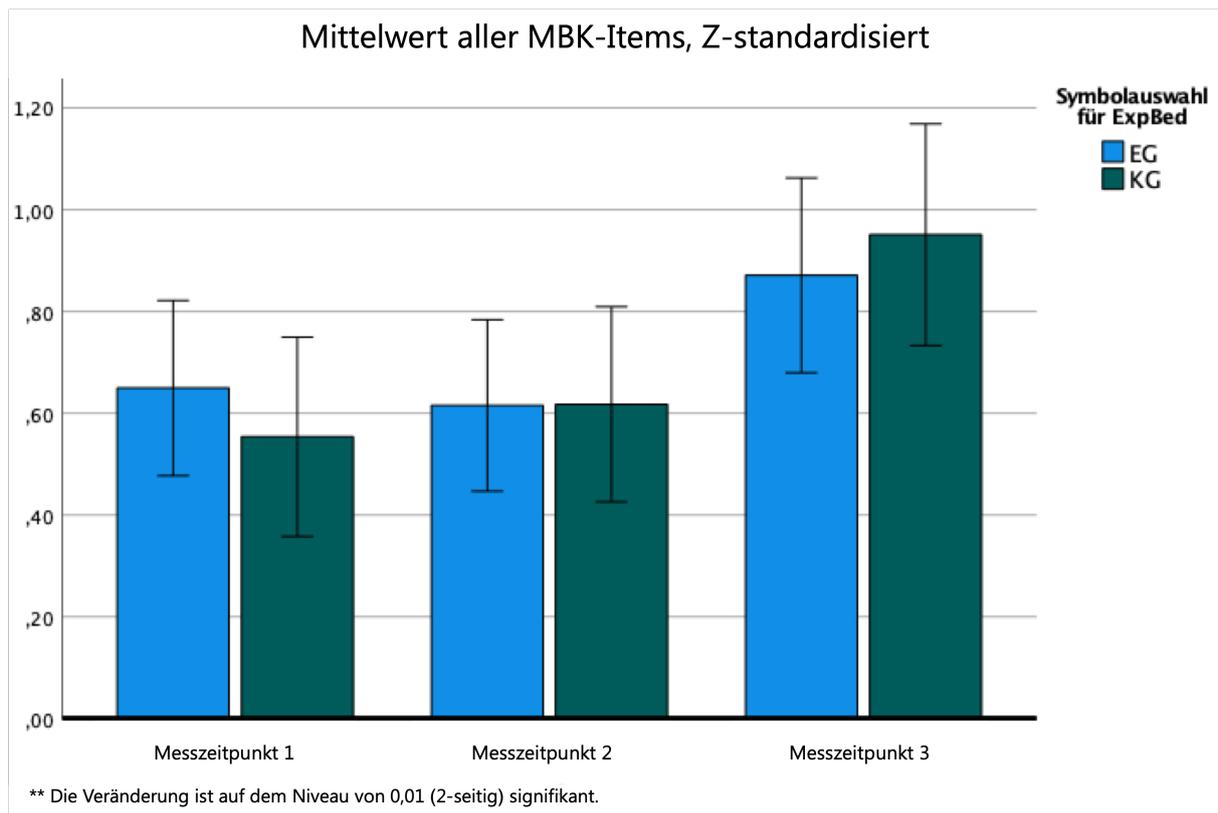


Abbildung 38: Werte der Modellbildungskompetenz zu allen drei Messzeitpunkten in Teil II

Im Anschluss daran soll nun Forschungsfrage 1 mit Bezug zum Fachwissen (FF 1, B) thematisiert werden. Dazu sind folgend erneut die aufgestellten Hypothesen notiert:

- $H_0^B$ : Schüler\*innen, die das Reflexionsschema entsprechend des Modellierungsprozesses in der Chemie verwenden, erfahren keinen Zuwachs im Bereich des Fachwissens unter Kontrolle von Alter und Geschlecht.
- $H_1^B$ : Schüler\*innen, die das Reflexionsschema entsprechend des Modellierungsprozesses in der Chemie verwenden, erfahren einen signifikanten Zuwachs im Bereich des Fachwissens unter Kontrolle von Alter und Geschlecht.

Zur Beurteilung der Hypothesen wird erneut der Interaktionseffekt zwischen Zeit und Gruppe berichtet. Hierbei kann kein signifikanter Effekt gezeigt werden ( $F(2, 36) = .47, p = .63$ , partielles  $\eta^2 = .03$ , Wilk's  $\lambda = .98$ ), sodass  $H_0^B$  nicht widerlegt wird. Demzufolge muss angenommen werden, dass der Einsatz des Reflexionsschemas keinen signifikanten Einfluss auf die Veränderung des Fachwissens über die Zeit hat.

Da beide Gruppen auch bezüglich des Fachwissens eine Intervention durchlaufen haben, die für die beiden Gruppen nur im Einsatz des Reflexionsschemas unterschiedlich ist, wird auch an dieser Stelle noch der Haupteffekt der Zeit betrachtet. Es zeigt sich, dass ein signifikanter Einfluss der Zeit vorliegt (Sphärizität angenommen, da Mauchly-Test nicht signifikant:  $F(2, 9.14) = 9.45, p < .01$ , partielles  $\eta^2 = .20$ ). Damit kann ein Haupteffekt der Zeit für das Fachwissen gezeigt werden. Um die Entwicklung über die Zeit genauer betrachten zu können,

wurden Paarvergleiche mit den Mittelwerten aller Teilnehmer\*innen durchgeführt (vgl. Abbildung 39). Dabei zeigt sich die Veränderung im Fachwissen während der vorbereitenden Einheit (von T=0 zu T=1) als nicht signifikant ( $F(1,37)=.04, p=.85, \text{partielles } \eta^2 < .01$ ), während es sich im Verlauf der Haupteinheit (T=1 zu T=2) um eine signifikante Veränderung handelt ( $F(1,7.52)= 16.37, p < .01, \text{partielles } \eta^2 < .31$ ). Unter Einbezug der zuvor berichteten Mittelwerte zum Fachwissen aus Tabelle 23 kann schließlich gefolgert werden, dass eine signifikante Steigerung des Fachwissens bei allen Teilnehmer\*innen im Verlauf der Haupteinheit stattgefunden hat.

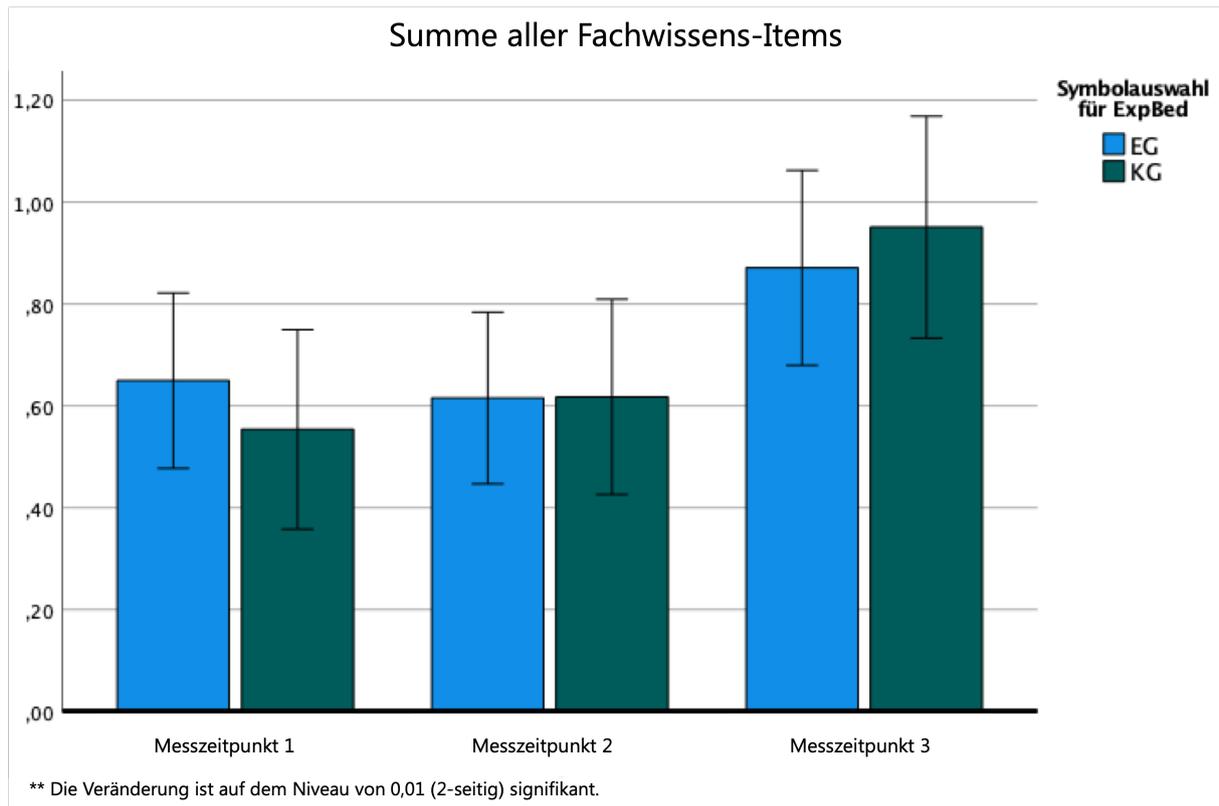


Abbildung 39: Werte des Fachwissens zu allen drei Messzeitpunkten in Teil II

Zusammenfassend zeigt sich für Forschungsfrage 1, dass sich weder die zeitliche Veränderung der Modellbildungskompetenz noch die des Fachwissens signifikant zwischen den beiden Gruppen unterscheidet. Grundsätzlich konnte allerdings über die Haupteffekte der Zeit gezeigt werden, dass die Durchführung der Haupteinheit (von T=1 zu T=2) bei allen Teilnehmer\*innen zu einem signifikanten Zuwachs an Modellbildungskompetenz und Fachwissen führte. Eine Diskussion dieser Ergebnisse findet in Kapitel 3.2.5 statt.

Neben der Beantwortung der Forschungsfrage 1 soll nun auch Bezug zu **Forschungsfrage 2** hergestellt werden. Diese beschäftigt sich mit der Frage, in welchem Umfang kognitive Variablen (Vorwissen), motivationale Variablen (Fachinteresse, naturwissenschaftliches Fähigkeitsselbstkonzept) und kompetenzbezogene Variablen (Modellkompetenz) die Varianz in der Veränderung der Modellbildungskompetenz ( $AV_1$ ) und dem Fachwissen ( $AV_2$ ) während der Haupteinheit vorhersagen. Vor der Durchführung der Regressionsanalysen wurden

Korrelationsanalysen durchgeführt, um grundlegende Zusammenhänge aufzudecken, die Voraussetzungen für Regressionen darstellen. Für die Beurteilung der Fragestellung müssen zunächst für beide abhängigen Variablen (Fachwissen und die Modellbildungskompetenz mit Subdimensionen) Differenzvariablen aus den Werten von  $T_2$  und  $T_1$  berechnet werden, um die Veränderung der Variablen während der Haupteinheit betrachten zu können. Von  $T=0$  bis  $T=1$  bearbeiten die Schüler\*innen nur die vorbereitende Einheit, die zwar für die Sicherung des Vorwissens von Belangen ist, jedoch nicht den Fokus der Förderung von Modellbildungskompetenz und Fachwissen darstellt. Weiterführende Ergebnisse der Korrelationsanalysen unabhängig von Forschungsfrage 2 zwischen den Prädiktorvariablen können Anhang „0. Korrelationsanalysen zwischen den Prädiktorvariablen in Teil III“ entnommen werden.

Zunächst werden die Ergebnisse der Korrelationsanalysen für das **Fachwissen** vorgestellt, die mögliche Zusammenhänge zwischen der Veränderung des Fachwissens während der Haupteinheit und den Prädiktorvariablen beschreiben. Tabelle 25 stellt in Form einer Korrelationsmatrix die Zusammenhänge der Differenzvariablen des Fachwissens mit der Modellbildungskompetenz sowie deren Subdimensionen zum Zeitpunkt  $T=0$ , dem Vorwissen, dem Fachinteresse, dem naturwissenschaftsbezogenen Fähigkeitsselbstkonzept und der Modellkompetenz jeweils zu Beginn dar. Die zweite kognitive Variable, die Schulleistungen, konnte aus zuvor beschriebenen Gründen nicht ausgewertet werden. In Tabelle 25 ist erkennbar, dass es für die Differenzvariable des Fachwissens keinen statistisch signifikanten Zusammenhang mit einer der Prädiktorvariablen gibt, weshalb für diese abhängige Variable keine Regressionsanalysen durchgeführt werden. Demnach kann für das Fachwissen nach den durchgeführten Analysen die Nullhypothese nicht verworfen werden, weshalb die  $H_1^A$  angenommen wird. Auch hier können die Prädiktorvariablen das Ausmaß an Veränderung im Fachwissen während der Haupteinheit nicht vorhersagen.

Tabelle 25: Korrelationsmatrix für die Differenzen (T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>) der abhängigen Variablen in Teil II

N=40	Fachwissen (T <sub>2</sub> -T <sub>1</sub> )	MBK (T <sub>2</sub> -T <sub>1</sub> )
Modellbildungskompetenz (T <sub>0</sub> )	$r = .097, p = .558$	$r = .376^*, p = .017$
Zweck von Modellen (T <sub>0</sub> )	$r = .132, p = .422$	$r = .405^{**}, p = .01$
Testen von Modellen (T <sub>0</sub> )	$r = .102, p = .536$	$r = .358^*, p = .023$
Ändern von Modellen (T <sub>0</sub> )	$r = .054, p = .745$	$r = .316^*, p = .047$
Vorwissen (T <sub>0</sub> )	$r = .073, p = .657$	$r = -.133, p = .414$
Fachinteresse (T <sub>0</sub> )	$r = -.046, p = .781$	$r = .084, p = .607$
Fähigkeitsselbstkonzept, FSK (T <sub>0</sub> )	$r = -.073, p = .660$	$r = .001, p = .997$
Modellkompetenz, MK (T <sub>0</sub> )	$r = .112, p = .496$	$r = .505^{**}, p < .01$

MBK (T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>)=Differenzvariable der Modellbildungskompetenz (T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>),

F (T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>)=Differenzvariable des Fachwissens (T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>)

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau 0,05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau 0,01 (2-seitig) signifikant.

Da sich die **Modellbildungskompetenz** aus den Subdimensionen berechnet, werden Zusammenhänge der Veränderungen der Subdimensionen im Verlauf der Haupteinheit nicht explizit betrachtet, weil sich diese auch in denen der Gesamtskala widerspiegeln. Bei der Differenzvariable der Modellbildungskompetenz (zugehörige Korrelationsmatrix ist ebenfalls in Tabelle 25 integriert) konnten neben der Modellbildungskompetenz mit ihren Subdimensionen zum Zeitpunkt T=0 auch für die Modellkompetenz zu T=0 statistisch signifikante Zusammenhänge gezeigt werden. Mit  $r = .376$  hängen die Veränderung der Modellbildungskompetenz und die Modellbildungskompetenz zu T=0 moderat positiv miteinander zusammen<sup>10</sup>. Entsprechend zeigt sich auch ein moderat positiver, statistisch signifikanter Zusammenhang ( $r = .316$  bis  $.405$ ) zwischen den Subdimensionen der Modellbildungskompetenz zu T=0 (*Zweck, Testen und Ändern von Modellen*) und der Differenzvariable der Modellbildungskompetenz. Stark positiv zeigt sich außerdem der signifikante Zusammenhang zwischen der Veränderung der Modellbildungskompetenz und der Modellkompetenz zu T=0 ( $r = .505, p < .01$ ).

Auf Grundlage der Korrelationsanalysen wird für die Entwicklung der Modellbildungskompetenz (in Form der Differenzvariable der MBK T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>) ausschließlich der Einfluss der Modellbildungskompetenz mit Subdimensionen zu T=0 sowie der Modellkompetenz zu T=0 in die Regressionsanalysen mit einbezogen. Das Modell der multiplen linearen Regressionen weist für diesen Fall mit  $R^2 = .130$  (korrigiertes  $R^2 = -.002$ ) eine geringe Anpassungsgüte auf (Cohen, 1988). Die Prädiktoren „Modellkompetenz zum Zeitpunkt T=0“, „Modellbildungskompetenz zum Zeitpunkt T=0“, „Zweck von Modellen zum Zeitpunkt T=0“, „Testen von Modellen zum Zeitpunkt T=0“ und „Ändern von Modellen zum Zeitpunkt T=0“ sagen damit die Veränderung

<sup>10</sup> Bei Werten um .10 spricht man von kleinen Zusammenhängen, bei ca. .25 von mittleren und über .4 gilt der Zusammenhang als stark (Cohen, 1988).

der Modellbildungskompetenz von T=1 zu T=2 nicht statistisch signifikant voraus [ $F(5,33) = .989, p = .440$ ]. Ausgehend von den soeben dargestellten Ergebnissen zu Zusammenhängen, kann die zweite Forschungsfrage beurteilt werden. Für die Modellbildungskompetenz lässt sich damit die Varianz in der Veränderung der Modellbildungskompetenz während der Haupteinheit nicht durch die Prädiktorvariablen erklären. Daher kann die entsprechende Nullhypothese nicht verworfen werden und demnach mit  $H_1^A$  angenommen werden.

Im Anschluss an die Beschreibung der Ergebnisse werden diese nun im folgenden Kapitel diskutiert und Handlungsoptionen für Teil III des Forschungsvorhabens abgeleitet.

### 3.2.5 Diskussion

Die Ergebnisse der Studie in Teil II haben gezeigt, dass einige der Hypothesen verworfen, andere beibehalten wurden. Dieses Kapitel soll nun die Ergebnisse beleuchten und vor dem Hintergrund einschlägiger Literatur reflektieren. Zu Beginn werden die Erhebungsmethoden beurteilt, bevor Aspekte der Fragestellungen fokussiert und zuletzt die hypothesenprüfenden Verfahren und Ergebnisse näher beleuchtet werden.

#### Förderung der Modellbildungskompetenz und des Fachwissens durch den Einsatz eines Reflexionsschemas

Im Folgenden werden die grundlegenden Ergebnisse der Studie in Thesen zusammengefasst und nacheinander diskutiert.

*Der Einsatz des Reflexionsschemas hatte keinen Mehrwert im Vergleich zur konventionellen Beschulung mit Arbeitsblättern.*

Dieses Ergebnis lässt sich aus der Literatur heraus nicht zweifellos erklären. Die Erhebungen, welche an Reflexionsschemata orientierte Lernverläufe integrierten, waren meist Interventionsstudien im Ein-Gruppen-Design. Es konnte in diesen Fällen gezeigt werden, dass ein Kompetenzzuwachs erfolgt ist, allerdings wurden nie adäquate Lehr-Lern-Settings des Regelunterrichts gegenübergestellt. Fleige et al. (2012) konnten in ihrer Interventionsstudie beispielweise zeigen, dass der Einsatz des Reflexionsschemas im Rahmen einer Lehrkräftefortbildung eine Kompetenzverschiebung hin zu Niveau III (Niveaus 0 bis III sind möglich) bewirkte. Die Autor\*innen betonen allerdings auch, dass ausgiebige Reflexionsphasen dem Kompetenzzuwachs zuträglich waren. An dieser Stelle liegt wohl ein erster Schwachpunkt der Vergleichbarkeit beider Gruppen in der hier durchgeführten Interventionsstudie im Zwei-Gruppen-Design: Beide Gruppen wurden zwar inhaltlich gleich beschult, die Schüler\*innen der Experimentalgruppe bearbeiteten allerdings zusätzlich zu den fachlichen Inhalten noch Reflexionsaufgaben in derselben Zeit wie die Kontrollgruppe. Daher blieb wenig Zeit für eine intensive kognitive Auseinandersetzung mit den Reflexionsaufgaben, sodass der möglicherweise vorhandene Mehrwert des Einsatzes eines Reflexionsschemas durch die zeitliche Knappheit nivelliert worden sein könnte. Auch beim Einsatz des Reflexionsschemas im Chemieunterricht der

Einführungsphase der gymnasialen Oberstufe (Caspari et al., 2018) ergab der Einsatz des Reflexionsschemas im Ein-Gruppen-Design eine Steigerung der modellmethodischen Kompetenz. In diesem Zusammenhang betonen die Autorinnen, dass vor allem die Anknüpfung an Alltagsvorstellungen bei den Schüler\*innen sehr wichtig für die Entwicklung der Modellbildungskompetenz ist. In der durchgeführten Intervention in Teil II bildete zwar ein lebensnahes Experiment (Verbrennung von Streichhölzern) den Einstieg in die Haupteinheit, dennoch fand nur wenig kognitive Aktivierung in diesem Zusammenhang statt, sodass womöglich nur ein kleiner Teil der Schüler\*innen tatsächlich den Bezug von dem Experiment zu ihren alltäglichen Vorstellungen herstellen konnte. Aus diesen beiden Aspekten heraus lassen sich bereits einige Ansätze zur Überarbeitung der Intervention ableiten: Zum einen muss die Orientierung an Schülervorstellungen verbessert werden, um das *Ändern von Modellen* weiter zu forcieren. Zum anderen muss in der Lerneinheit mehr Zeit für Reflexions- und Diskussionsphasen (Schermer, 2018), die neben den entwickelten Modellen auch die Schülervorstellungen in den Fokus nehmen, eingeplant werden (Petermann et al., 2008). Durch eine zeitliche Entschlackung soll es den Schüler\*innen möglich werden, die Arbeitsaufträge gewissenhafter zu bearbeiten. Vor allem in der Experimentalgruppe war an den bearbeiteten Reflexionsheften deutlich erkennbar, dass in einigen Fällen die Auseinandersetzung mit den Arbeitsaufträgen nicht in zufriedenstellendem Maße stattgefunden hat, wie die Abbildung 40 zeigt.

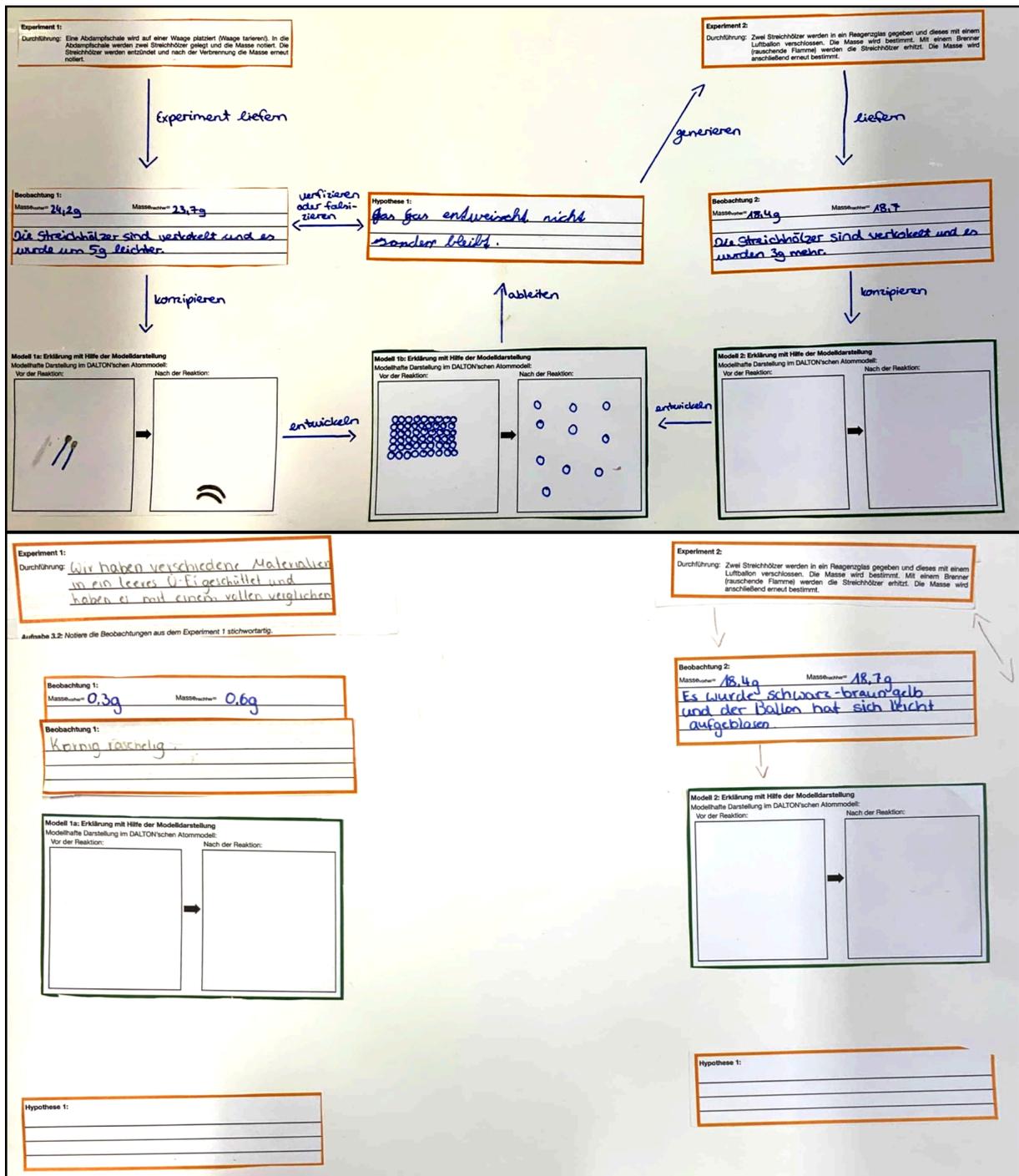


Abbildung 40: Von Schüler\*innen zusammengestellte Plakate zur Haupteinheit in Teil II, oben: gewissenhafte Bearbeitung, unten: unzureichende Bearbeitung

Die Reflexionsaufgaben beinhalteten eine Aufgabe auf Metaebene, bei der die Schüler\*innen auf Grundlage des durchgeführten Kreislaufs Modellierungsprozesse allgemein erklären sollten. Dazu mussten die einzelnen Schritte aus dem Reflexionsheft ausgeschnitten und zu einem Schema (wie in Abbildung 40 dargestellt) zusammengeklebt werden. Diese Aufgabe konnte von vielen Schüler\*innen aus Zeitgründen gar nicht mehr bearbeitet werden oder wurde nur chaotisch oder leichtfertig bearbeitet (vgl. Abbildung 40, unten). In diesem Zusammenhang

zeigte sich bei vielen Gruppen eine mangelnde Strukturierung, die den Lernprozess behindert haben kann (Meyer, 2004).

*Die abhängigen Variablen zeigen einen signifikanten Zuwachs im Verlauf der Haupteinheit (T=1 zu T=2), aber nicht im Verlauf der vorbereitenden Einheit (T=0 zu T=1).*

Eine zeitliche Entschlackung wie oben angesprochen wird innerhalb der Intervention möglich, indem Teile eingekürzt werden. Aufgrund der zeitlichen Entwicklung der abhängigen Variablen wird deutlich, dass der Kompetenzzuwachs im Verlauf der vorbereitenden Einheit (Veränderung von T=0 zu T=1) als nicht zufriedenstellend bewertet werden kann. Hier konnten keine signifikanten Veränderungen belegt werden. Aus diesem Grund wird die zeitliche Umschichtung v.a. durch die Kürzung der vorbereitenden Einheit möglich. Die vorbereitende Einheit muss weiterhin die Aspekte der Modellkompetenz sichern, da diese für den Auf- und Ausbau der Modellbildungskompetenz unerlässlich sind (Meisert, 2008) und die Ergebnisse der Erhebung in Teil II gezeigt haben, dass ein Teil der Varianz im Kompetenzzuwachs der Modellbildungskompetenz durch die Modellkompetenz beeinflusst wird.

Aus oben genannten Gründen bleiben die einführenden Aufgaben zu *Eigenschaften von Modellen* und *Alternativen Modellen* erhalten, die einführende Modellierungsaufgabe mit dem Überraschungsei hingegen wird in Teil III entfallen. Es hat sich im Verlauf der Einheit gezeigt, dass die Schüler\*innen durch die geführte Struktur der Intervention kaum Schwierigkeiten beim Durchlaufen des Modellierungsprozesses aufweisen. Daher ist eine methodische Vorübung in diesem Kontext nicht zwingend erforderlich. Vielmehr erwies sich dieser Modellierungsprozess unter mehreren Gesichtspunkten als kontraproduktiv. Zunächst verbrachten die Schüler\*innen viel mehr Zeit mit der experimentellen Überprüfung des Ü-Ei-Inhalts als mit der zugehörigen Modellbildung, da die Schüler\*innen in der experimentellen Handhabe zu ungeübt waren, sodass häufig Füllstoffe verschüttet wurden oder Materialien auf dem Boden landeten, die (v.a. bei Mehl mit erheblichem Aufwand) beseitigt werden mussten. Dadurch kam es zu einer überfordernden Situation, in der die geforderten manuellen und kognitiven Kompetenzen nicht auf entsprechendem Niveau abgerufen werden konnten, sodass der Lernerfolg in dieser Situation gering ausfiel (Haag et al., 2018). Darüber hinaus weist das Ü-Ei-Problem auch aus fachdidaktischer Perspektive Schwachstellen auf: Der Hauptkritikpunkt an dieser Modellierungsaufgabe beschäftigt sich mit den Grundzügen der Chemie. Zu Beginn dieser Ausarbeitung wurde betont, dass sich die Chemie (v.a. im Unterschied zur Biologie) auf drei Ebenen repräsentieren lässt: der Stoff-, Teilchen und Symbolebene (Johnstone, 1993). Modelle in der Chemie bewegen sich dabei immer auf der submikroskopischen Ebene, Experimente stets auf makroskopischer Ebene und Erklärungen beziehen häufig noch Aspekte der Symbolebene mit ein. In der Chemie ist es daher beim Arbeiten mit Modellen umso wichtiger, die Übergänge zwischen diesen Ebenen zu explizieren (Abels et al., 2018), genauso wie es durch die Farbgebung des Modellierungsprozesses aus Teil I impliziert wird. Nun wird bei der Aufgabe zum Überraschungsei ein Modell gezeichnet, welches die Füllung im Inneren darstellt. Das Modell bildet

also demnach weiterhin ein Objekt auf der makroskopischen Ebene ab. Dadurch findet kein Wechsel der Ebenen statt, wie es für die Chemie beim Arbeiten mit Modellen charakteristisch ist. Aus diesem Grund werden hier ungewollt Stoff- und Modellvorstellungen der Schüler\*innen durch diese ungünstige Zweideutigkeit des Modellbegriffs miteinander vermischt. Dies kann v.a. im Anfangsunterricht zu Lernschwierigkeiten führen (Petermann et al., 2008). Demzufolge wird der Modellierungsprozess im Zusammenhang mit dem Überraschungsei für Teil III vollständig aus der Intervention gestrichen und in diesem Zuge mehr Raum für Reflexionsprozesse und saubere Modelldarstellungen geschaffen.

*Die Prädiktorvariablen stehen zwar teilweise in einem statistisch signifikanten Zusammenhang mit der Veränderung der Modellbildungskompetenz im Verlauf der Haupteinheit, jedoch können sie diese nicht statistisch signifikant voraussagen.*

In der Literatur haben sich starke Einflüsse der Prädiktorvariablen auf den Kompetenzerwerb und Fachwissenszuwachs gezeigt. Krapp et al. (1993) konnten beispielsweise in ihrer Metaanalyse eine Durchschnittskorrelation von .30 zwischen Fachinteresse und Schulleistungen zeigen. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens konnte für das hier gewählte Fachinteresse dieser Zusammenhang nicht reproduziert werden. Ebenso verhält es sich mit dem Zusammenhang zwischen dem Vorwissen und der Veränderung der abhängigen Variablen, Modellbildungskompetenz und Fachwissen. Dochy et al. (1999) wiesen beispielsweise in ihrem Literaturreview nach, dass Vorwissen meistens einen positiven Einfluss auf die Lernleistung hat, fanden bei negativen und nicht vorhandenen Zusammenhängen allerdings heraus, dass in diesen Fällen häufig das Erhebungsinstrument qualitativ unzureichend war. Im Fall dieses Forschungsvorhabens könnte dies eine mögliche Erklärung für den ausbleibenden Zusammenhang zwischen dem Vorwissen und den Werten des Fachwissens und der Modellbildungskompetenz sein. Schließlich erwies sich die Reliabilität der Vorwissens-Skala als inakzeptabel, welche sich zwar durch Weglassen eines Items auf  $\alpha=.43$  verbesserte, die Skala umfasste anschließend allerdings nur noch zwei Items. Der Zusammenhang zwischen dem Fähigkeitsselbstkonzept und den Leistungen in Modellbildungskompetenz und Fachwissen (Hattie, 2009, 2012) konnte ebenfalls nicht belegt werden. Schilling et al. (2005) geben an, dass auftretende Zusammenhänge zwischen den schulischen Leistungen und Fähigkeitsselbstkonzept umso größer sind, je bereichsspezifischer das Selbstkonzept ausgeprägt ist. In der hier durchgeführten Studie wurde eine naturwissenschaftsbezogene Skala nach Frey et al. (2009) gewählt. Der Bereich Naturwissenschaften könnte für die Modellbildung in der Chemie zu weit gefasst gewesen sein. Aufgrund der fehlenden Korrelationen konnten entsprechend keine Regressionen in Bezug auf diese Variablen gezeigt werden.

### Limitationen

In diesem Abschnitt werden Limitationen der durchgeführten Untersuchung diskutiert. Zunächst werden die Erhebungsinstrumente reflektiert, auf denen die gesamte

Argumentationslinie von Teil II basiert. In diesem Fall wurden die Skalen für das Fachinteresse, das naturwissenschaftsbezogene Fähigkeitsselbstkonzept sowie die Modell- und Modellbildungskompetenz von den Autor\*innen unverändert übernommen. Jedoch stellt sich beim wörtlichen Einsatz vorgefertigter Items immer die Frage nach der optimalen Passung zur adressierten Zielgruppe. Dabei haben sich die verwendeten Items im offenen Format bei anderen Autor\*innen als passend zur Erfassung des Kompetenzniveaus erwiesen (z.B. Caspari et al., 2018; Grünkorn et al., 2014; Koch et al., 2015; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2019b). Dies liegt zum einen daran, dass bei qualitativen Erhebungsmethoden die Rekonstruktion des Schülerwissens bei sorgfältiger Bearbeitung explizit möglich ist (Przywarra & Risch, 2019), und zum anderen an der Ermangelung evaluierter und erprobter Ratingskalen für genau diese Kompetenzdimensionen. Da nun nach der Arbeit von Engelschalt (2021) eine evaluierte Skala vorliegt, die quantitative Auswertungen erlaubt, welche in diesem Forschungsvorhaben zum Testen der Hypothesen angestrebt wurden, konnte auf den Einsatz der Ratingskala nicht verzichtet werden. Zusätzlich sollten Items im offenen Format eingesetzt werden, um wie zuvor beschrieben, die vielfach angewendeten Instrumente zur Einschätzung des Kompetenzniveaus zu integrieren.

Neben der Frage nach der Passung zu Zielgruppe und Forschungsvorhaben müssen die eingesetzten Erhebungsinstrumente auch den Testgütekriterien entsprechen. Für Instrumente aus bestehenden Ratingskalen kann grundsätzlich durch abgeschlossene Analysen der Gütekriterien durch die Autor\*innen von einer guten Qualität ausgegangen werden. Ein großer Kritikpunkt an der hier durchgeführten Erhebung stellt die Reliabilität dar. Für einige Skalen zeigten sich teilweise inakzeptable Reliabilitäten (*Eigenschaften von Modellen*:  $\alpha = .27$  für Skala mit gemischten Formaten). Bezüglich des Vorwissens ergab sich eine unzureichende interne Konsistenz ( $\alpha = .21$ ), die sich bei Weglassen des Items zur Wortgleichung der Bildung von Eisenoxid auf  $\alpha = .43$  verbesserte. Aus diesem Grund werden alle Items dieser Skala mit besonderer Betrachtung des Items zur Wortgleichung eine Überarbeitung für die Erhebung in Teil III erhalten. Für alle weiteren Skalen zeigten sich zufriedenstellende bis exzellente Reliabilitäten. Für die selbst entwickelte Skala Fachwissen lag die Reliabilität mit  $\alpha = .56$  im akzeptablen Bereich. In Bezug auf die Modell- und Modellbildungskompetenz mit ihren Subdimensionen zeigten sich in der durchgeführten Erhebung für die Skalen mit ausschließlich Items geschlossenen Formats ( $\alpha = .74$  bis  $\alpha = .95$ ) sogar minimal höhere Werte als in den Analysen von Engelschalt (2021;  $\alpha = .58$  bis  $\alpha = .82$ ). Der hier gefundene Wert für die Reliabilität der Gesamtskala Fachinteresse ( $\alpha = .92$ ) deckt sich sehr genau mit den von Bergmann (2020) erhobenen Werten mit internen Konsistenzen je nach Alter der Schüler\*innen zwischen .89 und .92. Für das Fähigkeitsselbstkonzept konnte exakt der Literaturwert von Frey et al. (2009) erreicht werden: Die Auswertung in Teil II ergab ebenso wie bei den Autor\*innen eine interne Konsistenz von  $\alpha = .90$ .

Darüber hinaus wird nun die Erhebung unter Aspekten der Validität reflektiert. In Bezug auf die Inhaltsvalidität waren die Skalen des Vorwissens exakt auf das benötigte Vorwissen zur erfolgreichen Bearbeitung der Einheit abgestimmt. Daher decken diese Items eine große Bandbreite des Wissens von Schüler\*innen ab. Dieser Aspekt spielt wiederum in die gefundene

inakzeptable Reliabilität mit hinein, da es dadurch zunehmend schwieriger wird, alle Items einem übergeordneten Konstrukt zuzuordnen. Dennoch kann im Zusammenhang mit der Validität ein erneuter Abgleich zwischen den Lernzielen der Intervention und dem notwendigen Vorwissen die Passung der erfassenden Items überprüft werden, sodass die Inhaltsvalidität auf ein höheres Niveau ansteigt. Das letzte zu betrachtende Gütekriterium ist die Objektivität. Hierbei kann zunächst zwischen der Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsobjektivität unterschieden werden (Rammstedt, 2010). Bei der Durchführungsobjektivität wurde im Verlauf der Erhebungen stets auf dieselbe Instruktion und Vermeidung von beeinflussenden Hilfestellungen geachtet. Zur höheren Auswertungsobjektivität trug die Verwendung vieler Items mit geschlossenem Format sowie die Kodierung anhand eines Kodiermanuals bei. Dadurch konnte die Kodierung der Schüler\*innenantworten kriteriengestützt erfolgen (Moosbrugger & Kelava, 2020). In Bezug auf die Interpretationsobjektivität wurden vor Beginn der Auswertung zunächst literaturbasiert Hypothesen aufgestellt, sodass freie Interpretationen ausgeschlossen werden konnten. Ausgehend von dieser Beurteilung der Gütekriterien kann unter Durchführung kleiner Verbesserungen die statistische Erhebung in ihren Grundzügen für Studie II beibehalten werden.

Ein weiterer Kritikpunkt der Erhebung kann auch mit der Beschaffenheit der zu fördernden Kompetenz zusammenhängen: In der Lerneinheit soll die Modellbildungskompetenz als situationsübergreifende Kompetenz ausgebildet werden. Dabei soll die Situationsspezifität zu Gunsten einer übertragbaren Kompetenz in den Hintergrund rücken, um die Anwendbarkeit in diversen Situationen mit Bezug zu Modellen zu ermöglichen. Die durchgeführte Erhebung berücksichtigt allerdings in ihren Items zur Modellbildung ausschließlich Kontexte, die dem Lernkontext entsprechen. Eine Transferierbarkeit auf weitere, verwandte Modellierungskontexte wird demnach nicht abgeprüft. Für diesen Bereich existieren keine evaluierten Items, sodass an dieser Stelle selbst Items entwickelt werden müssten. Darüber hinaus soll mit der Modellbildungskompetenz neben der Situationsabhängigkeit auch eine zeitlich überdauernde Kompetenz entwickelt werden. Um dieser zeitlichen Überdauerung Rechnung zu tragen, könnten beispielsweise follow-up-Tests in die Erhebung integriert werden. Da sich indessen aber der Drop-Out im Verlauf der drei Messzeitpunkte schon so immens dargestellt hat, wurde auf diese Erhebung verzichtet, um eine möglichst große Stichprobengröße zu sichern. Damit einhergehend ist eine weitere Schwachstelle der Erhebung in Teil II sicherlich der kleine Stichprobenumfang. Mit insgesamt  $N=40$  Teilnehmer\*innen und einer Aufteilung auf die Gruppen mit  $n=23$  bzw.  $n=17$  Schüler\*innen war der Datensatz zu klein, um verallgemeinernde Ergebnisse mit großem Bedeutungsumfang ableiten zu können. Grund dafür war vor allem der große Drop-Out, der sich auf 56.6 % belief. Diese Reduktion des Datensatzes kam vor allem dadurch zustande, dass Schüler\*innen aufgrund von Krankheit oder Corona-Quarantäne der Schule fern blieben und somit zu einem der Messzeitpunkte keine Daten generierten. Diese Fälle mussten zur Vergleichbarkeit aus den Analysen ausgeschlossen werden. In den Drop-out Analysen haben sich in Kapitel „3.2.3. Beschreibung der Stichprobe“ signifikante Unterschiede zwischen der

gültigen und der Drop-out Stichprobe bezüglich des Vorwissen gezeigt. Daher müssen die Ergebnisse auch vor diesem Hintergrund diskutiert werden: Es muss davon ausgegangen werden, dass die gefundenen Ergebnisse in der gültigen Stichprobe nicht zwangsläufig mit den Ergebnissen aus der Gesamtstichprobe übereinstimmen. Daher wird die Generalisierbarkeit der gefundenen Effekte eingeschränkt. Da die Schüler\*innen der gültigen Stichprobe ein signifikant höheres Vorwissen aufwiesen als die Schüler\*innen der Drop-out Stichprobe und der Lernzuwachs in hohem Maße durch das Vorwissen beeinflusst wird (Koenen, 2016), kann vermutet werden, dass in einer Gruppe mit einem geringeren Vorwissen, sich der Lernzuwachs von den hier gefundenen Ergebnissen ggf. negativ unterscheiden könnte. Aus diesem Grund wird für Teil II versucht, die Drop-out-Rate zu reduzieren. Daher findet die gesamte Intervention in Teil III innerhalb eines Besuchs im Schülerlabor NanoBioLab im zeitlichen Umfang von drei Stunden statt. Dadurch können Drop-Out-Fälle nur noch auftreten, wenn Schüler\*innen zu den Messzeitpunkten unterschiedliche Codes verwenden, die anschließend nicht einander zugeordnet werden können, oder das Lerntempo so gering ist, dass eine Vollendung der Intervention mit abschließendem Fragebogen nicht möglich ist. Diese Fälle werden erfahrungsgemäß keinen Umfang von über 50 % der Stichprobe ausmachen. Die Verlagerung der Intervention in das Schülerlabor NanoBioLab bringt darüber hinaus weitere Vorteile mit sich: Die Schüler\*innen arbeiten alle in denselben Räumlichkeiten, werden durch dieselbe Testleitung instruiert und durch dieselben Personen bei der Bearbeitung betreut. Außerdem sind die Durchführungstermine stets innerhalb eines vorgegebenen Zeitfensters verortet: Die Intervention wird demnach zwischen neun und zwölf Uhr stattfinden. Durch all diese Faktoren wird eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Schülergruppen erreicht.

### Bedeutung der Ergebnisse im breiteren Kontext und Ableiten von Konsequenzen für Teil III des Forschungsvorhabens

Mit den Ergebnissen der Erhebung in Teil II zeigt sich, dass die Intervention in beiden Varianten (EG und KG) das Potenzial besitzt, die Modellbildungskompetenz zu fördern. Damit erhalten Lehrkräfte einen detaillierten Ablaufplan zur Durchführung einer Fördermaßnahme, die an allgemeinen Gestaltungsprinzipien naturwissenschaftlichen Unterrichts angelehnt ist. Der in Teil II entwickelte Ablauf kann demnach als Ergänzung zu bereits existierenden Beispielen z.B. von Fleige et al. (2016) oder Caspari et al. (2018) angesehen werden. Zur weiteren Optimierung der Fördermaßnahme sollten die zuvor diskutierten Überarbeitungsansätze in Teil III umgesetzt werden. Diese Überarbeitungsansätze werden in folgender Aufzählung zusammen gefasst:

- Erhebungsinstrumente:
  - Überarbeitung der Skalen zum Vorwissen
  - Maßnahmen zur Verbesserung der Gütekriterien v.a. für Items mit offenem Format (z.B. Überarbeitung des Kodierleitfadens)
- Intervention:
  - Stärkere Orientierung an Schülervorstellungen
  - Kürzung der vorbereitenden Einheit um Ü-Ei-Modellierung  
→ mehr Zeit für Diskussions- und Reflexionsphasen schaffen
  - Strukturierung der Einheit verbessern
  - Verlagerung ins Schülerlabor NanoBioLab
  - Stärkere Adressierung der kognitiven, motivationalen und leistungsbezogenen Prädiktorvariablen

Auf Grundlage der überarbeiteten Intervention müssen die Forschungsfragen erneut präzisiert und die Erhebungsinstrumente auf Passung überprüft werden, bevor schließlich eine weitere Erhebung durchgeführt werden kann. So kann dem Ziel dieses Forschungsvorhabens, den Modellierungsprozess aus Teil I zur Förderung der Modellbildungskompetenz in der Chemie anzuwenden, näher gekommen werden. Im folgenden Teil III wird die Integration von Differenzierungs- und Digitalisierungsansätzen durch eine literaturbasierte Hinführung gestützt umgesetzt.

### **3.3 Teil III: Integration von Differenzierungs- und Digitalisierungsaspekten**

Im vorangegangenen Teil des Forschungsvorhabens konnte gezeigt werden, dass die entwickelte Unterrichtseinheit sich grundsätzlich zur Förderung des Fachwissens und der Modellbildungskompetenz eignet, jedoch konnten auch Optimierungsansätze identifiziert sowie Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt werden. Auf Basis der optimierten Unterrichtseinheit werden nun im folgenden Kapitel Anreicherungen für die Unterrichtseinheit aus der Literatur abgeleitet und auf die Intervention angewendet. Als passende Möglichkeiten zur Verbesserung eines Kompetenzzuwachses zeigen sich die Integration von Differenzierungs- (Weinert & Helmke, 1996) und Digitalisierungsansätzen (Eilks & Marks, 2018). Im folgenden Abschnitt zum theoretischen Hintergrund werden die Potenziale dieser Ansätze für den Kompetenzerwerb verdeutlicht.

#### **3.3.1 Theoretischer Hintergrund**

##### Differenzierung

Wie zuvor bereits erwähnt, kann sich eine Differenzierung positiv auf den Lernprozess der Schüler\*innen auswirken. Der folgende Abschnitt erläutert zunächst, weshalb Differenzierung sinnvoll ist, anschließend werden verschiedene Formen der Differenzierung unterschieden und zuletzt Anwendungsbeispiele mit Bezug zum Forschungsvorhaben vorgestellt.

Schüler\*innen unterscheiden sich in ihrem Geschlecht und Alter, in ihrer Nationalität, Ethnizität, Religion und Kultur, ihrer sexuellen Identität und Orientierung, der familiären Situation, der Klassenstufe und Ausbildung sowie in ihren Werten, Verhaltensmustern und vielem mehr (G. Krell et al., 2007). Daraus lässt sich ableiten, dass alle Lernende als heterogene Individuen angesehen werden müssen. Während man früher zu Zeiten der Homogenität grundsätzlich daran zweifelte, dass Unterschiede zwischen den Schüler\*innen existieren und davon ausgehend alle Schüler\*innen gleich beschulte (Sliwka, 2010), schloss sich daran eine Zeit der Heterogenität an. In dieser Phase nahm man die Unterschiede der Schüler\*innen wahr und folgerte daraus, dass man unterschiedliche Beschulungen zur Anpassung an unterschiedliche Bedürfnisse ausarbeiten müsse. Im Rahmen der Integration versuchte man dieser Folgerung nachzukommen. Die modernste Form des Umgangs mit Unterschieden stellt die Inklusion dar. Auch in dieser Denkweise werden Unterschiede wahrgenommen. Diese werden allerdings zum ersten Mal als Chance für den Lernprozess angesehen: Individuelle und kooperative Lernphasen können von der Unterschiedlichkeit der Lernenden profitieren. Nicolaisen (2016) fasst diesen Wandel als Übergang „von einer Defizitfokussierung hin zu einer Ressourcenorientierung“ (S. 111) zusammen. Als Möglichkeiten zum Umgang mit Unterschieden unterscheidet Stäudel (2009) Maßnahmen der inneren und äußeren Differenzierung. Bei den Maßnahmen der äußeren Differenzierung wird die Gesamtheit aller Lernenden in feste Lerngruppen eingeteilt. Zu den gängigen Maßnahmen der äußeren Differenzierung zählen Schulformen, Schulprofile,

Leistungskurse und Jahrgangsklassen. Innerhalb von Lerngruppen, die durch äußere Differenzierung gebildet wurden, können weiterhin Maßnahmen innerer Differenzierung Anwendung finden. In diesem Sinne kann nach den Zielen, Inhalten, Methoden, Medien, Sozialformen, Lernstilen und -tempi sowie den Interessen unterschieden werden (Stäudel, 2009). Hußmann und Prediger (2007) fassen diese Möglichkeiten innerer Differenzierung unter „Auflösung des Gleichschritts [des Unterrichts] in vielerlei Hinsicht“ (S. 10) zusammen. Sie ergänzen Stäudels Liste noch um unterschiedliche Anspruchsniveaus und Zugangsweisen. Im Zusammenhang mit individuellen Anspruchsniveaus wird es wichtig, Mindestanforderungen für den Unterricht zu definieren, die von allen Schüler\*innen erreicht werden müssen (Kempke & Flint, 2021). Nur so kann garantiert werden, dass jede\*r Lernende einem ganz individuellen, kontinuierlichen Wissensaufbau folgen kann (ebd.) und alle Lernenden die Mindestziele auf ihren Lernwegen erreichen (Lipowsky, 2015). Dies stellt Lehrende vor die Herausforderung, jede\*n Schüler\*in der Lerngruppe genau durch seinen/ihren Denk- und Gedächtnisstil beschreiben zu können, um dadurch zugeschnitten optimale Lernbedingungen ableiten zu können (Stäudel, 2009). Von optimalen Lerngegebenheiten kann im kompetenzorientierten Unterricht dann gesprochen werden, wenn Aufgaben, die etwas mehr Kompetenz erfordern als die Lernenden zum gegenwärtigen Zeitpunkt haben, durch angebotene Hilfestellungen gelöst werden (Suwelack, 2010). In diesem Zusammenhang ist es erneut wichtig zu betonen, dass sich Art und Umfang der Hilfestellungen je nach Lerngruppe unterscheiden (Vygotskij & Cole, 1981). Im Folgenden wird nun das Scaffolding als eine Art von Hilfestellungen vorgestellt werden.

*„Scaffolding“ [is a] process that enables a child or novice to solve a problem, carry out a task or achieve a goal which would be beyond his unassisted efforts.”*  
(Wood et al., 1976, S. 90)

In obigem Zitat wird deutlich, dass es sich bei Scaffolds nicht bloß um eine äquivalente Bezeichnung von Hilfestellung handelt (Gibbons, 2015), wenn auch Scaffolding häufig als Synonym zu Unterstützung verwendet wird (Puntambekar & Hubscher, 2005). Das ursprüngliche Verständnis geht auf den Bedeutungsursprung des Worts scaffold (engl.= Gerüst) in der Baubranche zurück (Greenfield, 1984). Dabei wird unter Scaffolding eine Struktur verstanden, die sich durch fünf Eigenschaften auszeichnet (ebd.):

- wirkt unterstützend;
- ist ein Werkzeug;
- erweitert den Schaffensraum des Arbeiters;
- lässt den Arbeiter Ziele erreichen, die ohne den Einsatz des scaffolds unmöglich wären  
und
- wird nur dort eingesetzt, wo es nötig ist.

Kniffka (2017) greift viele dieser Aspekte auf, um Eigenschaften von Scaffolds beim Lernen zu beschreiben: Die Autorin gibt an, dass es sich bei Scaffolding um eine temporäre Hilfe handelt, die von den Lernenden genutzt wird, um sich „neue Konzepte, eine größere

Verarbeitungstiefe und neue sprachliche Varianten anzueignen“ (ebd., S. 227). Puntambekar und Hubscher (2005) geben in diesem Zusammenhang an, dass die Hilfen wieder entzogen werden, sobald sie nicht mehr weiterhin benötigt werden. Außerdem sollen die Lernenden durch den Einsatz von Scaffolding nicht nur neues Wissen erwerben (knowing that), sondern auch erlernen, WIE sie die Aufgabe bewältigen (knowing how) konnten (Kniffka, 2017). Diesbezüglich zeigt es sich als äußerst wichtig, dass der\*die Lehrende Ansatzpunkte für das Scaffolding wählt, die für den Lernenden in diesem speziellen Kontext angemessen sind (Reiser, 2004). Als letztes Charakteristikum von Scaffolds nennt Kniffka (2017) die Zukunftsorientierung. Demnach sollen Schüler\*innen durch die Unterstützung in der aktuellen Situation dazu befähigt werden, in der nächsten ähnlichen Situation das Problem eigenständig zu lösen. In diesem Zusammenhang wird die Autonomie der Lernenden durch den Einsatz von Scaffolds gestärkt (Gibbons, 2015). Diese weit gefassten Eigenschaften legen bereits nahe, dass unter dem Begriff Scaffolding viele verschiedene Lernhilfen zusammengefasst werden können (Lin et al., 2016). Zur Kategorisierung dieser diversen Lernhilfen bieten Saye und Brush (2002) zunächst die strukturelle Unterscheidung zwischen *hard* und *soft scaffolding* an: Von *hard scaffolding* sprechen die Autoren, wenn die Unterstützung bereits im Voraus in Anlehnung an erwartete, typische Schwierigkeiten von Lernenden ausgearbeitet wird. Ein großer Kritikpunkt an *hard scaffolds* ist demzufolge die fehlende Flexibilität und Adaptivität (Puntambekar & Hubscher, 2005). Im Gegensatz dazu zeichnen sich *soft scaffolds* dadurch aus, dass sie dynamisch und situational sind (Saye & Brush, 2002). Sie erfordern allerdings eine kontinuierliche Diagnose des Lernstandes der Schüler\*innen durch die Lehrkraft, um situativ adäquate Hilfestellung präsentieren zu können (ebd.). Inhaltlich können kognitiv aktivierende scaffolds von strukturierenden abgegrenzt werden (Möller, 2016). Bei den kognitiv aktivierenden scaffolds soll eine Veränderung von Wissensstrukturen bei den Lernenden angeregt werden. Fendt (2019) nennt folgende Beispiele für kognitiv aktivierende Scaffolds: bestehende Konzepte erkennen, kognitive Konflikte schaffen, Konzepte (weiter-) entwickeln, vorhandene Ansätze umsetzen, über vorhandene(s) Wissen und Konzepte nachdenken sowie darüber diskutieren und anspruchsvolle Aufgaben stellen (ebd., S. 18). Die strukturierenden scaffolds beziehen sich im Gegensatz zu den kognitiv aktivierenden auf den Lerninhalt und ermöglichen durch verschiedene Techniken den Aufbau fachlichen Wissens (Möller, 2016). Fendt (2019) nennt auch hier einige Beispiele: Lerninhalte strukturieren und in Bruchstücke unterteilen, Ziele klar definieren, bedeutende Aspekte hervorheben, Verknüpfungen aufbauen, (bildliche) Darstellungen anwenden und modellieren (ebd., S. 19). Ein strukturierendes scaffold im Chemieunterricht zum Aufbau von Verknüpfungen könnte beispielsweise die vertikale Vernetzung in den Basiskonzepten thematisieren. Noch präziser soll diese am Beispiel des Donator-Akzeptor-Konzepts erläutert werden: In der Mittelstufe wird bereits bei chemischen Reaktionen der Redoxbegriff als Sauerstoffübertragungsreaktion eingeführt und daran das Donator-Akzeptor-Prinzip verdeutlicht: Eine Redoxreaktion kann nur dann stattfinden, wenn ein Partner (Donator) Sauerstoff abgibt und ein anderer Partner (Akzeptor) den Sauerstoff aufnimmt. In der Oberstufe können dann Rückbezüge zu diesem Zusammenhang hergestellt werden, wenn das Redox-Konzept um die

Elektronenübertragung (ebenfalls unter Berücksichtigung von Donator und Akzeptor im selben Basiskonzept) erweitert wird. Hmelo-Silver et al. (2007) spezifizieren strukturierende Scaffolds derart, dass es sich dabei zwar um Schulung, Aufgabenstrukturierung und Hinweise handelt, jedoch niemals die Lösung explizit vorgegeben wird. Dadurch soll ein gedankenloses Durchlaufen der Aufgaben unterbunden werden, aber dennoch die kognitive Belastung verringert werden (ebd.). Diesbezüglich nennt Reiser (2004) die Schwierigkeit, eine Balance zwischen der Unterstützung und dem kognitiv aktivierten, produktiven Lernfortgang zu finden. Als weitere Scaffolding-Strategien nennen Quintana et al. (2004) die Sinnbildung, die Steuerung von Anstrengungen und Problemlöse-Strategien sowie die Ermutigung zur Artikulation und Reflexion des eigenen Lernens. Indes sollte vor allem der letztgenannte Aspekt den gesamten Lernprozess begleiten (Reiser et al., 2001). Indes können auch Routinen eine positive Wirkung auf den Lernprozess zeigen (Hmelo-Silver et al., 2007). Aufgrund der vielfältigen Erscheinungsformen wurden scaffolds bereits in unterschiedlichsten Lernsituationen eingesetzt: Im naturwissenschaftlichen Sachunterricht wurde neben vielen anderen Maßnahmen zum Beispiel eine verständliche Sprache (losgelöst von verschachtelter Fachsprache) verwendet, um strukturierend zu unterstützen, während die Anregung generalisierender Denkprozesse eher kognitiv aktivierend wirken soll (Möller, 2012). Im naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe können beispielweise Rückfragen oder das Aufdecken von Widersprüchen im Rahmen des Scaffoldings zu einer kognitiven Aktivierung führen (Adamina, 2013). Bohrmann-Linde (2018) setzt die Methode des Scaffolding im Chemieunterricht ein, um den Fachsprachenerwerb zu unterstützen. Dabei kommen Strategien wie z.B. der produktive Umgang mit der Alltags- und Fachsprache oder die Bereitstellung fachsprachlicher Wendungen zum Einsatz.

Eine spezielle und weit verbreitete Form des *hard scaffolding* sind gestufte Lernhilfen (Fendt, 2019). Diese sollen nun etwas detaillierter vorgestellt werden. Sie wirken je nach inhaltlicher Orientierung strukturierend oder kognitiv aktivierend, sodass sie auch komplexere Aufgaben als üblich bewältigen können (Franke-Braun et al., 2008). Zu diesem Zweck sind viele Lernhilfen an allgemeinen Denk- sowie Problemlösestrategien orientiert (Friedrich & Mandl, 1992). Dadurch sollen folgende Prozesse bei den Schüler\*innen angeregt werden: Paraphrasierung, Fokussierung, Elaboration von Unterzielen, Aktivierung von Vorwissen und Visualisierung (Franke-Braun et al., 2008, S. 29). Gestufte Lernhilfen können darüber hinaus den Lernprozess während Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeiten unterstützen (Forschungsgruppe Kassel, 2004). Leisen et al. (1999) wenden gestufte Lernhilfen beispielweise im Kontext der Erdöldestillation an, indem sie zunächst die einzelnen Vorgänge bei der Erdöldestillation an den unterschiedlichen Bauteilen näher erläutern und schließlich die unterschiedlichen Fraktionen mit ihren Siedebereichen und Verwendungen angeben. In einem weiteren Beispiel von Lutz Stüdel (2011) leiten die Schüler\*innen aus einem Experiment den Dipolcharakter von Wasser ab und werden in diesem Prozess durch gestufte Lernhilfen unterstützt. Dabei werden die Hilfen in sechs Stufen jeweils als Impulsanweisungen oder -fragen dargeboten. Hilfe 1 lautete z.B. „Gebt die Aufgabenstellung in euren eigenen Worten wieder. Klärt dabei, wie ihr die Aufgabe

verstanden habt.“ (ebd., S. 15). An dieser Stelle wird eindeutig der Bezug zur allgemeinen Problemlösestrategie Paraphrasieren (Friedrich & Mandl, 1992) hergestellt. Hilfe 5 hingegen aktiviert das Vorwissen der Schüler\*innen durch die Formulierung „Erinnert euch daran, was ihr über Kräfte zwischen unterschiedlichen Ladungen wisst und wovon sie abhängen!“ (ebd., S. 15). Im vorgestellten Beispiel nach Stäudel (2011) werden die gestuften Hilfen in einem analogen Format als Hilfekarten dargeboten, während dies auch in anderen Beispielen digital umgesetzt wird. Stäudel und Tiburski (2014) zeigen beispielsweise, wie sich gestufte Hilfen auch digital umsetzen lassen: Hier wird das Erkennen und Erklären der Temperaturabhängigkeit des Iod-Stärke-Komplexes mit gestuften Lernhilfen, die über QR-Codes für die Schüler\*innen abrufbar sind; unterstützt. In diesem Beispiel und vielen weiteren zeigt sich das Differenzierungspotenzial digitaler Medien (J. Seibert, Schmoll, et al., 2020) durch die Bereitstellung von Zusatzinformationen und Hilfestellungen (Huwer & Brünken, 2018). Aus diesem Grund sollen im folgenden Subkapitel digitale Medien zunächst charakterisiert, dann ihre grundsätzlichen Potenziale für den Unterricht vorgestellt werden, bevor zuletzt das Potenzial zur Differenzierung und Individualisierung erneut aufgegriffen wird.

Bezüglich der vorgestellten Aspekte zum Thema Differenzierung werden nun diejenigen Gesichtspunkte fokussiert, die im Verlauf der vorliegenden Forschungsarbeit in Teil III aufgegriffen werden. Auf Formen der äußeren Differenzierung hat dieses Forschungsvorhaben keinen Einfluss. Es werden Klassen aller Schulformen der Klassenstufe 8 eingeladen, eine äußere Differenzierung hat demnach bereits vor Eintritt in die Intervention stattgefunden. Differenzierungsmaßnahmen können daher im entwickelten Lernsetting ausschließlich innerhalb der Lerngruppe durch Formen der inneren Differenzierung umgesetzt werden. Genauer gesagt sollen Maßnahmen des scaffoldings in der Intervention realisiert werden. Grundsätzlich stellt Kniffka (2017) im Zusammenhang mit Scaffolding stets den Bezug her, dass es sich dabei nur um temporäre Unterstützungen handelt, die mit der Zeit (sobald das scaffolding nicht mehr zur Bewältigung ähnlicher Aufgaben benötigt wird) wieder abgebaut werden sollen. Aufgrund der Kürze der Intervention in diesem Forschungsprojekt werden in diesem Rahmen nur die scaffolding-Maßnahmen an sich realisiert, ein Abbau des „Gerüsts“ kann erst nach Festigung der Kompetenzen erfolgen und dies bedarf eines längeren Prozesses. Dadurch, dass die Eigenschaften der unterschiedlichen Lerngruppen im Voraus der Durchführung nicht bekannt sind, kann keine adaptive Form des scaffoldings umgesetzt werden, sodass in diesem Fall hard scaffolding zum Einsatz kommt. Genauer gesagt sollen kognitiv aktivierende scaffoldings in der Intervention integriert werden, um vorhandene Vorstellungen aufzudecken, bestehende Konzepte anzuwenden und intensiv über vorhandene Konzepte zu reflektieren (Fendt, 2019). Noch konkreter werden Lernhilfen integriert, welche bereichsspezifische Anregungen liefern. Da innerhalb der Intervention mit der Modellbildungskompetenz und dem Fachwissen zwei Bereiche gleichzeitig adressiert werden, kann eine bereichsspezifische Förderung nicht ohne Weiteres abgeleitet werden. Aus diesem Grund wird als unabhängige Variable der Intervention der Bereich der

Differenzierung in den beiden Varianten Modellbildungskompetenz und Fachwissen umgesetzt.

### Digitale Medien

Bevor im Rahmen dieses Kapitels digitale Medien zunächst definiert, anschließend in ihrem Potenzial für den naturwissenschaftlichen Unterricht präsentiert und bestehende Umsetzungsbeispiele schließlich vorgestellt werden, sollte der Begriff Medium grundsätzlich geklärt werden. Petko (2020, S. 12) versteht unter einem Medium „Werkzeuge zur Erfassung, Verarbeitung und Übermittlung von Informationen“. Der Autor betont eindrücklich, dass mit Medien basierend auf dieser Definition stets eine kommunikative und kognitive Funktion einhergehen. Vor allem die kommunikative Funktion spiegelt sich auch in der Klassifikation von Medien nach Pross (1972) wieder. Die *primären Medien* ermöglichen die Informationsweitergabe via menschlicher Signale. Faulstrich (2002) bezeichnet diese Klasse daher als „Menschmedien“ und nennt Zauberer oder Hofnarren aus früheren Zeiten als Beispiele. Weiterhin werden *sekundäre Medien* wie Zeitungen oder Plakate als „Schreib- und Printmedien“ zusammengefasst. In Abgrenzung dazu umfassen *tertiäre Medien* „elektronische Medien“ wie z.B. Fotografie, CDs oder klassische Handys. Ergänzend zu Pross (1972) führt Faulstrich (2002) eine vierte Kategorie von Medien auf, die *quartären* oder „digitalen Medien“. Darunter subsummiert er Computer, Multimediainhalte oder das World Wide Web. Diese Klassifikation legt bereits nahe, dass sich analoge von digitalen Medien unterscheiden. Zum einen erweitern digitale Medien die Möglichkeiten analoger Medien oder eröffnen gar neue, zum anderen gehen mit der Anwendung digitaler Medien nun auch viele und erheblich komplexere soziale Funktionen einher (Petko, 2020). Im Zusammenhang mit der begrifflichen Abgrenzung muss auch erwähnt werden, dass die Begriffe „digitale Medien“ und „neue Medien“ häufig synonym verwendet werden (Zumbach, 2008), während teilweise der begriffliche Umfang von „neuen Medien“ dynamischer gefasst wird und stets die neuesten Technologien umfasst. So geben beispielsweise Brünken und Leutner (2000) an, dass die Menge aller „neuen Medien“ stets all diejenigen Medien einschließt, die den aktuellen Stand an elektronischen Möglichkeiten berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund zählt z.B. der Computer zwar zu den „digitalen Medien“ nach der Definition von Faulstrich (2002) wohl aber eher nicht mehr zu den „neuen Medien“ nach Brünken und Leutner (2000). Für das vorliegende Forschungsvorhaben sollen „digitale Medien“ im Sinne Faulstrichs Definition verstanden werden und folgend durch beschreibende Eigenschaften nach Petko (2020) charakterisiert werden. Digitale Medien zeichnen sich durch ihre umfangreichen Informationsverarbeitungs- und -speichermöglichkeiten aus, welche die Vervielfältigung von Informationen erleichtern. Außerdem bieten sie die Möglichkeit der Automatisierung von Prozessen, wie sie bspw. in Übersetzungsprogrammen verwendet wird. Ferner kann eine Navigation innerhalb digitaler Medien stattfinden (z.B. Wortsuchen in Dokumenten), sodass Adaptivität (z.B. Übersicht über vorkommende Stellen im Dokument und Hervorhebungen im Text) und Interaktivität (z.B. Auswahl einer Stelle → Anzeigen dieser Stelle mit Hervorhebung) erreicht werden kann. Darüber hinaus ermöglichen digitale Medien das

Zusammenführen verschiedener Medien zu multimedialen Inhalten, bei denen eine strikte Trennung der einzelnen Medien nur schwer bis unmöglich ist. In sozialen Kontexten zeichnen sich digitale Medien durch eine digitale Öffentlichkeit (z.B. soziale Netzwerke) aus, bei der nur schwer zwischen individuellen Medien und öffentlichen Medien unterschieden werden kann. Demgegenüber stehen die neuen Kommunikationsmöglichkeiten, die durch digitale Medien zugänglich werden. Zum einen können multimediale Kommunikationen (z.B. Videotelefonie) umgesetzt werden, zum anderen wird die synchrone Kommunikationsweise der analogen Medien entkoppelt und mündet in asynchrone Verständigungen z.B. via Chatnachrichten. Wirft man einen Blick auf die heutige Gesellschaft, sind digitale Medien offensichtlich omnipräsent. Doch auch im Unsichtbaren verstecken sich digitale Medien überall in unserem Alltag, z.B. in automatisierten Fertigungsanlagen. In diesem Zusammenhang spricht Krotz (2015) von einer „Mediatisierung der Gesellschaft“. Darunter versteht der Autor die sozialen, wirtschaftlichen und politischen Einflüsse, die mit digitalen Medien einhergehen. Aus politischer Sicht ist die Globalisierung durch digitale Medien beeinflusst, während digitale Medien eine vermehrte Automatisierung einfacher Routinearbeiten ermöglichen und dadurch auf den Arbeitsmarkt einwirken (wirtschaftliche Sicht). Zuletzt beeinflussen soziale Beziehungen im digitalen Bereich (z.B. in sozialen Netzwerken) auch reale, soziale Gefüge, wodurch auch in diesem Bereich die „Mediatisierung“ der Gesellschaft deutlich wird (soziale Sicht).

Einige dieser Charakteristika lassen bereits erahnen, dass sich durch den Einsatz digitaler Medien im Unterricht Potenziale aber auch Risiken ergeben können. Zunächst können digitale Medien nur dann ein Potenzial für das Lernen im Unterricht entfalten, wenn die Qualität der Medien, der didaktischen Einbettung der Medien in den Lernprozess und der Nutzung der Medien durch die Lernenden hoch ist (Petko, 2019). Für den Einsatz digitaler Medien im Unterricht können grundsätzlich zwei Perspektiven unterschieden werden: Das Lernen *mit* Medien und das Lernen *über* Medien (Tulodziecki et al., 2010). Beim Lernen *über* Medien liegt der Fokus auf der medienerzieherischen Perspektive des Einsatzes, während das Lernen *mit* Medien mediendidaktisch reflektierte Einsatzmöglichkeiten digitaler Medien in den Blick nimmt. Im Zusammenhang mit diesem Forschungsvorhaben liegt der Fokus der Digitalisierung auf der positiven Beeinflussung des Lernprozesses, sodass im Folgenden das Lernen *mit* Medien näher betrachtet wird. Für das Lernen *mit* Medien im (Chemie-) Unterricht unterscheiden Huwer und Seibert (2017) drei „Betriebsmodi“: Zunächst unterstützten digitale Medien als Lernwerkzeuge kognitive Prozesse der Lernenden in einer bestimmten Lernsituation. Erstreckt sich diese Funktion über eine längere Lernsituation, wird das digitale Medium zum Lernbegleiter. Im dritten Modus, dem Experimentalwerkzeug, unterstützen digitale Medien die Lernenden in einer Experimentiersituation. Auch das Lernen *über* Medien kann im Chemieunterricht umgesetzt werden. Dazu ergänzen Huwer, Banerji und Thyssen (2020) den Lerngegenstand als weiteren „Betriebsmodus“ digitaler Medien: In diesem Modus steht die Kompetenzförderung der Lernenden im Umgang mit digitalen Medien im Vordergrund. Durch diese unterschiedlichen

Einsatzmöglichkeiten bieten digitale Medien Potenziale für die Lernprozesse im naturwissenschaftlichen Unterricht. Einige dieser Potenziale werden nun vorgestellt.

Kohls (2020) unterscheidet zunächst zwischen direkten und indirekten Mehrwerten digitaler Medien für den Unterricht. Unter indirekten versteht er dabei diejenigen Mehrwerte, die analoge Medien grundsätzlich auch für den Unterricht bieten, nur durch digitale Medien einfacher zugänglich werden. Zum Beispiel für das Sammeln von Informationen bieten digitale Medien nach dieser Definition indirekt den Mehrwert, dass der Fundus an Informationen größer und die Suchgeschwindigkeit im digitalen Raum höher ist. Als direkte Mehrwerte werden diejenigen betitelt, die Möglichkeiten eröffnen, welche im analogen Format nicht möglich wären. Dazu zählen zum Beispiel Selbstkontrollmöglichkeiten bei Aufgaben mit Self-Assessment, die im analogen Format nicht in dieser Form möglich wären. In diesem Zusammenhang bieten digitale Medien außerdem das Potenzial, multimediale Lerninhalte in den Unterricht zu integrieren (Mayer, 2005). Ferner wird durch digitale Medien die Umsetzung kooperativer und kollaborativer Lehr-Lernsituationen erleichtert (Gan et al., 2015). In kooperativen Lernformen oder in Einzelarbeitsphasen können darüber hinaus Reflexionen durch digitale Medien angeregt, Argumente gesammelt, analysiert und organisiert sowie schließlich zu einem Bericht zusammengestellt werden (Gobert & Pallant, 2004). Überdies können auch Bezüge zwischen diversen Ideen oder Verankerungen in der Lebenswelt hergestellt werden (Oberländer, 2014). Durch die Interaktivität und Adaptivität digitaler Medien lassen sich teilweise komplexe Zusammenhänge in vernetzten Strukturen übersichtlich darstellen (Eilks & Moellering, 2001). Bei der Darstellung zeigen digitale Medien überdies den Mehrwert, dass sie unsichtbare Abläufe veranschaulichen, indem sie visuelle Analogien abbilden (Richtberg & Girwidz, 2014). Im Beispiel von Richtberg und Girwidz (2014) werden im digitalen Format Magnetfeldlinien dargestellt, welche in der realen Umgebung nicht sichtbar sind. Das Sichtbarmachen des Unsichtbaren bietet auch im Zusammenhang mit naturwissenschaftlichen Experimenten einen großen Mehrwert für den Lernprozess. Durch den Einsatz von Zeitlupen- oder Zeitrafferfunktionen können Vorgänge derart be- oder entschleunigt werden (Sieve & Koch, 2020), dass sie eine wiederholte, detaillierte und analysierende Beobachtung ermöglichen. Dadurch können für den Erkenntnisgewinn essentielle Beobachtungen durch die Schüler\*innen selbst erfahren werden, sodass der Lernzuwachs positiv beeinflusst wird (Hilfert-Rüppell & Sieve, 2017). Im Zusammenhang mit naturwissenschaftlichen Experimenten ergeben sich aber auch für die Durchführung Mehrwerte durch die Involvierung digitaler Medien (Lampe et al., 2015). Zunächst ermöglichen es digitale Messwertefassungen, die gemessenen Daten (teilweise sogar in Echtzeit und simultan) in verschiedenen Darstellungsformen abzubilden. Außerdem können Messungen einfach und schnell durchgeführt werden, sodass Messwiederholungen zur Fehlerkorrektur, Mittelwertbildung oder Induktion eingesetzt werden können. Unproblematisch sind durch den Einsatz digitaler Messwertefassungen auch Langzeitmessungen. Darüber hinaus ergeben sich durch die digitale Zugänglichkeit vieler Messgrößen auch Möglichkeiten neuer Schülerexperimente, die mit hoher Genauigkeit und großer Abstrakte durchgeführt werden können, ohne ein

für Schüler\*innen sowie für Lehrkräfte unerreichbares Maß an manuellen Fähigkeiten voraussetzen. Einer der am häufigsten genannten Aspekte ist allerdings die Zeitersparnis. Die Lernenden müssen nicht nacheinander das Experiment durchführen, Messwerte protokollieren, dann eine graphische Darstellung entwickeln und schließlich auf Grundlage dessen das Experiment auswerten; die Erfassung und Darstellung erfolgen simultan zur Durchführung, sodass nur die Auswertung anschließend durchgeführt werden muss. Durch integrierte Darstellungsfunktionen können dadurch auch Zeichenprozesse beschleunigt werden (Netz, 2014) und Rechenfunktionen ermöglichen das Überwinden mathematischer Hürden (Lampe et al., 2015).

Neben diesen sehr naturwissenschaftsspezifischen Mehrwerten können auch allgemeindidaktische Mehrwerte digitaler Medien berichtet werden. Zunächst konnten einige Studien zeigen, dass mit dem Einsatz digitaler Medien eine Motivationssteigerung einhergeht (Hilfert-Rüppell & Sieve, 2017; J. Seibert et al., 2019) oder die Schüler\*innen dem Einsatz positiv gegenüber eingestellt sind (Hilfert-Rüppell & Sieve, 2017). Darüber hinaus konnten positive Einflüsse auf den Aufbau dynamischer Modelle (Kuhn et al., 2017), die Verarbeitungstiefe von Lerninhalten und damit einhergehend den Lernerfolg (Koszalka et al., 2019) belegt werden.

Neben diesen zahlreichen Mehrwerten und positiven Einflüssen auf das Lernen, gibt es auch einige Gefahren, die beim Einsatz digitaler Medien im Unterricht bedacht werden sollten. Bei der Arbeit mit digitalen Lernumgebungen ist stets die Gefahr der Flüchtigkeit zu beachten. Es gilt also in diesem Zusammenhang sicherzustellen, dass die angestrebte Verarbeitungstiefe auch von den Lernenden erreicht wird (Girwidz & Hoyer, 2018). Gerade beim Einsatz digitaler Medien rund um das Internet müssen stets die Probleme der Ablenkung und Werbung bedacht werden (Tulodziecki et al., 2010). Weitere Probleme können auch mit dem großen Umfang an zugänglichen Informationen (Petko, 2020) zusammenhängen, der geradezu eine Flut aus Informationen auf die Lernenden einstürzen lässt. Zusammen mit komplexem Lernmaterial, geringem Vorwissen oder inadäquat gestalteten Medien kann es zu einer kognitiven Überbelastung kommen (Bus et al., 2015) und damit das Lernen negativ beeinflusst werden (Karapanos et al., 2018). Brünken und Seufert (2006) empfehlen daher als Strategie zur kognitiven Kapazitätsoptimierung, unnötige extrinsische Belastungen zu vermindern, um mehr Kapazitäten zur Erleichterung und Ermöglichung des Lernprozesses freizumachen.

Diese kognitive Belastung des Arbeitsgedächtnisses lässt sich durch eine durchdachte Gestaltung digitaler, multimedialer Inhalte für den Unterricht minimieren. Im Folgenden werden mehrere Möglichkeiten zur Reduktion der kognitiven Belastung in Tabelle 26 zunächst zusammen- und anschließend vorgestellt.

Tabelle 26: Möglichkeiten zur Reduktion der kognitiven Belastung des Arbeitsgedächtnisses  
(CL: cognitive Load, ECL: extraneous cognitive load, ICL: intrinsic cognitive load)

Prinzip	Lernförderliche Gestaltung multimedialer Darstellungen	Art des reduzierten CL	Quelle
Entlastung	Informationen auf visuellen und auditiven Kanal verteilen	ECL	Mayer & Moreno, 2003
Unterteilung	Zeit zwischen kleinen Lernhappen erlauben	ICL	
Pretraining	Begrifflichkeiten und Eigenschaften von Bestandteilen des Lerngegenstands vor den Zusammenhängen klären	ICL	
Ausdünnen	Interessante, aber irrelevante Inhalte vermeiden	ECL	
Hervorhebung	Wichtige Aspekte hervorheben	ECL	
Räumliche Abstimmung	Bezüge zwischen Bild und Schrift durch räumliche Nähe herstellen	ECL	
Vermeidung von Redundanzen	Redundanzen zwischen den auditiven und visuellen Informationen vermeiden	ECL	
Synchronisierung	Bild und Text mit Bezug zueinander zeitlich synchron darbieten	ECL	
Individualisierung	Inhalte an vorhandene Fähigkeiten der Lernenden	ICL	
Intuitivität	Verwendung intuitiver Bedienelemente	ECL	
Einzelkonzeptprinzip	Zunächst Teile eines Ganzen getrennt voneinander betrachten und dann in Beziehung zueinander setzen	ICL	
Sequenzierung	Lerninhalt in Teilstücke gliedern und diese nacheinander von den Lernenden erarbeiten lassen	ICL	
Verarbeitungskontrolle	V.a. bei anspruchsvollen Texten: besser visuell als auditiv darbieten (↔ Entlastung)	ECL	Niegemann et al., 2008
Reihenfolge von Text und Bild	Kombination von Text und Bild: Bild vor Text präsentieren (↔Synchronisierung)	ECL	
Strukturzuordnung	Darstellungsweise auswählen, die am besten zu den Lernzielen passt	ECL	
Redundanzprinzip	Keine Bild-Text-Kombination wählen, wenn die Lernenden durch ihr Vorwissen die Informationen auch ausschließlich aus einer der zwei Kanäle ableiten können (↔ Entlastung)	ECL	
Attraktivität	Lebensweltbezug und direkte Ansprache	ECL	Kerres, 2018

Mayer und Moreno (2003) konnten zeigen, dass Lernende einen größeren Lernzuwachs aufwiesen, wenn Texte bei multimedialen Inhalten gesprochen dargeboten werden und nicht als on screen-Text. Daraus leiteten sie ab, dass der extraneous cognitive load (ECL) verringert werden kann, wenn die Informationen auf beide Kanäle verteilt werden und keine Überbeanspruchung des visuellen Kanals stattfindet. Schüler\*innen lernten außerdem effektiver, als sie die Lerneinheit in selbstbestimmte Stücke aufteilen konnten, anstatt sie kontinuierlich bearbeiten zu müssen. Daher schlagen die Autor\*innen vor, Pausen in die Lerneinheit zu integrieren, um den intrinsic cognitive load (ICL) zu vermindern. In diesem Zuge erkannten sie ebenfalls, dass Lernende einen höheren Lernertrag verzeichneten, wenn sie mit Begrifflichkeiten und Definitionen vertraut waren, bevor sie komplexe Zusammenhänge zwischen den Definitionen verstehen mussten. Als Lösungsmöglichkeit schlagen Mayer und Moreno (2003) ein Pre-training vor. Schüler\*innen zeigten auch bessere Leistungen, wenn die multimedialen Inhalte auf unnötige, ausschmückende Informationen verzichteten (Ausdünnen) und stattdessen Signale zur Kennzeichnung wichtiger Aspekte verwendeten (Hervorhebung). Durch beide Möglichkeiten verringerte sich der ECL. Außerdem sollten in multimedialen Inhalten zusammengehörige Informationen (z.B. Beschriftung und Entsprechung in der Abbildung, Bild und gesprochener Text) in zeitlicher (Synchronisierung) und räumlicher Nähe (räumliche Abstimmung) dargeboten werden sowie sich ergänzen und nicht doppeln (Vermeidung von Redundanzen). Zuletzt erkannten Mayer und Moreno (2003), dass Lernende eher von multimedialen Materialien profitieren, wenn diese an den Lernendeneigenschaften und dem Vorwissen orientiert sind. Sie empfehlen daher eine entsprechende Anpassung (Individualisierung). Girwidz und Hoyer (2018) ergänzen diese Liste an Gestaltungsprinzipien durch weitere Aspekte. Zunächst legen sie eine intuitive Bedienung nahe, um den ECL zu vermindern (Intuitivität). Sie verfeinern außerdem das Sequenzierungs-Prinzip von Mayer und Moreno (2003), indem sie zum einen empfehlen, zunächst Einzelbestandteile eines komplexen Netzwerks zu betrachten, bevor die Zusammenhänge geklärt werden (Einzelkonzeptprinzip). Zum anderen legen sie nahe, dass die Schüler\*innen einzelne Teilstücke nacheinander bearbeiten (Sequenzierung) anstatt die gesamte Lerneinheit an einem Stück. Niegemann et al. (2008) präzisieren die Gestaltungsprinzipien in Abhängigkeit von Lernendeneigenschaften weiter und widersprechen dabei auch einigen der vorherigen Prinzipien. Sie schränken beispielsweise das Modalitätsprinzip (Entlastung) ein, indem sie für schwierige Texte oder bei geringem Vorwissen einen geschriebenen Text dem gesprochenen vorziehen würden, um einen größeren Lernerfolg zu erreichen (Verarbeitungskontrolle). Mit der starken Lernerorientierung geben die Autor\*innen ebenso an, dass der multimediale Inhalt an die Lernziele angepasst werden soll und nicht zwingend Informationen in beiden Kanälen präsentiert werden müssen. Ferner schlägt Kerres (2018) vor, einen Lebensweltbezug zu integrieren und die Lernenden persönlich anzusprechen (Attraktivität). Zuletzt geben Niegemann et al. (2008) erneut Aspekte gegen das Entlasten an: Sie sprechen sich gegen eine Verteilung der Informationen auf beide Kanäle aus, wenn die Lernenden durch ihr Vorwissen schon aufgrund eines Kanals in der Lage sind, die Informationen zielgerecht zu verarbeiten. Kerres (2018) widerspricht der Ansicht der Variablenkontrolle nach Niegemann et al.

(2008), indem er für einfache Abbildungen Text zur weiteren Informationsaufnahme und bei komplexen Abbildungen Erklärungen vorschlägt. Diese Widersprüchlichkeit zeigt bereits, dass es bei diesen Gestaltungsprinzipien häufig ein Für und Wider in der Argumentationskette gibt, sodass für die entsprechende Situation mit realen Lerngruppen gesonderte Entscheidungen getroffen werden müssen. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden entsprechende Entscheidungen bei der Entwicklung der digitalen Umsetzungen der Lerneinheit getroffen. Die Ergebnisse dieser Entscheidungen werden im Rahmen der Vorstellung der digital angereicherten Intervention erörtert (vgl. Kapitel 3.2.3. „Intervention“).

Für den naturwissenschaftlichen Unterricht existieren bereits viele digitale Umsetzungen, die diese Gestaltungsprinzipien beachten. Einige Ansätze orientieren sich dabei neben der fachmediendidaktischen Perspektive zu den Gestaltungsprinzipien auch an explizit fachdidaktischen und mediendidaktischen Ansätzen, sodass vielperspektivische Betrachtungsweisen resultieren (z.B. Seibert, 2021). Ausgewählte Beispiele zum Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht, die einen Bezug zum Forschungsvorhaben aufweisen, werden nun vorgestellt. Als häufigste Einsatzmöglichkeit zeigen sich digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht im Zusammenhang mit Experimenten. Dabei gibt es drei Möglichkeiten, wie digitale Medien beim Experimentieren eingesetzt werden: Entweder es werden Experimente mit internen Sensoren durchgeführt oder es werden externe Sensoren angeschlossen. Als dritte Variante werden Simulationen realer Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt (Wilhelm, 2014). Durch all diese Anwendungen vergrößern digitale Medien die Möglichkeiten adäquater Schülerexperimente (Richtberg & Girwidz, 2014). Beim Einsatz interner Sensoren zum Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht können z.B. Beschleunigungen, Temperatur oder Luftfeuchtigkeit unmittelbar gemessen und damit die Versuche im doppelten Sinne kontextualisiert werden (Kuhn & Vogt, 2014): Zunächst durch eine fachliche Kontextualisierung (vgl. Abschnitt „Lebenswelt der Schüler\*innen: Relevante Kontexte“) und zum anderen durch die Integration für Schüler\*innen alltäglicher Medien in den Unterricht. Im Zusammenhang mit externen Sensoren können zwar größeren Messbereiche abgedeckt werden, jedoch sind dazu häufig besondere Messvorrichtungen notwendig (z.B. Kraftmessplatten). Dem gegenüber steht bei externen Sensoren die Möglichkeit der Datenübertragung per WLAN oder Bluetooth (Wilhelm, 2014). Simulationen betreffend können virtuelle Labore ganz neue Experimente für Schüler\*innen erfahrbar machen (Bauer, 2014): Bauer (2014) stattete beispielsweise einen Bienenstock mit Sensoren aus, sodass ein virtueller Bienenstock erzeugt wurde, der den Schüler\*innen Einblicke in naturwissenschaftliche Fragestellungen ermöglicht, ohne reale Bienen in Stress zu versetzen. Ter Horst und Wilke (2022) ergänzen, dass durch den Einsatz digitaler Labore eine Fokusverschiebung von der Durchführung und Auswertung von Experimenten hin zur Bearbeitung weiterführender Aufgaben stattfindet. Neben dem Einsatz digitaler Medien im Zusammenhang mit naturwissenschaftlichen Experimenten finden z.B. auch interaktive Präsentationen ihren Einsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht. Hierbei reichen die Umsetzungen von dynamischen Arbeitsblättern (Netz, 2014)

über interaktive PowerPoint-Präsentationen (Trockel, 2018) bis hin zu PREZI-Lernumgebungen (Krause & Eilks, 2014). Digitale Arbeitsblätter ermöglichen durch integrierte dynamische Inhalte eine bessere Visualisierung bewegter Prozesse in den Naturwissenschaften (z.B. elektrophile Addition in der Organischen Chemie, Netz, 2014). Bei einer Umsetzung mit PowerPoint zeigte Trockel (2018), dass auch Gamification-Ansätze zur Förderung der Motivation (Blohm & Leimeister, 2013) integriert werden können. Die Umsetzungen mit PREZI bewirkten durch die Integration multimedialer Inhalte sowie unterschiedlicher Navigationsarbeiten (Pfeiltasten, Buttons, Eilks & Marks, 2018) eine positive Resonanz bei den Schüler\*innen (Krause & Eilks, 2014). Ein weiteres weit verbreitetes Einsatzgebiet digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht stellen Videos dar. Hier kann grundsätzlich zwischen von Lehrenden und von Lernenden erstellten Videos unterschieden werden. Bei Lehrenden-Videos spricht man häufig von Lernvideos, die den Lernprozess unterstützen, sofern sie an den Gestaltungsprinzipien (vgl. Tabelle 26) orientiert sind (Bley & Woest, 2021). Demgegenüber stehen Videos, die von Schüler\*innen erstellt werden. Ein Beispiel, welches das chemische Experiment in den Fokus nimmt, ist das EXPLAINISTRY (Huwer & Seibert, 2017). Ein EXPLAINISTRY setzt sich aus drei Teilen zusammen: Zunächst wird im ersten Teil die Relevanz des naturwissenschaftlichen Phänomens aufgezeigt, bevor im zweiten Teil ein Experiment videografiert wird, welches das Phänomen zeigt. Im letzten Teil wird schließlich das Phänomen, meist unter Zuhilfenahme der Teilchenebene, erklärt. Durch den Einsatz solcher Schüler\*innen-erstellter Videos werden zunächst neuen Möglichkeiten zur Dokumentation und Erklärung naturwissenschaftlicher Experimente eröffnet (J. Seibert et al., 2019). Darüber hinaus findet durch die eigenständige Erklärung des Experiments ein „Lernen durch Erklären“ (Grzega & Schöner, 2008) statt und zum anderen können diese Erklärungen als Diagnosegrundlage für Lehrende herangezogen werden (J. Seibert et al., 2019). Neben diesen Anwendungsmöglichkeiten können digitale Medien auch beim Umgang mit Modellen eingesetzt werden. Zum Beispiel können interaktive, dynamische Teilchensimulationen im Unterricht integriert werden, um die Entwicklung, Testung und Überarbeitung von Modellen zu trainieren (Tinker & Xie, 2008). Saborowski (2000) geht im Rahmen seiner Dissertation ähnlich vor: Er nutzt digitale Medien zur Modellkonkretisierung mentaler Modelle von Lernenden. Durch das integrierte Maß an Interaktivität werden Modelle für Schüler\*innen erfahrbar. Dabei können außerdem auch Modelle digital „realisiert“ werden, die analog nicht möglich wären (z.B. Körper, die ihre Größe autonom verändern; Reiners & Saborowski, 2017)). Graf (2002) hebt in diesem Zusammenhang hervor, dass mit computergestützten Simulationen zu Modellen weiterhin der Vorteil einhergeht, dass die Lernenden unmittelbar die Konsequenzen einer veränderten Modelldarstellung erfahren können. Da computergestützte Teilchensimulationen sowohl in der Entwicklung als auch der Nutzung anspruchsvoll sind, schlägt Sieve (2020) vor, Teilchendarstellungen mit der Stop-Motion-Technik umzusetzen. Dabei zeichnen die Schüler\*innen Einzelbilder einer Teilchendarstellung auf, welche schnell hintereinander abgespielt werden, sodass eine Dynamik entsteht. Es handelt sich damit um eine digitale Umsetzung des klassischen Daumenkinos. Als Alternative dazu benennt Ulrich (2020) die Legetechnik, bei der eine Oberfläche gefilmt wird und nacheinander

Visualisierungen auf Papier in den gefilmten Bereich geschoben werden. Grundsätzlich konnten diese Einsatzmöglichkeiten digitaler Medien im Zusammenhang mit Modellen allerdings zeigen, dass sich hierdurch ein Mehrwert für das Lernen ergibt. Bei Tinker und Xie (2008) beispielsweise konnte ein Zuwachs an Modell-(bildungs-)kompetenz nachgewiesen werden.

Ausgehend von den vorgestellten Aspekten zum Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht haben sich unterschiedliche Umsetzungen als gewinnbringend erwiesen. Aus dieser enormen Menge an Möglichkeiten sollen wichtige Umsetzungen mit Bezug zum Forschungsvorhaben vorgestellt werden. Zunächst sollen in der Intervention vor allem die Potenziale digitaler Medien zur Strukturierung und Visualisierung ausgeschöpft werden. Zur Strukturierung wird auf den Einsatz einer interaktiven Präsentation zurückgegriffen. Durch integrierte Steuerungselemente können die Lernenden damit eigenständig die Intervention bearbeiten. Ferner soll es dadurch allen Schüler\*innen möglich werden, die Intervention in ihrem individuellen Lerntempo zu bearbeiten. Außerdem werden Videos in die Präsentation integriert, die möglichst vielen Gestaltungsprinzipien gerecht werden. Dabei sollen besonders der Hervorhebungs- und Ausdünnungs-Effekt beachtet werden: Demnach werden keine irrelevanten Inhalte in den Videos dargestellt und wichtige Aspekte deutlich hervorgehoben. Da diese Videos auch für mehrere Gruppen gleichzeitig abspielbar sein sollten, wird in diesem Zusammenhang die Vermeidung von Redundanzen nicht beachtet: Es werden vielmehr geschriebene und auditive Erklärungen in Dopplung eingesetzt. Durch diese Missachtung wird es möglich, die Videos auch ohne Ton sinnhaft anzuschauen. Die Modelle der Lernenden sollen in diesem Forschungsprojekt digital umgesetzt werden. Da in der Theorie keine Einigkeit über einen Königsweg zur Darstellung von Modellen (statisch vs. dynamisch) herrscht, werden beide Varianten als Ausprägungen einer unabhängigen Variable für die Intervention ausgearbeitet. Die dynamischen Modelldarstellungen werden von den Lernenden wie bei Sieve (2020) aufgrund der intuitiven Bedienung mit der App Stop-Motion umgesetzt. Ausgehend von diesen Videos zeigt sich nach Seibert et al. (2019) ein weiteres Potenzial für die Auswertung in Teil III des Forschungsprojekts: Die Modelldarstellungen können auch zur Diagnose der Lernendenvorstellungen und Einschätzung der Kompetenzniveaus bezüglich der Modellbildungskompetenz eingesetzt werden.

Neben dem Einsatz digitaler Medien im Zusammenhang mit Modellen im naturwissenschaftlichen Unterricht bieten diese wie zuvor beschrieben auch Potenziale im Bereich der Differenzierung und Individualisierung. Dazu sollen nun abschließend einige Ansätze vorgestellt werden. Zunächst ermöglicht computerbasiertes Scaffolding eine kontinuierliche Anpassung der Aufgaben an den Lernstand der Schüler\*innen, wodurch die Lernenden stets am Rande ihres Kompetenzumfangs agieren (Bransford et al., 2000). Genauer gesagt kann Software Impulse für anstehende oder abgeschlossene Ziele liefern, graphische Darstellungen anzeigen zur Visualisierung von Zusammenhängen im Problemlöseprozess oder Fortschrittsangaben tätigen, die den Schüler\*innen verdeutlichen, was sie schon geschafft haben und wie viel bis zum Erreichen des Lernziels noch fehlt (Reiser, 2004). Diesbezüglich bieten digitale Medien auch die

Möglichkeiten auf Bedürfnisse der Schüler\*innen individuell einzugehen: Bei Multitouch Learning Books (MLBs, interaktive e-Books) können beispielsweise Lerninhalte für unterschiedliche Schulen, Klassen, Schülergruppen oder einzelne Lernende integriert werden (Huwer & Brünken, 2018). Sind diese speziell für Experimentalsettings ausgelegt, spricht man von Multitouch Experiment Instructions (MEIs, Siebert et al., 2020). Dabei können Schüler\*innen selbst zwischen individuellen Hilfestellungen und Lernwegen mit unterschiedlichen Fokussen auswählen (Huwer & Eilks, 2017). Hierbei ist es wichtig, das digitale Lernangebot für alle Schüler\*innen gewinnbringend umzusetzen: Demzufolge müssen Hilfestellungen und Lernaufgaben für alle Leistungsniveaus in digitalen Unterstützungsmedien integriert sein (Hillmayr et al., 2017). Wird als digitales Medium Augmented Reality zur Unterstützung gewählt, zeigt sich außerdem der Vorteil, dass Hilfestellungen stets in räumlicher Nähe zu den Problemstellen dargeboten werden können, sodass die Hilfestellungen intuitiv anzuwenden sind (Huwer et al., 2019). Durch die Bereitstellung von Aufgaben und Hilfen unterschiedlicher Niveaus zur freien Auswahl sind die Lernenden ständig mit der Herausforderung konfrontiert, ihren aktuellen Leistungsstand einzuschätzen und reflektieren daher fortwährend ihren eigenen Lernprozess (Krause & Eilks, 2015). In diesem Zusammenhang wird es ebenso möglich, durch den Einsatz digitaler Medien im Unterricht überfachliche Kompetenzen wie beispielsweise das selbstregulierte Lernen zu fördern (Seibert et al., 2020). Außerdem kann durch den Einsatz digital gestützter Lernumgebungen ein individuelleres, materialbasiertes Lernen entsprechend des eigenen Tempos und der selbst gewählten Intensität stattfinden (Kienast et al., 2012). Dieses kann durch Aufgaben mit Self-Assessment unterstützt werden. Durch das unmittelbare Feedback durch die Software können die Lernenden sofort ihren aktuellen Leistungsstand einschätzen (ebd.).

Als Synergie aus den vorgestellten Potenzialen der Digitalisierung und der Differenzierung für den Lernzuwachs werden für die Intervention in Teil III einige digitale Differenzierungsaspekte umgesetzt: Zunächst werden Aufgaben mit Self-Assessment in der Intervention integriert, die ein unmittelbares Feedback zu den Bearbeitungen der Lernenden liefern und damit der Einschätzung der eigenen Kompetenzen zuträglich sind (Kienast et al., 2012). Daneben werden mit der Umsetzung der Einheit in Form von individuellen, interaktiven Präsentationen für die Schüler\*innen individuelle Lerntempi zugänglich. Darüber hinaus werden in der Präsentation Fortschrittsanzeiger integriert, sodass die Schüler\*innen sich stets über ihren Lernfortschritt informieren können. Diese Potenziale von Differenzierungsansätzen und digitalen Medien für den Unterricht sollen im Rahmen des Forschungsvorhabens in ihrer Eignung zur Förderung der Modellbildungskompetenz und des Fachwissens beurteilt werden. Dazu stellt das folgende Kapitel die Zielsetzung und die zentralen Fragestellungen vor.

### **3.3.2 Zielsetzung und Fragestellung**

Im theoretischen Hintergrund wurden grundsätzlich zwei Einflussfaktoren des Lernprozesses unterschieden: Differenzierungs- (Weinert & Helmke, 1996) und Digitalisierungsansätze (Eilks

& Marks, 2018). Auf Grundlage dieser Zweiteilung soll nun die Intervention aus Teil II derart aufbereitet werden, dass sich die Umsetzungen der Lerneinheit durch unterschiedliche Konzeptionen in Bezug auf Differenzierung und digitale Medien auszeichnen. Basierend auf diesen Varianten der Lerneinheit sollen unterschiedlich starke Veränderungen im Fachwissen bzw. in der MBK in Abhängigkeit von der Art der Differenzierung oder Digitalisierung identifiziert werden. In Bezug auf die Differenzierung sollen Hilfestellungen eingesetzt werden, die inhaltlich die Förderung der Modellbildungskompetenz oder des Fachwissens adressieren. Im Zusammenhang mit den digitalen Medien werden die Modelldarstellungen in beiden Varianten digital umgesetzt. Hierbei werden jedoch statische und dynamische Modelldarstellungen einander gegenübergestellt. Aus diesem Ansatz ergibt sich **Forschungsfrage 1**, die in Tabelle 27 für die verschiedenen abhängigen Variablen ausdifferenziert wird.

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage liefern die theoretischen Grundlagen Gründe zur Annahme, dass ein signifikanter Einfluss von der Art der Digitalisierung und Differenzierung auf den Kompetenzerwerb sowohl im Fachwissen als auch in der MBK ausgeht. Daraus werden die entsprechenden Hypothesen zu den dreifachen Interaktionseffekten (Zeit\*Differenzierung\*Digitalisierung) abgeleitet, welche ebenfalls in Tabelle 27 dargestellt werden. In Bezug auf den Einfluss der Art der digitalen Modelldarstellung zeigen sich für das Fachwissen und die MBK ähnliche Tendenzen. Dynamische Modelle in der Chemie gelten zwar als kognitiv anspruchsvoller in der Verarbeitung (Bus et al., 2015), zeichnen sich aber auch durch das Potenzial aus, ein tieferes Verständnis zu ermöglichen (Grzega & Schöner, 2008). Da eine tiefe Durchdringung dem Kompetenzaufbau zuträglich ist (Ziegler et al., 2012), kann bezüglich der MBK die Hypothese formuliert werden, dass Schüler\*innen, die während der Intervention zur Darstellung ihrer Modelle die dynamische Variante (Video) umsetzen, einen größeren Zuwachs bzgl. der MBK durch die Intervention erleben ( $H_1^{A,H1}$ ). Andererseits kann sich die Fokussierung auf die Dynamik der Teilchendarstellung umgekehrt unter Beachtung der cognitive load theory negativ auf den Fachwissenszuwachs auswirken (Karapanos et al., 2018). Da die Lerneinheit allerdings in Anlehnung an die Gestaltungsprinzipien entworfen wird, wird die kognitive Belastung auf ein Minimum reduziert, sodass sich für das Fachwissen ebenfalls die Hypothese aufstellen lässt, dass die Lernenden unter Anwendung der dynamischen Modelldarstellung einen größeren Zuwachs im Verlauf der Intervention zeigen ( $H_1^{B,H1}$ ). In Bezug auf die Wahl der Unterstützungsmöglichkeit wird vermutet, dass Schüler\*innen mit Unterstützung im Bereich des Fachwissens eine stärkere Entwicklung im Bereich des Fachwissens aufweisen, während für die Intervention mit Differenzierung bezüglich der Modellbildungskompetenz speziell bei der abhängigen Variable MBK und zugehörigen Subdimensionen ein stärkerer Zuwachs zu erwarten ist. Ausgehend davon lassen sich für beide abhängigen Variablen die entsprechenden Hypothesenpaare für die Interaktion Zeit\*Differenzierung formulieren (Tabelle 27).

Tabelle 27: Übersicht über Forschungsfrage 1 und zugehörige Hypothesen in Teil III

Abhängige Variable 1: Modellbildungskompetenz	Abhängige Variable 2: Fachwissen
<p><i>Forschungsfrage 1, A:</i></p> <p><i>Unterscheidet sich die Veränderung der Modellbildungskompetenz (MBK, <math>AV_1</math>) und der entsprechenden Subdimensionen von Schüler*innen in Abhängigkeit von der umgesetzten Art der Differenzierung und der umgesetzten Art der digitalen Modelldarstellung?</i></p>	<p><i>Forschungsfrage 1, B:</i></p> <p><i>Unterscheidet sich die Veränderung des Fachwissens (<math>AV_2</math>) von Schüler*innen in Abhängigkeit von der umgesetzten Art der Differenzierung und der umgesetzten Art der digitalen Modelldarstellung?</i></p>
<p>Hypothesen zum dreifachen Interaktionseffekt (Zeit*Differenzierung*Digitalisierung):</p> <p><math>H_0^{A,1}</math>: Die Veränderung der MBK und der entsprechenden Subdimensionen der Schüler*innen unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Arten der Differenzierung und nicht zwischen den beiden Arten der Digitalisierung.</p> <p><math>H_1^{A,1}</math>: Die Veränderung der MBK der Schüler*innen und der entsprechenden Subdimensionen unterscheidet sich zwischen den beiden Arten der Differenzierung und zwischen den beiden Arten der Digitalisierung statistisch signifikant.</p>	<p>Hypothesen zum dreifachen Interaktionseffekt (Zeit*Differenzierung*Digitalisierung):</p> <p><math>H_0^{B,1}</math>: Die Veränderung des Fachwissens der Schüler*innen unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Arten der Differenzierung und nicht zwischen den beiden Arten der Digitalisierung.</p> <p><math>H_1^{B,1}</math>: Die Veränderung des Fachwissens der Schüler*innen unterscheidet sich zwischen den beiden Arten der Differenzierung und zwischen den beiden Arten der Digitalisierung statistisch signifikant.</p>

<p>Hypothesen zum zweifachen Interaktionseffekt Zeit*Digitalisierung:</p> <p><math>H_0^{A,H1}</math>: Die Veränderung der MBK und der entsprechenden Subdimensionen der Schüler*innen unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Arten der Digitalisierung.</p> <p><math>H_1^{A,H1}</math>: Die Veränderung der MBK und der entsprechenden Subdimensionen der Schüler*innen liegt in der Gruppe der dynamischen Modelldarstellung statistisch signifikant höher als in der Gruppe mit der statischen Modelldarstellung.</p>	<p>Hypothesen zum zweifachen Interaktionseffekt Zeit* Digitalisierung:</p> <p><math>H_0^{B,H1}</math>: Die Veränderung des Fachwissens der Schüler*innen unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Arten der Digitalisierung.</p> <p><math>H_1^{B,H1}</math>: Das Fachwissen der Schüler*innen verändert sich in der Gruppe mit der dynamischen Modelldarstellung statistisch signifikant positiver als in der Gruppe mit der statischen Modelldarstellung.</p>
<p>Hypothesen zum zweifachen Interaktionseffekt Zeit*Differenzierung:</p> <p><math>H_0^{A,H2}</math>: Die Veränderung der MBK und der entsprechenden Subdimensionen der Schüler*innen unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Arten der Differenzierung.</p> <p><math>H_1^{A,H2}</math>: Die Veränderung der MBK und der entsprechenden Subdimensionen der Schüler*innen liegt in der Gruppe mit Hilfestellungen bzgl. der MBK statistisch signifikant höher als in der Gruppe mit Hilfestellungen bzgl. des Fachwissens.</p>	<p>Hypothesen zum zweifachen Interaktionseffekt Zeit*Differenzierung:</p> <p><math>H_0^{B,H2}</math>: Die Veränderung des Fachwissens der Schüler*innen unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Arten der Differenzierung.</p> <p><math>H_1^{B,H2}</math>: Die Veränderung des Fachwissens der Schüler*innen liegt in der Gruppe mit Hilfestellungen bzgl. des Fachwissens statistisch signifikant höher als in der Gruppe mit Hilfestellungen bzgl. der Modellbildungskompetenz.</p>

Darüber hinaus sollen analog zu Teil II Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Modellbildungskompetenz und Subdimensionen sowie auf das Fachwissen im Verlauf der Intervention im Zusammenhang mit **Forschungsfrage 2** erhoben werden, um herauszufinden, inwiefern Prädiktorvariablen zu Beginn die Entwicklung vorhersagen. Als Prädiktorvariablen wurden bereits in Kapitel 3.2.2 kompetenzbezogene, kognitive und motivationale Variablen identifiziert. An dieser Stelle sollen die Variablen noch einmal benannt werden: Als kompetenzbezogene Variable wird die Modellkompetenz der Schüler\*innen zu Beginn der Intervention erhoben. Zu den kognitiven Variablen zählen die Schulleistungen in naturwissenschaftlichen Fächern, welche in Form einer Selbstauskunft der letzten (Halbjahres-) Zeugnisnoten in diesen Fächern erhoben werden, und das Vorwissen. Das Fachinteresse und das naturwissenschaftsbezogene Fähigkeitsselbstkonzept werden als motivationale Variablen herangezogen. Daraus lässt sich folgende Forschungsfrage 2 ableiten:

*Forschungsfrage 2: Inwieweit wird die Veränderung ...*

*A) ... der Modellbildungskompetenz (AV<sub>1</sub>) während der Intervention durch kognitive Variablen (Schulleistungen in den Naturwissenschaften, Vorwissen), motivationale Variablen (Fachinteresse, naturwissenschaftliches Fähigkeitsselbstkonzept) und kompetenzbezogene Variablen (Modellkompetenz) vorhergesagt?*

*B) ... des Fachwissens (AV<sub>2</sub>) während der Intervention durch kognitive Variablen (Schulleistungen in den Naturwissenschaften, Vorwissen), motivationale Variablen (Fachinteresse, naturwissenschaftliches Fähigkeitsselbstkonzept) und kompetenzbezogene Variablen (Modellkompetenz) vorhergesagt?*

Im Kapitel 3.3.1 „Orientierung an der Wissenschaft Chemie: Kompetenzaufbau“ konnte gezeigt werden, dass sowohl das Fachinteresse und das naturwissenschaftsbezogene Fähigkeitsselbstkonzept als motivationale Variablen (Köller et al., 2006; Zander & Heidig, 2019) als auch die Schulleistungen und das Vorwissen als kognitive Variablen (Gobert & Pallant, 2004) einen positiven Einfluss auf den Kompetenzerwerb haben. Die Modellkompetenz stellt im Zusammenhang mit der Förderung der Modellbildungskompetenz eine spezielle Art des Vorwissens dar. Daraus leiten sich folgende Hypothesen für Forschungsfrage 2 ab:

AV<sub>1</sub>= Modellbildungskompetenz (MBK)

H<sub>0</sub><sup>A,2</sup>: Kognitive Variablen, motivationale Variablen und kompetenzbezogene Variablen sind keine signifikanten Prädiktoren für einen Zuwachs im Bereich der MBK.

H<sub>1</sub><sup>A,2</sup>: Kognitive Variablen, motivationale Variablen und kompetenzbezogene Variablen sind signifikante Prädiktoren für die Veränderung der MBK.

AV<sub>2</sub>= Fachwissen

H<sub>0</sub><sup>B,2</sup>: Kognitive Variablen, motivationale Variablen und kompetenzbezogene Variablen sind keine signifikanten Prädiktoren für einen Zuwachs im Bereich des Fachwissens.

H<sub>1</sub><sup>B,2</sup>: Kognitive Variablen, motivationale Variablen und kompetenzbezogene Variablen sind signifikante Prädiktoren für die Veränderung des Fachwissens.

### 3.3.3 Methodisches Vorgehen

#### Untersuchungsdesign

Zur Untersuchung der Forschungsfragen mit zugehörigen Hypothesen wird in diesem Teil des Forschungsvorhabens eine quasiexperimentelle Studie im 2x2-Prä-Post-Design (Bortz & Döring, 2006) durchgeführt. Die Intervention wird in diesem Zusammenhang in vier Versionen durchgeführt, bei denen die unabhängigen Variablen jeweils zweifach gestuft sind (vgl. Abbildung 41). Bezüglich der ersten unabhängigen Variable, der Art der digitalen Modelldarstellung, unterscheiden sich die Interventionsgruppen darin, ob die Lernenden im Verlauf der Intervention statische, digitale Modelle ( $UV_1=1$ ) oder dynamische, digitale Modelle ( $UV_1=2$ ) entwickeln. In Bezug auf die zweite unabhängige Variable, die Art der Differenzierung, erhalten die Schüler\*innen entweder Hilfestellungen zum Fachwissenserwerb ( $UV_2=1$ ) oder zur Förderung der Modellbildungskompetenz ( $UV_2=1$ ). Abgesehen von diesen Unterschieden bearbeiten alle Schüler\*innen dieselben Aufgaben innerhalb derselben Zeit. Alle Interventionen werden im Schülerlabor NanoBioLab an der Universität des Saarlandes in Anwesenheit einer Testleitung durchgeführt. Dabei werden die gesamten Klassenverbände den Interventionsgruppen zugeordnet.

	Statische, digitale Modelldarstellung ( $UV_1=1$ )	Dynamische, digitale Modelldarstellung ( $UV_1=2$ )
Unterstützung des Fachwissenserwerbs ( $UV_2=1$ )	<b>EG1</b> 	<b>EG2</b> 
Unterstützung der Förderung der MBK ( $UV_2=2$ )	<b>EG3</b> 	<b>EG4</b> 

Abbildung 41: 2x2-Design in Teil III

Die Intervention wird durch eine Prä-Post-Fragebogenerhebung begleitet (vgl. Anhang „XI. Fragebogen I-II, Studie in Teil III“). Dabei werden zu Beginn und im Anschluss an die Intervention mehrere Fragen von den Schüler\*innen bearbeitet. Der Fragebogen zum Prä-Zeitpunkt erhebt dabei die abhängigen Variablen, die Prädiktorvariablen und die Kontrollvariablen, während der Post-Fragebogen nur noch die abhängigen Variablen und die Kontrollvariablen umfasst. Die Kontrollvariablen (Alter, Geschlecht, Schulform, Klassenstufe, Schulleistungen in den naturwissenschaftlichen Fächern, individueller Code und die Experimentalbedingung) werden in diesem Teil auch zu beiden Messzeitpunkten erfasst, um eine Zuordnung der beiden

Messzeitpunkte zu einer Person zu garantieren, auch für den Fall, dass falsche, nicht zuordenbare oder unvollständige Codes verwendet werden. Als abhängige Variablen werden die Modellbildungskompetenz in ihren drei Subdimensionen und das Fachwissen ebenso zu beiden Messzeitpunkten erhoben. Die Prädiktorvariablen sind ausschließlich in der Prä-Erhebung integriert. Sie umfassen analog zu Teil II das Fachinteresse, das naturwissenschaftsbezogene Fähigkeitsselbstkonzept und die Modellkompetenz. Die Erhebungsinstrumente werden im folgenden Kapitel noch einmal ausführlicher dargestellt.

### Datenerhebung: Messinstrumente

Die Erhebungsinstrumente gestalten sich sehr ähnlich zu denen in Teil II. Ausgehend von der Diskussion der Ergebnisse in Teil II wurden allerdings einige Verbesserungen an den Erhebungsinstrumenten durchgeführt. Aus diesem Grund wird in Tabelle 28 (am Ende dieses Subkapitels) durch eine rote Färbung auf Neuerungen im Vergleich zu Teil II hingewiesen.

Zur Erfassung der **Kontrollvariablen** werden die meisten Erhebungsinstrumente aus Teil II übernommen. So können die Schüler\*innen auch in Teil III ihr Alter in einem offenen Format eintragen, ihr Geschlecht in einer Mehrfachwahlaufgabe angeben, die Klassenstufe aus mehreren Möglichkeiten (Klassenstufen 5 bis 13) auswählen und die Schulform in einem Item mit Einfachauswahl benennen. Darüber hinaus tragen die Lernenden erneut in einem Feld ihren individuellen Code zur Anonymisierung ein. In Ergänzung dazu wurde die Aufgabe zur Auswahl der Experimentalbedingung von zwei Symbolen auf vier erweitert. Hierbei gab die Testleitung jeweils für die Klasse das passende Symbol vor, welches die Lernenden aus den nun vier verschiedenen vorgegebenen Möglichkeiten auswählten. Die Symbole sind Abbildung 41 zu entnehmen.

Im Zusammenhang mit den **Prädiktorvariablen** wurden einige Erhebungsinstrumente aus Teil II übernommen. So bleiben die Ratingskalen zum Fachinteresse und naturwissenschaftsbezogenen Fähigkeitsselbstkonzept (jeweils: 5 Punkt-Likert-Skala mit 1= *trifft gar nicht zu*/ 2=*trifft wenig zu*/ 3=*trifft teilweise zu*/ 4=*trifft ziemlich zu*/ 5= *trifft völlig zu*) von Überarbeitungen unberührt. Gleichmaßen werden auch die Items zur Modellkompetenz aus Teil II als Kombination aus Items offenen Formats nach Grünkorn et al. (2014) und Items geschlossenen Formats nach Engelschalt (2021) übernommen. Bei den Items mit offenem Format (jeweils ein Item zu *Eigenschaften von Modellen* und *Alternative Modelle*) handelt es sich analog zu Teil II um Satzanfänge, die die Schüler\*innen entsprechend ihrer Vorstellungen vervollständigten, während die Items mit geschlossenem Format je Subdimension fünf Aussagen einer 5 Punkt-Likert-Skala (1= *trifft gar nicht zu*/ 2=*trifft wenig zu*/ 3=*trifft teilweise zu*/ 4=*trifft ziemlich zu*/ 5= *trifft völlig zu*) umfassen. Bezüglich der Items zu den beiden kognitiven Variablen wurden Überarbeitungen zu Teil II vorgenommen. Die Schulleistungen werden nun in einem geschlossenen Format abgeprüft, bei dem die Lernenden jeweils ihre Note aus den Punktzahlen 00 (ungenügend) bis 15 (sehr gut) auswählen. Falls sie eines der vier naturwissenschaftlichen Fächer (Biologie, Chemie, Physik, Naturwissenschaften) noch nicht hatten, können sie „99 (noch nicht

gehabt)“ auswählen. Bei der zweiten kognitiven Variable, dem Vorwissen, wurden die beiden bestehenden Items mit halboffenem Format in ihrer Formulierung präzisiert. Beispielsweise wurde das Item zur Definition einer chemischen Reaktion von „Definiere den Begriff *chemische Reaktion*.“ zu „Gib Eigenschaften einer chemischen Reaktion auf Stoffebene und Teilchenebene an.“ erweitert. Außerdem wurden bei dem Item mit geschlossenem Format zwei weitere Wahlmöglichkeiten zur Darstellung einer chemische Reaktion im Atommodell nach DALTON ergänzt. Darüber hinaus wurde ein weiteres Item im geschlossenen Format ergänzt, welches einen weiteren Aspekt des Vorwissens abdeckt, der in Teil II in dieser Form nicht berücksichtigt wurde. Dabei geht es um die Darstellung von Molekülen im Atommodell nach DALTON. Die Schüler\*innen erhalten die Darstellung eines Moleküls und vier Aussagen, bei denen sie jeweils entscheiden sollen, ob diese auf das dargestellte Molekül zutrifft.

Bei den **abhängigen Variablen Modellbildungskompetenz und Fachwissen** werden die Items der Modellbildungskompetenz aus Teil II übernommen. In diesem Zusammenhang wird demnach weiterhin eine Kombination aus Items mit geschlossenem Format aus der Ratingskala nach Engelschalt (2021) und Items offenen Formats nach Grünkorn et al. (2014) eingesetzt. Die Schüler\*innen beurteilen weiterhin zu jeder Subdimension der Modellbildungskompetenz (*Zweck, Testen und Ändern von Modellen*) das Zutreffen von fünf Aussagen mit einer 5 Punkt-Likert-Skala (1= *trifft gar nicht zu*/ 2=*trifft wenig zu*/ 3=*trifft teilweise zu*/ 4=*trifft ziemlich zu*/ 5= *trifft völlig zu*). Darüber hinaus vervollständigen die Schüler\*innen je einen Satzanfang pro Subdimension. Zur Variable Fachwissen wurden die Messinstrumente im Vergleich zu Teil II ergänzt. Hier erhalten die Schüler\*innen drei Items im geschlossenen Format und jeweils ein zugehöriges Item im offenen Format statt zuvor nur je zwei, bei denen die Lernenden ihre Auswahl von zuvor begründen sollen. Dabei dient erneut ein Item zur Massenerhaltung im Boyle-Versuch nach Johannsmeyer et al. (2003) in Verbindung mit der Aufforderung zur Begründung als ein Paar aus Items mit offenem und geschlossenem Format. Das selbst entwickelte Item, bei dem die Schüler\*innen aus vier beschriebenen Versuchsaufbauten, diejenigen auswählen sollen, bei denen die Masse gleich bleibt, und die zugehörige Begründung bildet die zweite Kombination. Diese beiden Paare aus Items waren auch in Teil II in dieser Form integriert und werden nun durch ein weiteres Itempaar ergänzt. In diesem Paar wird das Item mit geschlossenem Format nach Petermann et al. (2009) übernommen. Die Schüler\*innen erhalten in diesem einen Versuchsaufbau ähnlich zu dem Beispiel bei Johannsmeyer et al. (2003), bei dem sie das Verhalten der Gesamtmasse beurteilen, allerdings wird hierbei die Verbrennung von Schwefel thematisiert an Stelle des Boyle-Experiments. Auch hier geben die Schüler\*innen in einem zugehörigen Item mit offenem Format eine Begründung ihrer Auswahl an.

Tabelle 28: Übersicht über die Erhebungsinstrumente in Teil III, rot: Überarbeitung zu Instrumenten in Teil II

Variablen		Format	Anzahl der Items	Quelle	Erhebungszeitpunkt	
					T=0	T=1
Abhängige Variablen	Modellbildungskompetenz AV <sub>1</sub>	offen	3	Grünkorn et al. (2014)		
		geschlossen	15	Engelschalt (2021)	X	X
	Fachwissen AV <sub>2</sub>	offen	3	selbst entwickelt		
		geschlossen	3	Johannsmeyer et al. (2003), Petermann et al. (2009)	X	X
Prädiktorvariablen	kognitiv: Schulleistungen in Naturwissenschaften	geschlossen	4	selbst entwickelt	X	
	kognitiv: Vorwissen	halboffen	2	selbst entwickelt		
		geschlossen	2	selbst entwickelt	X	
	motivational: Fachinteresse	geschlossen	11	Bergmann (2020)	X	
	motivational: naturwissenschaftsbezogenes Fähigkeitsselbstkonzept	geschlossen	6	PISA (Frey et al., 2009)	X	
	kompetenzbezogen: Modellkompetenz	offen	2	Grünkorn et al. (2014)		
geschlossen		10	Engelschalt (2021)	X		
Kontrollvariablen	Alter	offen	1	selbst entwickelt	X	X
	Geschlecht	geschlossen	1	selbst entwickelt	X	X
	Klassenstufe	geschlossen	1	selbst entwickelt	X	X
	Schulform	geschlossen	1	selbst entwickelt	X	X
	Experimentalbedingung	geschlossen	1	selbst entwickelt	X	X
	Individueller Code	offen	1	(Pöge, 2008)	X	X

## Ergebnisse der Reliabilitätsanalysen

Zunächst werden die Ergebnisse der **Inter-Rater-Reliabilitäten** vorgestellt. Für alle Items mit offenem Format fand eine Quantifizierung durch zwei unabhängige Rater statt. Die Kodierung für die Items im offenen Format entspricht einer Zuweisung zu den Niveaustufen der Modell- und Modellbildungskompetenz (zu beendende Satzanfänge) nach der Vorlage von Grünkorn et al. (2014). Dabei zeigen sich allerdings auch Fälle, die sich nach diesen Vorgaben keiner Niveaustufe zuordnen lassen. Für diese Fälle wird das Kodiermanual erweitert. Ein Auszug aus dem erweiterten Kodiermanual für die Zuordnung zu den Niveaustufen ist in Abbildung 42 dargestellt. Die Erweiterungen zu Grünkorn et al. (2014) werden dort in rot hervorgehoben. Bezüglich des Vor- und Fachwissens findet die Kodierung auf Grundlage einer Musterlösung statt. Das vollständige Manual kann Anhang „XII. Kodiermanual Fragebögen, Teil III“ entnommen werden.

<u>Auszug aus dem Kodiermanual</u>			
Seite 13: Modellkompetenz (offen)			
„Die Modelle dienen dazu, dass ... (Z_o_0)			
Niveau 0 = 0 P.	Niveau I = 1 P.	Niveau II = 2 P.	Niveau III = 3 P.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nicht durchgenommen/ wir hatten noch keine Modelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Modell zum Darstellen eines Sachverhalts</b> (Das Modell hat den Zweck, Merkmale/Sachverhalte des Originals darzustellen.) besser sehen, vorstellen, beschreiben</li> <li>• <b>Modelle als entbehrliche Kopie der Originale</b> (Modelle werden verwendet, damit das Original nicht kaputt geht)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Modell zum Erkennen/Erklären von Zusammenhängen</b> ( Das Modell hat den Zweck, Zusammenhänge zwischen verschiedenen Aspekten im Original zu erklären und bekannte Tatsachen nachzuvollziehen.)</li> <li>• <b>Modell zum Lernen</b> ( Das Modell hat den Zweck, in Chemie besser lernen zu können./ etwas besser zu verstehen.)</li> <li>• <b>Untersuchungen durchführen</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Modell zum Überprüfen von Ideen</b> (Das Modell hat den Zweck, Voraussagen über das Original abzuleiten. Das Modell hat den Zweck, Hypothesen über das Original zu prüfen und Schlüsse über das Original zu ziehen. Das Modell hat den Zweck, Erkenntnisse über das Original auf andere Phänomene zu übertragen. Modelle zum Erforschen der Realität.)</li> </ul>

Abbildung 42: Auszug aus dem Kodiermanual der Erhebung in Teil II  
rot: Ergänzungen zum Kodiermanual nach Grünkorn et al. (2014)

Mit den resultierenden beiden Ratings wird das Maß der Übereinstimmung zwischen den kodierten Werten der beiden Beurteiler\*innen bestimmt. Dies geschieht für mindestens intervallskalierte Kategorien, wozu in diesem Teil die Items aus Ratingskalen z.B. zur Modell- und Modellbildungskompetenz zählen, mittels Intra-Klassenkorrelationskoeffizienten (IKK). Für mindestens ordinalskalierte Kategorien kann das gewichtete Cohens Kappa Aufschluss über das Maß der Übereinstimmung liefern (Döring & Bortz, 2016). Zur Beurteilung des Grads der

Übereinstimmung zwischen den beiden Ratern werden nun die Ergebnisse der Inter-Rater-Reliabilitäten berichtet, welche in Tabelle 29 zusammengestellt sind.

Tabelle 29: Werte der Inter-Rater-Reliabilitäten für die Kodierung in Teil III

Variable	Wortlaut des Items	Inter-Rater-Reliabilität
Fachwissen (T=0)	„Begründe bitte deine Vermutung, ob die Masse im oben beschriebenen Versuch zunimmt, gleich bleibt oder abnimmt.“	$r=.78$ , Sig. .000
	„Begründe bitte deine Auswahl, bei welchem Versuchsaufbau/ bei welchen Versuchsaufbauten die Gesamtmasse gleich bleibt.“	$r=.98$ , Sig. .000
Fachwissen (T=1)	„Begründe bitte deine Vermutung, ob die Masse im oben beschriebenen Versuch zunimmt, gleich bleibt oder abnimmt.“	$r=.76$ , Sig. .000
	„Begründe bitte deine Auswahl, bei welchem Versuchsaufbau/ bei welchen Versuchsaufbauten die Gesamtmasse gleich bleibt.“	$r=.77$ , Sig. .000
Vorwissen (T=0)	„Definiere den Begriff „chemische Reaktion“.“	$r=.85$ , Sig. .000
	„Gib die Wortgleichung zur Verbrennung von Magnesium an.“	$r=.80$ , Sig. .000
Modell- kompetenz (T=0)	Eigenschaften von Modellen: „Die Beziehung zwischen Modell und Original besteht darin, dass...“	$\kappa_w=.53$ , Sig. .000
	Alternative Modelle: „Mehrere Modelle zu einem Original sind sinnvoll, weil...“	$\kappa_w=.52$ , Sig. .000
Modell- bildungs- kompetenz (T=0)	Zweck von Modellen: „Modelle dienen dazu, dass...“	$\kappa_w=.66$ , Sig. .000
	Testen von Modellen: „Modelle überprüft man, indem...“	$\kappa_w=.64$ , Sig. .000
	Ändern von Modellen: „Modelle werden verändert, weil...“	$\kappa_w=.49$ , Sig. .000
Modell- bildungs- kompetenz (T=1)	Zweck von Modellen: „Modelle dienen dazu, dass...“	$\kappa_w=.87$ , Sig. .000
	Testen von Modellen: „Modelle überprüft man, indem...“	$\kappa_w=.75$ , Sig. .000
	Ändern von Modellen: „Modelle werden verändert, weil...“	$\kappa_w=.58$ , Sig. .000

Für das Fachwissen (T=0 und T=1) sowie das Vorwissen wurden zur Einschätzung der Inter-Rater-Reliabilitäten Intra-Klassen-Korrelationen ( $r$ ) herangezogen, da es sich hier um metrische Variablen handelt.

Für die Modellbildungskompetenz als ordinalskalierte Variable wird die Beurteilerübereinstimmung mit Hilfe des gewichteten Cohens Kappa ( $\kappa_w$ ) eingeschätzt.

Für die Items mit offenen Formaten ergeben sich in den Analysen mittelmäßige ( $\kappa_w=.49$ <sup>11</sup> für Ändern von Modellen zum Zeitpunkt T=0) bis sehr gute Übereinstimmungen ( $r=.98$ <sup>12</sup> für Fachwissen, 2. Item zu T=0). Aus diesem Grund können die Ratings für weitere Analysen verwendet

<sup>11</sup> Für das gewichtete Cohens Kappa zählen Werte zwischen .4 und .6 als mittelmäßige Übereinstimmung, Werte zwischen .6 und .75 als gute Übereinstimmung und Werte über .75 als exzellente Übereinstimmung (Cohen, 1988).

<sup>12</sup> Für die Intra-Klassen-Korrelation gelten Werte unter .5 als geringe Übereinstimmung, Werte zwischen .5 und .75 als mäßige Übereinstimmung, Werte zwischen .75 und .9 als gute Übereinstimmung sowie Werte über .9 als ausgezeichnete Übereinstimmung (Koo & Li, 2016).

werden. Um aus den beiden Ratings einen gültigen Wert für die Analysen zu generieren, werden übereinstimmende Werte bei beiden Ratern übernommen. Bei Uneinigkeit in den Ratings findet für jeden Fall ein Austausch zwischen den Ratern statt, der in einer Konsensbildung mit Festlegung eines gültigen Werts mündet.

Für jede der angenommenen Skalen werden **Reliabilitätsanalysen** zur Einschätzung der internen Konsistenz durchgeführt. In Tabelle 30 werden die Reliabilitäten aller Skalen zusammengestellt.

Die Reliabilitätsanalysen für die rein geschlossenen Skalen zum Fachinteresse (gefühlbezogenen Valenzen, wertbezogenen Valenzen, intrinsische Orientierung und Gesamtskala) weisen mit Werten zwischen  $\alpha=.72$  und  $\alpha=.88$ <sup>13</sup> eine gute Zuverlässigkeit auf. Ebenso verhält es sich mit der Skala des naturwissenschaftsbezogenen Fähigkeitsselbstkonzepts und den Schulleistungen in den naturwissenschaftlichen Fächern. Beide weisen eine Reliabilität von  $\alpha=.88$  auf, sodass diese Skalen als solche zur Mittelwertbildung für weitere Auswertungen herangezogen werden können. Im Zusammenhang mit der Modellkompetenz und ihren Subdimensionen *Eigenschaften von Modellen* und *Alternative Modelle* zeigt sich kein so zufriedenstellendes Bild: Für die Skala *Eigenschaften von Modellen* liegt die Reliabilität der Skala mit ausschließlich Items geschlossenen Formats bei  $\alpha=.46$  und damit im inakzeptablen Bereich, während sich für die gemischte Skala ein ähnliches Bild ( $\alpha=.45$ ) zeigt. Für die Subdimension *Alternative Modelle* liegen die Werte geringfügig höher: Für die Skala mit ausschließlich Items geschlossenen Formats bei  $\alpha=.59$ , für die Skala mit Items gemischter Formate bei  $\alpha=.56$ . Damit können diese Reliabilitäten als gerade akzeptabel angesehen werden. Auf Analysen auf Ebene der Subdimensionen wird dennoch verzichtet, da keine Reliabilitäten größer als .6 erreicht wurden. Die übergeordneten Skalen der Modellkompetenz hingegen zeigen mit  $\alpha=.66$  für die rein geschlossene Skala und  $\alpha=.67$  für die gemischte Skala eine gute Zuverlässigkeit, weshalb in dieser Erhebung ausschließlich die Oberskala als solche für weitere Analysen verwendet wird. Da beide Varianten der Skala gute Werte lieferten, werden alle zugehörigen Items (Items mit geschlossenem und offenem Format) zur Bildung der Skala herangezogen.

---

<sup>13</sup> Interne Konsistenzen kleiner als .5 gelten als inakzeptabel, kleiner als .6 als schlecht, kleiner .7 fragwürdig, kleiner .8 als akzeptabel, kleiner .9 als gut und größer als exzellent (Blanz, 2015).

Tabelle 30: Übersicht über die Skalen in Teil III mit zugehörigen Reliabilitäten, **in rot dargestellt sind inakzeptable Werte**  
 (für Skalen mit Items gemischter und offener Formate: g: Reliabilität aller Items geschlossenen Formats, g+o: Reliabilität aller Items geschlossenen und offenen Formats)

Name der Skala	Anzahl der Items	Beispielitem	Reliabilitäten zu T=0	Reliabilitäten zu T=1
Fachinteresse (Gesamtskala)	14	"Mich mit Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie zu befassen, gehört zu meinen Lieblingsbeschäftigungen."	$\alpha=.88$	/
Gefühlsbezogene Valenzen	5	„Wenn ich mich mit Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie beschäftige, bekomme ich gute Laune.“	$\alpha=.78$	/
Wertbezogene Valenzen	5	„Das Fach Chemie ist für mich persönlich wichtig.“	$\alpha=.72$	/
Intrinsische Orientierung	3	„Wenn ich mehr Zeit hätte, würde ich mich intensiver mit Themen und Fragestellungen des Faches Chemie beschäftigen.“	$\alpha=.77$	/
Naturwissenschaftsbezogenes Fähigkeitsselbstkonzept (Gesamtskala)	6	„Ich glaube, dass ich anspruchsvollen Stoff im Chemieunterricht leicht lernen kann.“	$\alpha=.88$	/
Schulleistungen in naturwissenschaftlichen Fächern (Gesamtskala)	4	„Trage hier bitte deine letzte (Halb-) Jahreszeugnisnote aus den NW-Fächern im 15-Punkte System ein.“	$\alpha=.88$	/
Modellkompetenz (Gesamtskala)	10 +2 (offen)	„Ein Modell umfasst, was Modellierer bezüglich des Originals vermuten.“	$\alpha=.66$ (g) $\alpha=.67$ (g + o)	/
Eigenschaften von Modellen	5 +1 (offen)	„Ein Modell verbindet ein Original mit theoretischen Aspekten.“	$\alpha=.46$ (g) $\alpha=.45$ (g + o)	/
Alternative Modelle	5 +1 (offen)	„Es gibt verschiedene Modelle, weil es verschiedene theoretische Interpretationen des Originals gibt.“	$\alpha=.59$ (g) $\alpha=.56$ (g + o)	/
Vorwissen (Gesamtskala)	2 +2 (offen)	„Gib Eigenschaften einer chemische Reaktion auf Stoff- und Teilchenebene an.“	$\alpha=.34$ (g + o)	/

Fachwissen (Gesamtskala)	3 +3 (offen)	„Bei welchem beschriebenen Versuchsaufbau/ welchen beschriebenen Versuchsaufbauten ist die Gesamtmasse vor und nach der Reaktion gleich?“	$\alpha=.78$ (g + o)	$\alpha=.72$ (g + o)
Modellbildungskompetenz (Gesamtskala)	15 +3 (offen)	„Modelle werden getestet, indem man prüft, ob sich das Modell auf das Ausgangsobjekt anwenden lässt.“	$\alpha=.79$ (g) $\alpha=.80$ (g + o)	$\alpha=.84$ (g) $\alpha=.85$ (g + o)
Zweck von Modellen	5 +1 (offen)	„Ein Modell dient als Forschungswerkzeug.“	$\alpha=.55$ (g) $\alpha=.52$ (g + o)	$\alpha=.68$ (g) $\alpha=.66$ (g + o)
Testen von Modellen	5 +1 (offen)	„Modelle werden getestet, indem Hypothesen über das Original mit dem Modell überprüft werden.“	$\alpha=.56$ (g) $\alpha=.53$ (g + o)	$\alpha=.69$ (g) $\alpha=.65$ (g + o)
Ändern von Modellen	5 +1 (offen)	„Ein Modell wird verändert, wenn die Ergebnisse von Experimenten den Modellvorhersagen widersprechen.“	$\alpha=.66$ (g) $\alpha=.67$ (g + o)	$\alpha=.69$ (g) $\alpha=.70$ (g + o)

Die Skala Vorwissen setzt sich aus zwei Items mit geschlossenem Format und zwei Items mit offenem Format zusammen, die sich gemeinsam durch eine Reliabilität von  $\alpha = .34$  auszeichnen. Dieser Wert muss als nicht akzeptabel eingestuft werden. Trotz dieser geringen Reliabilität soll aus forschungstechnischen Gründen und zum Zweck der besseren Übersichtlichkeit weiterhin mit der Skala gerechnet werden. Die resultierenden Ergebnisse müssen allerdings in diesem Fall deutlich vorsichtiger interpretiert werden und werden demzufolge intensiver diskutiert. Für die Skala des Fachwissens zeigen sich für beide Messzeitpunkte sehr gute Reliabilitäten von  $\alpha = .78$  (T=0) und  $\alpha = .72$  (T=1). Die Skala kann demzufolge für weitere Analysen als solche verwendet werden. Zuletzt werden die Reliabilitäten der Skala Modellbildungskompetenz mit ihren Subdimensionen *Zweck*, *Testen* und *Ändern von Modellen* beschrieben. Es zeigt sich grundsätzlich, dass die Reliabilitäten der Subskalen zu beiden Zeitpunkten unter denen der Gesamtskala liegen. Zum Zeitpunkt T=0 liegen beispielsweise die Zuverlässigkeiten für den *Zweck von Modellen* sowohl für die rein geschlossene Skala ( $\alpha = .55$ ) als auch die gemischte Skala ( $\alpha = .52$ ) knapp unterhalb von .6 für akzeptable Werte. Für die Subdimension *Testen von Modellen* zu T=0 zeigt sich ein ähnliches Bild: Für die Skala mit ausschließlich Items geschlossenen Formats liegt die Reliabilität bei  $\alpha = .56$ , für die Skala mit sowohl Items geschlossenen als auch offenen Formats bei  $\alpha = .53$ . Auch hierbei liegen die Werte knapp unterhalb des akzeptablen Bereichs. Die Werte für die Skala *Ändern von Modellen* (nur geschlossen:  $\alpha = .66$  und gemischt:  $\alpha = .67$ ) liegen im zufriedenstellenden Bereich. Ausgehend von der Tatsache, dass sich damit die drei Subskalen alle in ihren Reliabilitäten um den akzeptablen Wert von .6 herum bewegen, und unter der Sichtweise, dass genauere Einblicke in die Struktur der Modellbildungskompetenz generiert werden sollen, werden die Skalen für die Subdimensionen als solche weiterhin verwendet. Für die Gesamtskala zum Zeitpunkt T=0 zeigt sich, dass die Reliabilitäten bei  $\alpha = .79$  (g) und  $\alpha = .80$  (g+o) liegen. Daher kann die Gesamtskala in beiden Varianten ohne Bedenken für weitere Analysen verwendet werden. Die Zuverlässigkeit dieser vier Skalen zeigt sich zum Messzeitpunkt 2 für alle Skalen als akzeptabel bis gut ( $\alpha = .65$  bis  $\alpha = .85$ ). Dadurch wird auch zum Zeitpunkt 2 eine Skalenbildung ermöglicht.

### Intervention

Bei der Intervention handelt es sich wie in Teil II um eine Unterrichtseinheit zum Thema „Gesetz der Erhaltung der Masse“ für die Klassenstufe 8 bis 9. Diese Einheit umfasst drei Zeitstunden, in denen die Schüler\*innen wie in der Intervention in Teil II zunächst eine vorbereitende Einheit durchlaufen, bevor sie das „Gesetz der Erhaltung der Masse“ in der Haupteinheit erarbeiten. Um das Vorwissen der Schüler\*innen für die Lerneinheit zu sichern, wurde ein Arbeitsblatt zur Vorbereitung auf die Intervention entwickelt und an die Lehrkräfte mindestens zwei Wochen vor Durchführung der Intervention übermittelt. Die Inhalte dieses Arbeitsblatts (vgl. Anhang „XIII. Vorbereitendes Arbeitsblatt zur Intervention in Teil III inklusive Musterlösung“) sind das Atommodell nach DALTON, welches im Verlauf der Einheit zur Modelldarstellung angewendet werden soll, die „chemische Lupe“, die den Übergang zwischen der Real-

und Modellwelt visualisiert, sowie die Eigenschaften einer chemischen Reaktion auf Stoff- und Teilchenebene. Zu Beginn werden die Kernaussagen des Atommodells nach DALTON vorgestellt und diese anschließend auf Teilchendarstellungen angewendet. Die Schüler\*innen stellen Moleküle als Zusammenschluss mehrerer Teilchen dar oder lesen aus der Teilchendarstellung des Moleküls die Zusammensetzung der chemischen Verbindung ab. Anschließend wird das Prinzip der „chemischen Lupe“ (Wolf, 2018) in einem Einführungstext erklärt, bevor die Lernenden das Prinzip der „chemischen Lupe“ an einem vorgegebenen Beispiel zum Element Schwefel beschreiben. Im dritten Teil werden zunächst die Eigenschaften einer chemischen Reaktion aufgefrischt. Dazu soll zunächst ein Zugang auf stofflicher Ebene hergestellt werden: Über einen QR-Code erhalten die Schüler\*innen Zugang zu einem Video, das die chemische Reaktion zwischen Kupfer und Schwefel zeigt. An dem entstandenen Kupfersulfid (blau glänzender, spröder Feststoff) wird deutlich, dass während einer chemischen Reaktion ein neuer Stoff mit neuen Stoffeigenschaften entsteht (im Vergleich Kupfer: oranger, verformbarer Feststoff mit metallischem Glanz, Schwefel: gelber Feststoff). Im Anschluss daran notieren die Lernenden die Wortgleichung zur Reaktion (Kupfer + Schwefel  $\rightarrow$  Kupfersulfid) und stellen die Vorgänge während der chemischen Reaktion von Kupfer und Schwefel mit Hilfe der „chemischen Lupe“ auf Teilchenebene dar. Hierbei soll vor allem das Verständnis reaktiviert werden, dass bei einer chemischen Reaktion die Teilchen umgruppiert und weder neu geschaffen noch vernichtet werden.

Die gesamte Intervention wird im Schülerlabor NanoBioLab durchgeführt. Für die Zeit der Intervention erhalten die Schüler\*innen ein iPad inklusive Apple Pencil mit einer interaktiven Keynote-Präsentation, die die Lernenden während der gesamten Einheit begleitet (Beispielseite in Abbildung 43 dargestellt). Durch diese Präsentation können sich die Lernenden innerhalb der Intervention interaktiv von Arbeitsauftrag zu Arbeitsauftrag bewegen und Notizen sowie Fotos bzw. Videos integrieren. Die 1 zu 1- Ausstattung der Lernenden macht es den Schüler\*innen möglich, die Intervention in ihrem individuellen Lerntempo zu durchlaufen.

**Verbrennungen im Alltag**

Hier siehst du Fotos zu Verbrennungen im Alltag.

**Hilfeseite zur Bedienung des Dokuments**

Wie bediene ich diese Datei insgesamt? Wie mache ich mir Notizen in diesem Dokument? Wie gehe ich mit externen Verlinkungen um? Wie füge ich Fotos oder Videos in diese Datei ein?

**Wortwolke zu Verbrennungen im Alltag**

verschiedene stufen der verbrennung  
 heißes wasser explosionsen herdplatte sonnenbrand  
 verbrennungsmotor ofen tee kochen glätteisen  
 wasserkocher holz grill feuerzeug motor  
 verbrennungsanlagen herd **feuer** zigarette auspuff  
 dampfpflok rauchen essen bügeleisen kamin auto fahren  
 brot zu lang gebacken streichholz holz verbrennen kerzenwachs kalorien

**Verbrennungen im Alltag**

**Aufgabe 1:** Notiere alles, was dir zu Verbrennungen aus deinem Alltag einfällt.

**Verbrennungen im Alltag:**

**Aufgabe 2:** Sammle mit deinem Partner/ deiner Partnerin die wichtigsten Ideen.

**Verbrennungen im Alltag:**

**Aufgabe 3:** Vergleicht eure gemeinsamen Ideen mit der hier vorgegebenen Wortwolke.

**Titel,  
Navigationstasten,  
Hilfe zur Bedienung**

**Aufgabenstellungen,  
Notizfelder,  
Verlinkungen**

**Lernfortschritt**

Abbildung 43: Beispielseite der begleitenden, interaktiven Präsentation in der Intervention, Teil III

Die gesamte Präsentation weist ein einheitliches Grundlayout auf (vgl. Abbildung 43): Dieses besteht aus einer Kopfzeile, einem Bearbeitungsbereich und einer Fußzeile. Die Kopfzeile umfasst das Thema des aktuellen Arbeitsauftrags, Navigationstasten, ein Symbol für die aktuell angewendete Sozialform und einen Info-Button, hinter dem Informationen zum Umgang mit der Datei verlinkt sind. Die Fußzeile ermöglicht ebenfalls eine Interaktion und Bewegung durch die einzelnen Schritte der Intervention, dient allerdings hauptsächlich zur Übersicht über den Fortschritt innerhalb der Lerneinheit. In der Fußzeile ist immer das Symbol der aktuellen Phase in bunt dargestellt, während die Symbole aller anderen Phasen grau eingefärbt sind. In der Mitte jeder Folie befindet sich der Bearbeitungsbereich. Dieser ist je nach Aufgabenstellung unterschiedlich gestaltet. Die Arbeitsaufträge sind allerdings in jedem Fall in operationalisierter Form angegeben. Je nach Aufgabe ist in diesem Bereich Platz für Notizen. Die Farbgebung der Folien unterscheidet sich in Abhängigkeit vom Fokus des aktuellen Arbeitsauftrags: Folien im blauen Layout stellen Einführungsfolien dar, orangene beinhalten Aufgaben auf der Stoffebene, während Folien im grünen Layout Arbeitsaufträge auf der Modellebene darstellen. Durch diese farbliche Unterscheidung sollen die Schüler\*innen explizit Bezüge zu den unterschiedlichen Repräsentationsebenen der Chemie herstellen und Übergänge wahrnehmen. Auf einigen Seiten sind außerdem runde grüne oder rote Symbole zu finden. Hinter den grünen Icons befinden sich Hilfestellungen. Die Art der Hilfestellung ist an dem Symbol erkennbar (Unterscheidung zwischen Verständnis-Tipps, Hilfen zum Fachwissen, Hilfen zur Modellbildungskompetenz). Hinter den roten Symbolen sind Pflichtaufgaben hinterlegt, die die Schüler\*innen in jedem Fall bearbeiten müssen. Die folgende Abbildung 44 stellt alle verwendeten Icons aus der interaktiven Präsentation mit ihren Funktionen zusammen.



Abbildung 44: Verwendete Icons in der begleitenden, interaktiven Präsentation, Teil III

In der Präsentation finden die Lernenden auf insgesamt vier Folien jeweils ein STOP-Symbol. Diese Folien geben den Lernenden an, dass sie sich zu diesem Zeitpunkt an die Testleitung wenden sollen, um weitere Instruktionen zu erhalten. Diese STOP-Stellen ermöglichen es der Testleitung, den Lernfortschritt aller Partnergruppen im Blick zu behalten sowie die Zwischenergebnisse zu sichten und ggf. eine Nacharbeit anzuregen. Umrahmt wird die Intervention durch begleitende Fragebögen. Der Prä-Fragebogen wird dabei von den Lernenden vor Beginn der Einheit und der Post-Fragebogen zum Abschluss der Intervention ausgefüllt. In Abbildung 45 ist der grundlegende Aufbau der Intervention inklusive der beiden Erhebungszeitpunkte dargestellt. Die Intervention wird entsprechend des zuvor beschriebenen Untersuchungsdesigns in vier Varianten durchgeführt. Zunächst soll allerdings das grundlegende Vorgehen während der Intervention beschrieben werden, welches für alle vier Gruppen identisch ist. Im Anschluss daran werden die Einzelheiten bezüglich der vier Experimentalgruppen aufgezeigt.

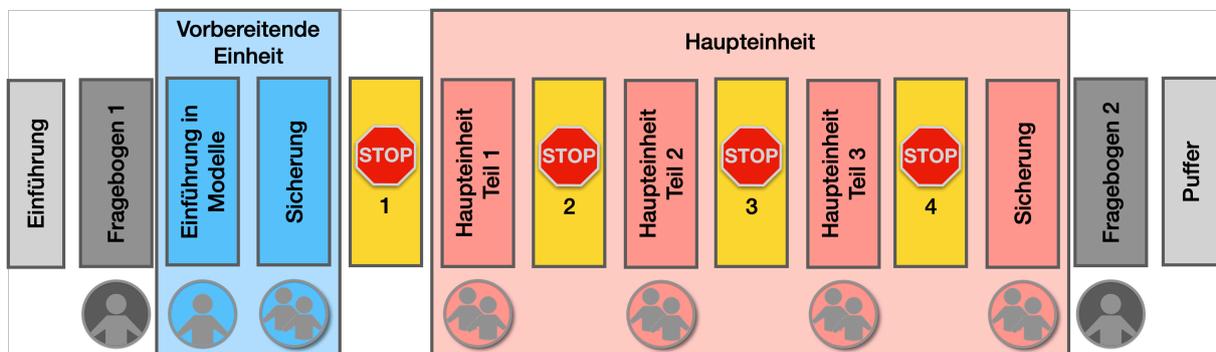


Abbildung 45: Übersicht über den Ablauf der Intervention in Teil III

Zu Beginn der Intervention findet eine Einführung durch die Testleitung statt. Dabei werden die Lernenden zunächst begrüßt und erhalten eine Sicherheitsbelehrung, welche für die Durchführung der Intervention im Schülerlabor NanoBioLab unerlässlich ist. Dabei werden grundlegende Sicherheitsmaßnahmen erklärt. Dazu zählen unter anderem das Verbot von Essen und Trinken in den Laboren sowie die Pflicht zum Tragen von Schutzkleidung (Schutzkittel und -brille). Im Anschluss daran erhalten die Schüler\*innen eine Einweisung in die Verwendung der digitalen Präsentation, die die gesamte Lerneinheit begleitet. Dabei führt die Testleitung zunächst erklärungsgestützt die Interaktionen mit der Präsentation vor und die Schüler\*innen kopieren diese auf ihren Geräten. In dieser Phase lernen die Schüler\*innen, wie sie sich durch die Datei navigieren, Notizen in der Datei eintragen, Bilder bzw. Videos integrieren und nach externen Verlinkungen z.B. in den Browser wieder zur Präsentation zurückkehren können. Während der gesamten Intervention können sich die Schüler\*innen diese Erklärungen erneut ansehen, da hinter dem Info-Symbol in der Kopfzeile die Videos zu allen Interaktionen mit der Datei auf jeder Seite verlinkt sind. An diese Einführung schließt sich der erste Fragebogen an, welcher hinter einem roten Fragebogen-Icon in der interaktiven Datei verlinkt ist. Nach Vollendung des Prä-Fragebogens starten die Lernenden in Einzelarbeit mit der Bearbeitung der vorbereitenden Einheit. Während dieses Teils erarbeiten die Schüler\*innen analog zum Vorgehen in Teil II

zunächst die Unterschiede zwischen Modellen und den entsprechenden Realobjekten am Beispiel des Vergleichs zwischen Spielzeugautos und realen Autos mit Hilfe eines Lückentextes von LearningApps. Die Schüler\*innen erhalten dadurch unmittelbar Feedback zu ihren Eintragungen. Im nächsten Schritt werden in der Präsentation ein Mann sowie mehrere Modelle des Menschen dargestellt (z.B. der menschliche Körper mit Arterien und Venen, ein Crashtest-Dummy usw.). In einer Zuordnungsaufgabe von LearningApps ordnen die Schüler\*innen diesen Modellen des Menschen Zwecke zu und erhalten erneut unmittelbar Rückmeldung zu ihren Zuordnungen. Dadurch erfahren die Schüler\*innen, dass es zu einem Objekt bei unterschiedlichen Zwecken auch mehrere Modelle geben kann. Im Anschluss an diese Einzelarbeitsphase werden die Schüler\*innen zu Lerntempo-Duetten (Baumann & Gordalla, 2020) zugeordnet. Das bedeutet, dass zwei Schüler\*innen, die ähnlich viel Zeit für die Bearbeitung des ersten Teils benötigt haben, eine Partnergruppe bilden und die Intervention ab diesem Zeitpunkt gemeinsam bearbeiten. Es wird hier bewusst die Bildung homogener Lerngruppen bezüglich des Lerntempos umgesetzt, um vor allem Schüler\*innen im mittleren Kompetenzbereich zu adressieren, die in dieser Gruppenzusammensetzung mehr profitieren als in heterogenen Lerngruppen (Saleh et al., 2005). In der Partnergruppe fassen die Lernenden die Ergebnisse der vorbereitenden Einheit zusammen und bearbeiten gemeinsam eine abschließende Aufgabe dazu. Auf der folgenden Folie der interaktiven Präsentation sehen die Schüler\*innen das erste STOP-Zeichen, das sie dazu auffordert, sich an die Testleitung zu wenden. Die Testleitung kontrolliert, an dieser Stelle, ob die Lernenden ihren Code und den Code ihres Partners/ ihrer Partnerin korrekt in der Datei eingetragen haben, um eine spätere Zuordnung zu ermöglichen. Im Anschluss daran erhalten die Schüler\*innen von der Testleitung eine Instruktion als Überleitung zum folgenden Teil. Diese Instruktion unterscheidet sich von Experimentalgruppe zu Experimentalgruppe und wird daher zu einem späteren Zeitpunkt im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Gruppen genauer beschrieben (vgl. Tabelle 31).

Die Schüler\*innen starten anschließend mit der Bearbeitung der Haupteinheit. Zu Beginn wird zunächst ein Alltagsbezug hergestellt, indem die Lernenden angeben, woher sie Verbrennungen aus dem Alltag kennen. Dabei gehen die einzelnen Paare nach der Think-Pair-Share-Methode (Wald & Castleberry, 2000) vor: Jede\*r Schüler\*in notiert zunächst seine/ihre individuellen Gedanken dazu, dann tauschen sich beide Partner\*innen untereinander aus und notieren Gemeinsamkeiten, bevor zuletzt ein Abgleich mit einer vorgegebenen Wortwolke (Abbildung 46) stattfindet.



Abbildung 46: Wortwolke zur Aktivierung des Alltagsbezugs im Zusammenhang mit Verbrennungen  
 (Link zur Wortwolke: <https://answergarden.ch/2796934>)

Nach der Aktivierung des Vorwissens und der Schilervorstellungen zu Verbrennungen starten die Lernenden mit der Bearbeitung der Haupteinheit. Die Verortung aller Schritte der Haupteinheit im Verlauf der Modellierungsprozesses aus Teil I zeigt Abbildung 47. Als Einstieg in die Haupteinheit führen die Schuler\*innen weiterhin in ihren Partnergruppen das Experiment zur Verbrennung von Streichholzern in der Abdampfschale (offenes System, Aufbau vgl. Teil II Abbildung 34) durch. Dazu beschriften sie zunächst den Versuchsaufbau auf der Folie in der interaktiven Präsentation. An dieser Stelle ist für alle Schuler\*innen eine Hilfestellung zur Beschriftung des Versuchsaufbaus verlinkt. Bei dieser Hilfestellung handelt es sich um eine Aufgabe von LearningApps, bei der die Schuler\*innen die Namen der beteiligten Geräte ihren Entsprechungen in der dargestellten Skizze zuordnen. Auch hier erhalten die Schuler\*innen wieder unmittelbar Rückmeldung zu ihren Antworten. Nach der Durchführung des Experiments notieren die Schuler\*innen die Beobachtung und das Ergebnis des Experiments. Es zeigt sich bei der Durchführung eine Verringerung der Masse von ca. 0.4 g auf 0.0 g. Diese Massenabnahme rührt daher, dass bei der Reaktion gasförmiges Kohlenstoffdioxid entsteht, welches auf der Waage nicht gewogen werden kann, da es sich in die Atmosphäre verteilt. Viele Schuler\*innen werden entsprechend ihrer Alltagsvorstellungen (vgl. Kapitel „3.2.1 Theoretischer Hintergrund“) die Massenabnahme durch ein mit Verbrennungen einhergehendes Verschwinden von Materie begründen, welches sich nicht mit der wissenschaftlich akzeptierten Erklärung deckt. Durch dieses erste Experiment sollen demnach die Alltagsvorstellungen der Schuler\*innen angeregt werden.

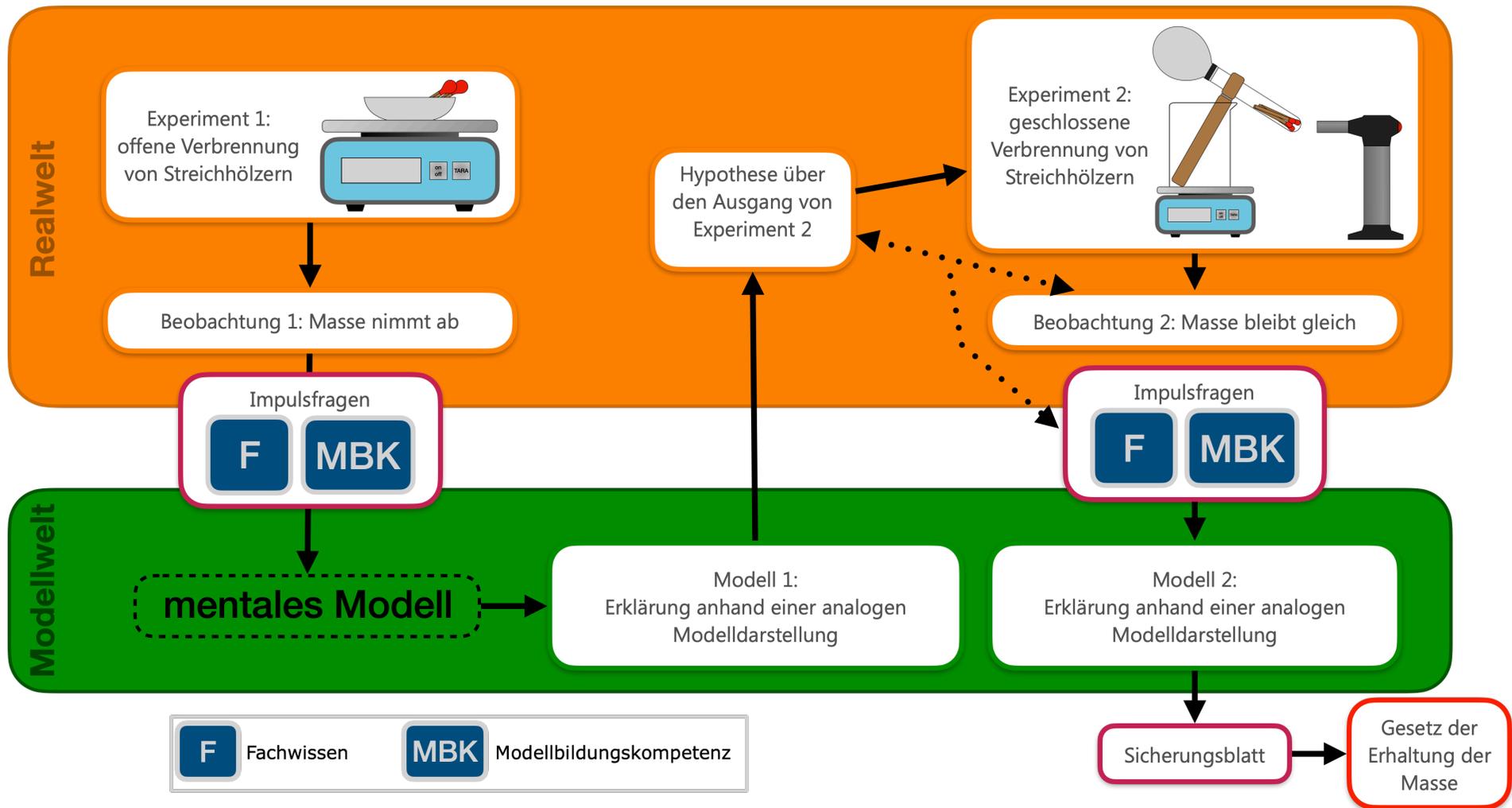


Abbildung 47: Aufgaben der Haupteinheit in Teil III verortet im Modellierungsprozess aus Teil I

Die Schüler\*innen erhalten auf der folgenden Folie Denkanstöße und Hilfestellungen zur Entwicklung eines mentalen Modells zu Experiment 1. Diese Impulse und Hilfestellungen unterscheiden sich zwischen den Gruppen und werden später genauer vorgestellt. Unabhängig von den Gruppen sollen diese Denkanstöße den Wechsel zwischen den Repräsentationsebenen der Chemie anregen und unterstützen (Keiner & Graulich, 2021; Abbildung 47: Übergang von orangenem zu grünem Bereich). Anschließend visualisieren die Schüler\*innen ihre mentalen Modelle in analogen Darstellungen mit Hilfe vorgegebener Materialien. Die Schüler\*innen erhalten neben einer laminierten Abbildung der „chemischen Lupe“ für das erste Experiment auch kreisrunde Papierschnipsel in zwei unterschiedlichen Farben. Mit Hilfe dieser Materialien stellen die Schüler\*innen das Experiment 1 auf Teilchenebene dar und integrieren die Darstellung je nach Experimentalgruppe als Bilder oder Video in der interaktiven Präsentation. Die Materialien sind in Abbildung 48 dargestellt. Auf der Präsentationsfolie mit dem Arbeitsauftrag zur Darstellung der Reaktion auf Teilchenebene ist eine Hilfestellung verlinkt, die beispielhaft für das Molekül Wasser zeigt, wie Stoffe und Moleküle im Atommodell nach DALTON dargestellt werden können. Diese Hilfestellung können die Lernenden je nach Bedarf anklicken. Da die Darstellung von Atomen und Molekülen im Atommodell nach DALTON für die Visualisierung der Teilchenebene in allen Experimentalgruppen von großer Bedeutung ist, steht die entsprechende Hilfestellung allen Lernenden unabhängig von der Zugehörigkeit zu einer der vier Experimentalgruppen als Verständnis-Tipp zur Verfügung.

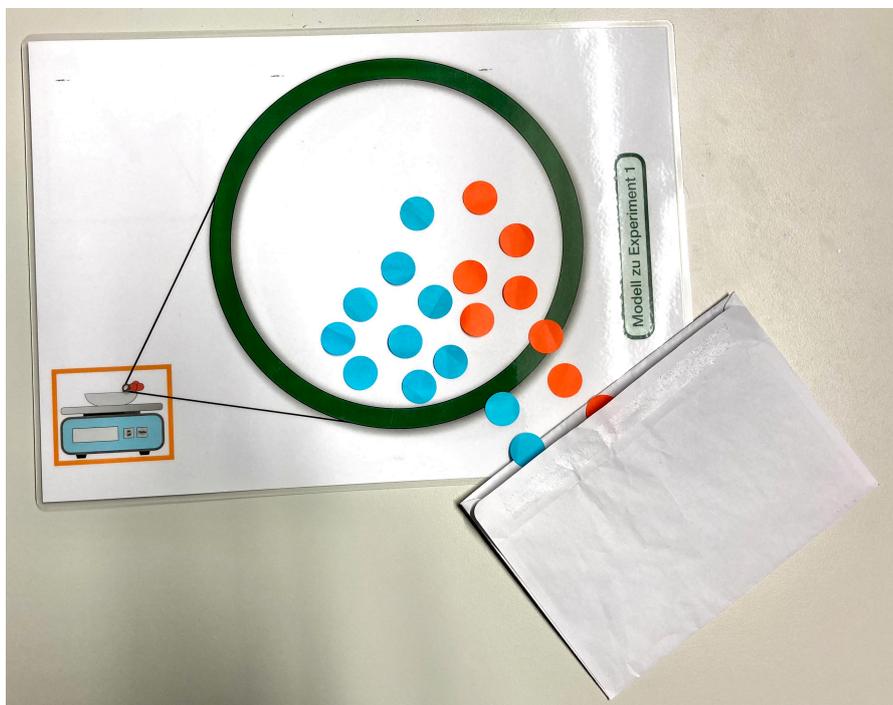


Abbildung 48: Materialien zur Darstellung der Modelle zu Experiment 1 in Teil III

Nach der Darstellung des Modells erklären die Schüler\*innen das Experiment 1 unter Zuhilfenahme des Atommodells nach DALTON. Als Impuls zum folgenden Teil notieren die Schüler\*innen, ob sich ihre Modelldarstellung in dieser Art auf alle chemischen Reaktionen

übertragen lässt. Dadurch soll im Zusammenhang mit den *Eigenschaften von Modellen* noch einmal der Bedeutungsumfang von Modellen adressiert werden. An diese Aufgabe schließt sich eine Folie mit einem STOP-Zeichen an. Die Testleitung kontrolliert an dieser Stelle, ob die Lernenden eine Modelldarstellung in die Präsentation integriert haben, ohne diese inhaltlich zu bewerten. Anschließend gibt die Testleitung erneut einen Impuls als Überleitung zum zweiten Teil der Haupteinheit, die sich mit einem zweiten Experiment befasst. Durch diese Instruktion sollen die Lernenden erneut einen Ebenenwechsel vollziehen: in diesem Fall von der Modellwelt in die Realwelt (Abbildung 47: Übergang von grünem zu orangenem Bereich).

Zu Beginn dieses Teils der Intervention sollen die Lernenden zunächst eine Hypothese zum Ausgang des zweiten Experiments aufstellen. Die Schüler\*innen lesen sich eingangs die Durchführung des Experiments durch und schauen sich den Versuchsaufbau zu Experiment 2 an (Abbildung 49). Sie notieren ausgehend davon ihre Hypothese und gehen weiter zum Experiment selbst. Analog zu Experiment 1 beschriften die Lernenden zunächst den Versuchsaufbau, bevor sie das Experiment 2 durchführen. Zur Beschriftung kann wieder eine Hilfestellung in Anspruch genommen werden. Identisch zu Experiment 1 ist auch an dieser Stelle wieder eine Zuordnungsaufgabe von LearningApps verlinkt, bei der die Schüler\*innen die Begriffe den Entsprechungen auf der Abbildung zuordnen und unmittelbar Rückmeldung erhalten.

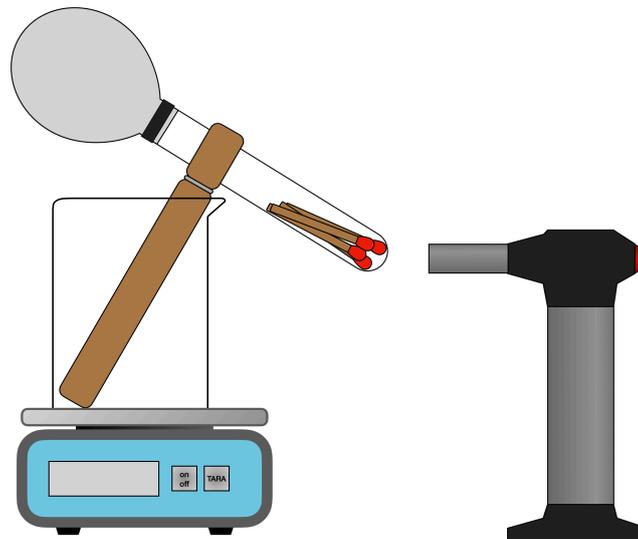


Abbildung 49: Versuchsaufbau Experiment 2, Teil III

Experiment 2 unterscheidet sich in seinem Aufbau und seiner Durchführung zu Experiment 2 in Teil II. Bei beiden Experimenten handelt es sich um Verbrennungen in geschlossenen Systemen. Das geschlossene System wird in beiden Fällen durch ein Reagenzglas mit übergestülptem, mit Kabelbinder befestigtem Luftballon erzeugt. Im Unterschied zu Experiment 1 wird mit Hilfe eines Becherglases und einer Reagenzglasklammer ein „Stativ“ für das geschlossene System konstruiert. Dieses ermöglicht es, die Streichhölzer im geschlossenen System auf der Waage stehend zu erhitzen. Dadurch muss die Waage nur zu Beginn des Experiments einmal

tariert werden und die Massenanzeige kann während des gesamten Versuchsdurchlaufs beobachtet werden. Im Vergleich zu Experiment 2 aus Teil II zeigen sich in dieser Durchführung bessere Ergebnisse, da der zweite Tariervorgang bei erneutem Platzieren des Systems auf der Waage häufig zu Messfehlern geführt hat. Durch diese robustere Durchführungsweise erhalten die Schüler\*innen Einblicke in die Tatsache, dass bei diesem Experiment, der Verbrennung im geschlossenen System, die Masse unverändert bleibt. Diese Beobachtung notieren die Lernenden auf der folgenden Folie und geben ein Ergebnis an.

Im Anschluss daran erhalten die Lernenden wieder Denkanstöße und Hilfestellungen zur Entwicklung eines mentalen Modells zur Erklärung von Experiment 2. Auch an dieser Stelle unterscheiden sich die Denkanstöße und Hilfestellungen entsprechend der Experimentalgruppen. Die genauere Spezifizierung findet auch hier wieder zu einem späteren Zeitpunkt (Tabelle 31) statt. Durch die Denkanstöße und Hilfestellungen angeregt, stellen die Lernenden nun Experiment 2 mit Hilfe der vorgegebenen Materialien im Atommodell nach DALTON dar. Die einlaminierete Vorlage der „chemischen Lupe“ zu Experiment 1 weist auf der Rückseite die „chemische Lupe“ zu Experiment 2 auf, sodass die Schüler\*innen die ausgeschnittenen Kreise, welche die Teilchen darstellen, von der Vorlage herunter nehmen müssen, um sie erneut für die Erklärung von Experiment 2 auf der Rückseite der Vorlage anzuordnen. Dadurch soll verhindert werden, dass die Lernenden das Modell von Experiment 1 unreflektiert für Experiment 2 übernehmen. Ausgehend von der Modelldarstellung erklären die Lernenden anschließend das Experiment 2 auf Teilchenebene im Atommodell nach DALTON, bevor sie auf eine Seite mit einem weiteren STOP-Schild gelangen. An diesem STOP kontrolliert die Testleitung die Integration der Modelle und kann auch an dieser Stelle wieder Nacharbeiten einfordern. In Form einer mündlichen Instruktion findet die Überleitung zum folgenden Teil statt.

Der daran anschließende Teil befasst sich zunächst mit einem Vergleich der beiden durchgeführten Experimente. Die Lernenden sollen dabei Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den beiden Versuchsaufbauten und den Beobachtungen notieren. Daran schließt sich ein Vergleich der Modelle zu Experiment 1 und 2 an. An dieser Stelle fügen die Lernenden erneut die Bilder bzw. Videos von zuvor ein und notieren Unterschiede. Daraufhin werden die Lernenden aufgefordert, das Modell zu Experiment 1 zu überdenken und ggf. zu überarbeiten. Im Fall einer Überarbeitung nutzen die Schüler\*innen wieder die vorgegebenen Materialien. Im Anschluss an die Überarbeitung sind die Lernenden dazu angehalten, zu notieren, inwiefern sie ihr Modell überarbeitet haben oder, falls keine Überarbeitung stattgefunden hat, wieso dies nicht erforderlich war. Beim anschließenden STOP-Schild kontrolliert die Testleitung das überarbeitete Modell bzw. die Erläuterung, wieso keine Überarbeitung stattgefunden hat. Außerdem teilt sie das Sicherungsblatt aus, welches die Schüler\*innen folgend ausfüllen, um die Inhalte der Lerneinheit zu wiederholen und das „Gesetz der Erhaltung der Masse“ als zentrales fachliches Lernziel abzuleiten. Bei dem Sicherungsblatt handelt es sich um eine DIN A4-Kopie eines Arbeitsblattes, welches die Lernenden im Anschluss an die Durchführung der Intervention an der Universität mitnehmen. Dadurch soll eine enge Verzahnung zwischen dem schulischen und

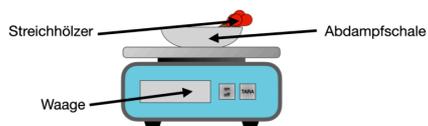
außerschulischen Lernen im Schülerlabor erreicht werden. Das Sicherungsblatt (Abbildung 50) stellt inhaltlich die beiden Experimente einander gegenüber. Die Durchführung, der beschriftete Versuchsaufbau, die Beobachtung und das Ergebnis sind bereits vorgegeben. Die Schüler\*innen bearbeiten eine LearningApps-Aufgabe, in der sie all diese Bestandteile einem der beiden Experimente zuordnen sollen und Rückmeldung zu ihren Zuordnungen erhalten. Zusätzlich ist in der Aufgabe noch die Erklärung auf Teilchenebene zu beiden Experimenten vollständig integriert. Diese Erklärungen ordnen die Schüler\*innen dem entsprechenden Experiment zu und ergänzen ausgehend davon den Satzanfang zur Erklärung des Experiments auf Teilchenebene für beide Experimente auf dem Sicherungsblatt. In einer zweiten Aufgabe, welche durch einen Lückentext in LearningApps umgesetzt ist, erarbeiten die Schüler\*innen abschließend das „Gesetz der Erhaltung der Masse“. Zuletzt werden in der Präsentation drei Reflexionsaufgaben zur gesamten Einheit gestellt, die die Lernenden schriftlich bearbeiten. Die genauen Formulierungen unterscheiden sich auch an dieser Stelle wieder zwischen den Experimentalgruppen. Grundsätzlich sollen die Schüler\*innen aber selbst einschätzen, ob sie nun mehr wissen als zu Beginn, ob sich ihre Vorstellungen verändert haben und ob die Darstellung auf Teilchenebene hilfreich für ein besseres Verständnis war. Den Abschluss bildet schließlich der Post-Fragebogen. Da jede Partnergruppe in ihrem individuellen Lerntempo die Intervention bearbeitet, kann es zu deutlichen Unterschieden in der Bearbeitungsdauer kommen. Aus diesem Grund ist ganz am Ende der Präsentation noch ein Kreuzworträtsel in der Präsentation verlinkt, welches die schnelleren Gruppen bearbeiten können, bis auch die langsameren Gruppen den Post-Fragebogen abgeschlossen haben. Die Inhalte des Kreuzworträtsels erstrecken sich über die gesamten Lehrplaninhalte der Klassenstufe 8 bis zum Thema chemische Grundgesetze, indem das „Gesetz der Erhaltung der Masse“ verortet ist. So wird beispielsweise bei einer Lücke nach dem Trennverfahren für Salzlösungen (Lösung: Eindampfen) aus dem Thema Stoffgemische und ihre Trennung gefragt.

## Sicherungsblatt zu Gesetzmäßigkeiten bei chemischen Reaktionen

### Experiment 1: Verbrennung von Streichhölzern I

**Durchführung:**  
Eine Abdampfschale wird auf einer Waage platziert. In die Abdampfschale werden vier Streichhölzer gelegt und die Masse notiert. Die Streichhölzer werden mit einem Feuerzeug auf der Waage entzündet. Nach der Verbrennung die Masse erneut notiert.

**Skizze:**



**Beobachtung:**  
Die Streichhölzer verfärben sich schwarz und werden kleiner. Die Masse nimmt ab.

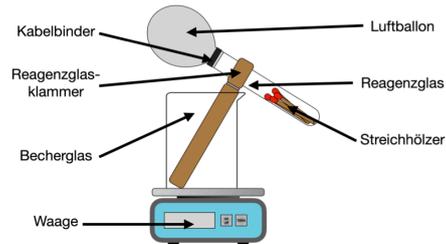
**Ergebnis:**  
Es hat eine chemische Reaktion stattgefunden, bei der der Kohlenstoff aus dem Streichholz mit dem Sauerstoff der Luft zu dem Gas Kohlenstoffdioxid reagiert hat.

**Erklärung auf Teilchenebene:**  
Die Atomanzahl bleibt gleich, aber die Masse nimmt dennoch ab, weil...

### Experiment 2: Verbrennung von Streichhölzern II

**Durchführung:**  
Vier Streichhölzer werden in ein Reagenzglas gegeben und dieses mit einem Luftballon und Kabelbinder luftdicht verschlossen. Die Masse wird bestimmt. Mit einem Brenner (rauschende Flamme) werden die Streichhölzer erhitzt, während das Reagenzglas auf der Waage steht. Die Masse wird anschließend erneut bestimmt.

**Skizze:**



**Beobachtung:**  
Die Streichhölzer verfärben sich schwarz und werden kleiner. Der Luftballon bläht sich auf. Die Masse bleibt gleich.

**Ergebnis:**  
Es hat eine chemische Reaktion stattgefunden, bei der der Kohlenstoff aus dem Streichholz mit dem Sauerstoff der Luft zu dem Gas Kohlenstoffdioxid reagiert hat.

**Erklärung auf Teilchenebene:**  
Die Atomanzahl bleibt gleich und die Masse bleibt gleich, weil...

## Gesetz der Erhaltung der Masse:

*Hinweis: Je nach Versuchsaufbau können manchmal nicht alle Massen der Ausgangs- oder Endstoffe gemessen werden!*

Abbildung 50: Sicherungsblatt zur Wiederholung der Lerneinheit in Teil III (Erwartungshorizont in Anhang „XIII. Erwartungshorizont Sicherungsblatt“)

Im Anschluss an den groben Ablauf sollen nun die Unterschiede zwischen den vier Experimentalgruppen herausgestellt werden. Die vier Gruppen teilen sich entsprechend Abbildung 41 auf die zwei unabhängigen Variablen (Art der digitalen Modelldarstellung und Art der Differenzierung) auf. Damit werden die Art der **Digitalisierung** sowie die Art der Differenzierung in jeweils zwei Gruppen identisch umgesetzt. Für die Art der Digitalisierung lassen sich die Unterschiede für die beiden Gruppen knapp zusammenfassen: Für EG 1 und EG 3, die jeweils eine statische Form der Modelldarstellung beinhalten, stellen die Lernenden ihre Modellvorstellung vor der Reaktion und nach der Reaktion in zwei statischen Bildern dar, die sie in die Präsentation einfügen. Für EG 2 und EG 4, die eine dynamische Modelldarstellung umsetzen, werden durch die Schüler\*innen mit Hilfe der App Stop-Motion digitale Daumenkino-Videos produziert, bei denen Einzelbilder so schnell hintereinander geschaltet werden, dass eine Bewegung entsteht. Die entstehenden Videos werden in die interaktive Präsentation importiert. Um beide Ausprägungen der Modelldarstellung möglichst vergleichbar zu halten, formulierten die Schüler\*innen der statischen Gruppen (EG 1 und EG 3) zu ihren Fotos noch einen kurzen Text, der erklärt, inwiefern sich die Teilchen vom Bild vor der Reaktion zum Bild nach der Reaktion verändern oder umgruppieren. Im Zusammenhang mit der Unterscheidung zwischen den **Differenzierungsansätzen** zum Fachwissen (EG 1 und EG 2) und jenen zur Modellbildungskompetenz (EG 3 und EG 4) unterschieden sich die beiden Gruppen vor allem in der Formulierung der Überleitungen an den STOP-Zeichen und den gegebenen Impulsen bzw. Hilfestellungen. In Tabelle 31 sind die Instruktionen an den STOP-Symbolen für die unterschiedlichen Experimentalgruppen zusammengestellt, wie sie wörtlich von der Testleitung an die Partnergruppen zum entsprechenden Zeitpunkt weitergegeben wurden. Die Unterschiede zwischen den Gruppen werden zur besseren Erkennbarkeit in Rot dargestellt.

Tabelle 31: Übersicht über die Instruktionen an den STOP-Stellen der Intervention in Teil III,

rot: Unterschiede zwischen den Gruppen

	EG 1 und EG 3	EG 2 und EG 4
	Statisch, Fachwissen/ MBK	Dynamisch, Fachwissen/ MBK
1. STOP 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kontrolle der beiden Codes (F2 und F 11)</b></li> <li>• <b>Instruktion:</b>                „Jetzt geht es mit der Chemie richtig los! Dazu stellt ihr euch bitte folgende Frage: Wo und in welcher Form begegnen euch Verbrennungen im Alltag? Notiert zunächst allein eure Ergebnisse in der Datei, diskutiert dann mit eurem Partner und vergleicht eure Ergebnisse im letzten Schritt mit der vorgegebenen Wortwolke.“</li> </ul>	
2. STOP 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kontrolle der Modelle (F19 und F 20)</b></li> <li>• <b>Instruktion:</b>  <b>EG1:</b> „Im nächsten Teil werden wir klären, ob sich die <b>Masse</b> bei chemischen Reaktionen immer gleich verhält. Dazu führt ihr in euren Partnergruppen ein weiteres Experiment durch.“  <b>EG3:</b> „Im nächsten Teil werden wir klären, ob sich die <b>Teilchen</b> bei chemischen Reaktionen immer gleich verhalten. Dazu führt ihr in euren Partnergruppen ein weiteres Experiment durch.“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kontrolle des Modells (F19)</b></li> <li>• <b>Instruktion:</b>  <b>EG2:</b> „Im nächsten Teil werden wir klären, ob sich die <b>Masse</b> bei chemischen Reaktionen immer gleich verhält. Dazu führt ihr in euren Partnergruppen ein weiteres Experiment durch.“  <b>EG4:</b> „Im nächsten Teil werden wir klären, ob sich die <b>Teilchen</b> bei chemischen Reaktionen immer gleich verhalten. Dazu führt ihr in euren Partnergruppen ein weiteres Experiment durch.“</li> </ul>
3. STOP 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kontrolle der Modelle (F29 und F 30)</b></li> <li>• <b>Instruktion:</b>                „Machen Teilchen bei chemischen Reaktionen nun immer, was sie wollen, oder gibt es doch eine Gesetzmäßigkeit bezüglich der Masse? Dieser Frage werdet ihr nun nachgehen, indem ihr die beiden Experimente miteinander vergleicht.“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kontrolle des Modells (F28)</b></li> <li>• <b>Instruktion:</b>                „Machen Teilchen bei chemischen Reaktionen nun immer, was sie wollen, oder gibt es doch eine Gesetzmäßigkeit bezüglich der Masse? Dieser Frage werdet ihr nun nachgehen, indem ihr die beiden Experimente miteinander vergleicht.“</li> </ul>
4. STOP 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kontrolle der Modelle (F35 - 37)</b></li> <li>• <b>Austeilen des Sicherungsblatts (1 pro Schüler/Schülerin)</b></li> <li>• <b>Instruktion:</b>                „Bearbeitet die folgenden 2 Aufgaben, um die Inhalte der Lerneinheit zu wiederholen und die Gesetzmäßigkeit der Massen bei chemischen Reaktionen abzuleiten. Notiert eure Ergebnisse auf dem Sicherungsblatt. Bearbeitet anschließend mit dem Wissen aus der Lerneinheit gewissenhaft den Post-Fragebogen.“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kontrolle der Modelle (F33 und 34)</b></li> <li>• <b>Austeilen des Sicherungsblatts (1 pro Schüler/Schülerin)</b></li> <li>• <b>Instruktion:</b>                „Bearbeitet die folgenden 2 Aufgaben, um die Inhalte der Lerneinheit zu wiederholen und die Gesetzmäßigkeit der Massen bei chemischen Reaktionen abzuleiten. Notiert eure Ergebnisse auf dem Sicherungsblatt. Bearbeitet anschließend mit dem Wissen aus der Lerneinheit gewissenhaft den Post-Fragebogen.“</li> </ul>

Bezüglich der Instruktionen ist vor allem bei STOP 2 erkennbar, dass in den Gruppen, die das Fachwissen adressieren (EG 1 und EG 2), eine Argumentation über die „Masse“ angebahnt wird, während für die Gruppen mit Bezug zur Modellbildungskompetenz (EG 3 und EG 4) die „Teilchen“ fokussiert werden. Diese Unterscheidung spiegelt sich auch in den Impulsfragen zur Entwicklung mentaler Modelle (einmal mit Bezug zu Experiment 1 und einmal mit Bezug zu Experiment 2) wider: Für die Experimentalgruppen 1 und 2 mit Bezug zum Fachwissen lauteten diese Impulsfragen (in Rot wird wieder der Unterschied zwischen den beiden inhaltlichen Ausrichtungen hervorgehoben):

*Hast du eine Idee, wie es zu dieser Beobachtung kommen kann?*

*Hast du eine Vorstellung, welche Rolle **das offene System** bei diesem Vorgang spielt?*

*Passt das Ergebnis des Experiments zu deiner Vorstellung von **Massen** bei chemischen Reaktionen?*

Im Vergleich dazu lauten die Impulsfragen mit Bezug zur Modellbildungskompetenz für die Experimentalgruppen 3 und 4 folgendermaßen:

*Hast du eine Idee, wie es zu dieser Beobachtung kommen kann?*

*Hast du eine Vorstellung, was bei diesem **Vorgang auf Teilchenebene** passiert?*

*Passt das Ergebnis des Experiments zu deiner Vorstellung von **Teilchen**?*

Es ist deutlich erkennbar, dass diese Impulsfragen ebenfalls entweder die Konzepte Masse und Öffnung von Systemen als stoffliche Eigenschaften oder das Teilchenkonzept auf submikroskopischer Ebene adressieren. An diese Grundsätze sind auch die Hilfestellungen, die sich zwischen den Experimentalgruppen unterscheiden, angepasst: Eine Hilfestellung mit fachwissenschaftlichem Bezug stellt beispielsweise die Unterschiede zwischen offenen und geschlossenen Systemen gegenüber und ergänzt die allgemeine Definition noch mit Beispielen für offene und geschlossene Systeme im Labor und im Alltag. Im Gegensatz dazu wird bei der Hilfestellung zur Modellbildungskompetenz noch einmal am Beispiel von Schwefel der Unterschied zwischen einer Stoff- und Teilchenebene erklärt und durch eine Abbildung der „chemischen Lupe“ unterstützt. Die begleitenden Präsentationen für alle vier Experimentalgruppen sind vollständig als Screenshots dem Anhang „XIII. Präsentationsfolien aller vier Experimentalgruppen“ zu entnehmen.

### Beschreibung der Stichprobe

An der Intervention in Teil III nahmen insgesamt 16 Schulklassen unterschiedlicher Schulformen der Klassenstufe 9 teil. Dabei handelte es sich sowohl um Gymnasialklassen wie auch Realschul- und Gemeinschaftsschulklassen. Die teilnehmenden Schulklassen wurden im Zuge der Intervention einer der vier Experimentalgruppen zugeordnet (quasiexperimentelles Design). Insgesamt waren 303 Schüler\*innen an der Intervention zu Teil III beteiligt (Gesamtstichprobe). Von diesen schlossen allerdings nur 270 Schüler\*innen die Intervention vollständig ab bzw. ermöglichte die Kombination aus individuellem Code und Kontrollvariablen eine Zuordnung der beiden Messzeitpunkte, sodass nur die Daten dieser Lernenden verwendet werden können (gültige Stichprobe). Im Rahmen von Drop-out Analysen wurden die Eigenschaften der Schüler\*innen in der gültigen Stichprobe mit den Eigenschaften der Schüler\*innen aus der Drop out-Stichprobe verglichen. Dabei zeigte sich, dass die Schüler\*innen in der gültigen Stichprobe ein signifikant höheres Vorwissen als die Schüler\*innen der Drop out-Stichprobe aufwiesen ( $t(2.22,306) = -6.628, p < .001$ ). Aus diesem Grund kann nicht zwangsläufig davon

ausgegangen werden, dass die Ergebnisse der Erhebung auf Grundlage der gültigen Stichprobe mit den Ergebnissen der Gesamtstichprobe (bei vollständigem Absolvieren der Einheit durch alle Schüler\*innen) übereinstimmen. Dadurch müssen die Ergebnisse bezüglich des Vorwissens vorsichtiger interpretiert werden. Für die Schulleistungen, das Fachinteresse, das naturwissenschaftsbezogene Fähigkeitsselbstkonzept und die Modellkompetenz zum Zeitpunkt T=0 konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stichproben ermittelt werden. Dies gilt auch für das Fachwissen und die Modellbildungskompetenz zum ersten Messzeitpunkt. Alle Ergebnisse der Drop-out Analysen sind im Anhang „XIV. Ergebnisse der Drop out-Analysen“ tabellarisch zusammengestellt.

Die Stichprobe der Schüler\*innen, die die gesamte Intervention erfolgreich absolviert haben und für die Analysen herangezogen wurden, da Daten zu den beiden Messzeitpunkten vorliegen, wird nun genauer charakterisiert. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 32 dargestellt. Bezüglich der Verteilung zwischen den Geschlechtern, liegt der Anteil an Schülern mit 49.3 % geringfügig höher als der Anteil an Schüler\*innen (41.5 %). An der Intervention nehmen auch insgesamt 5 Lernende teil, die ihr Geschlecht als divers einschätzen (1.9 %). In den Experimentalgruppen 2 bis 4 liegt der Anteil männlicher Teilnehmer (alle > 50 %) höher als in EG 1 (40.6 %). Dort überwiegt der Anteil der Schüler\*innen mit 52.2 %. Der Altersdurchschnitt aller Teilnehmenden liegt bei 14.5 Jahren. Die Schüler\*innen in EG 3 weisen unter den Experimentalgruppen den höchsten Altersdurchschnitt mit 15 Jahren auf, während in den anderen drei Experimentalgruppen der Mittelwert des Alters bei 14.3 bzw. 14.4 liegt.

Tabelle 32: Charakterisierung der gültigen Stichprobe in Teil III

Gruppe	EG 1	EG 2	EG 3	EG 4	gesamt
Ansatz der Digitalisierung	Statisch	Dynamisch	Statisch	Dynamisch	
Ansatz der Differenzierung	Fachwissen	Fachwissen	MBK	MBK	
Personenanzahl	<i>n</i> =69 (25.6 %)	<i>n</i> = 67 (24.8 %)	<i>n</i> = 63 (23.3 %)	<i>n</i> =71 (26.3 %)	<i>N</i> =270
Geschlecht	m: 28 (40.6 %) w: 36 (52.2 %) divers: 1 (1.4 %)	m: 34 (50.7 %) w: 27 (40.3 %) divers: /	m: 34 (54.0 %) w: 19 (30.2 %) divers: 4 (6.3 %)	m: 37 (52.1 %) w: 29 (40.8 %) divers: /	m: 133 (49.3 %) w: 112 (41.5 %) divers: 5 (1.9 %)
Alter	<i>M</i> =14.4, <i>SD</i> = .66	<i>M</i> = 14.4, <i>SD</i> = .63	<i>M</i> = 15.0, <i>SD</i> = 4.76	<i>M</i> = 14.3, <i>SD</i> = .61	<i>M</i> =14.5, <i>SD</i> = 2.33
Schulform	Gym: 68 (98.6 %) GemS: / RS: / Sonst.: /	Gym: 41 (61.2 %) GemS: 20 (29.9 %) RS: 4 (6 %) Sonst.: /	Gym: 26 (41.3 %) GemS: 23 (36.5 %) RS: 11 (17.5 %) Sonst.: /	Gym: 59 (83.1 %) GemS: 8 (11.3 %) RS: / Sonst.: 1 (1.4 %)	Gym: 194 (71.6 %) GemS: 52 (19.2 %) RS: 15 (5.5 %) Sonst.: 1 (0.5 %)
Klassenstufe	9	9	9	9	9
Mittelwert der Naturwissenschaftsnoten	<i>M</i> = 10.16, <i>SD</i> = 2.53	<i>M</i> = 9.78, <i>SD</i> = 2.47	<i>M</i> = 10.12, <i>SD</i> = 2.11	<i>M</i> = 10.24, <i>SD</i> = 2.47	<i>M</i> = 10.07 <i>SD</i> = 2.40
Mittelwert der Chemiesnoten	<i>M</i> = 10.02, <i>SD</i> = 2.53	<i>M</i> = 10.18, <i>SD</i> = 2.47	<i>M</i> = 9.49, <i>SD</i> = 2.11	<i>M</i> = 10.14, <i>SD</i> = 2.47	<i>M</i> = 10.18 <i>SD</i> = 2.40

Die 270 Schüler\*innen sind hauptsächlich Gymnasiasten/Gymnasiastinnen (71.6 %), einige Gemeinschaftsschüler\*innen (19.2 %), wenige Realschüler\*innen (5.5 %) und eine Person gibt sonstiges als Schulform an. Ähnlich zur Verteilung zwischen den Schulformen insgesamt, überwiegt auch der Anteil an Gymnasiast\*innen in allen Experimentalgruppen. Dabei schwanken die Anteile allerdings zwischen 41.3 % (EG 3) und 98.6 % (EG 1). Daneben werden auch die Zeugnisnoten in den naturwissenschaftlichen Fächern (Naturwissenschaften, Biologie, Chemie und Physik) erhoben. Hierbei zeigt sich insgesamt ein Mittelwert von 10 (gut). Abgesehen von EG2 mit einem Mittelwert der Naturwissenschaftsnoten von 9.78 liegen die durchschnittlichen

Naturwissenschaftsnoten in allen Experimentalgruppen über 10 Punkten. Im Zusammenhang mit der Chemienote liegt über alle Gruppen der Mittelwert der Chemienote bei gut ( $M= 10.02$ ,  $SD= 2.53$ ), während hier die Schüler\*innen der EG 2 die schlechtesten Chemienoten mit 9.49 ( $SD= 2.11$ ) angeben.

Darüber hinaus können alle Teilnehmenden sowie die Teilnehmenden der einzelnen Experimentalgruppen durch ihre Eingangsvariablen im Vortest bezüglich des Vorwissens, Fachinteresses (mit den Subdimensionen gefühlsbezogenen Valenzen, wertbezogenen Valenzen und intrinsische Orientierung), naturwissenschaftsbezogenen Fähigkeitsselbstkonzepts, der Modellkompetenz, der Modellbildungskompetenz und des Fachwissens charakterisiert werden. Die Werte werden in Tabelle 33 zusammengefasst und anschließend vorgestellt.

Tabelle 33: Deskriptive Statistik der Stichprobe in Teil III (nur gültige Personen)

Gruppe	EG 1	EG 2	EG 3	EG 4	gesamt
Summe aller <i>Vorwissens</i> -Items, 0-11 Punkte	$M= 6.20$ , $SD= 1.58$	$M= 4.52$ , $SD= 2.49$	$M= 4.34$ , $SD= 2.00$	$M= 4.69$ , $SD= 2.26$	$M= 4.94$ , $SD= 2.23$
Mittelwert aller <i>Gefühlsbezogene Valenzen</i> -Items (FI), Skala: 1-5	$M= 3.02$ , $SD= .69$	$M= 2.96$ , $SD= .73$	$M= 2.78$ , $SD= .76$	$M= 2.96$ , $SD= .60$	$M= 2.93$ , $SD= .70$
Mittelwert aller <i>Wertbezogene Valenzen</i> -Items (FI), Skala: 1-5	$M= 2.91$ , $SD= .59$	$M= 2.79$ , $SD= .70$	$M= 2.83$ , $SD= .74$	$M= 2.96$ , $SD= .67$	$M= 2.87$ , $SD= .67$
Mittelwert aller <i>Intrinsische Orientierung</i> -Items (FI), Skala: 1-5	$M= 2.25$ , $SD= .85$	$M= 2.18$ , $SD= .88$	$M= 2.48$ , $SD= 1.01$	$M= 2.42$ , $SD= .95$	$M= 2.33$ , $SD= .92$
Mittelwert aller <i>Fähigkeitsselbstkonzept</i> -Items (FSK), Skala: 1-5	$M= 3.34$ , $SD= .55$	$M= 3.16$ , $SD= .79$	$M= 3.24$ , $SD= .71$	$M= 3.38$ , $SD= .69$	$M= 3.28$ , $SD= .69$
Mittelwert aller <i>Modellkompetenz</i> -Items (MK) <sup>14</sup>	$M= -.01$ , $SD= .50$	$M= -.13$ , $SD= .48$	$M= .00$ , $SD= .08$	$M= .08$ , $SD= .47$	$M= -.01$ , $SD= .48$
Mittelwert aller <i>Zweck von Modellen</i> -Items (MBK, T=0) <sup>14</sup>	$M= .06$ , $SD= .51$	$M= -.16$ , $SD= .60$	$M= -.04$ , $SD= .57$	$M= .10$ , $SD= .51$	$M= .00$ , $SD= .57$
Mittelwert aller <i>Testen von Modellen</i> -Items (MBK, T=0) <sup>14</sup>	$M= .03$ , $SD= .56$	$M= -.08$ , $SD= .66$	$M= -.08$ , $SD= .60$	$M= .12$ , $SD= .60$	$M= .00$ , $SD= .61$
Mittelwert aller <i>Ändern von Modellen</i> -Items (MBK, T=0) <sup>14</sup>	$M= -.05$ , $SD= .61$	$M= -.12$ , $SD= .67$	$M= .12$ , $SD= .65$	$M= .01$ , $SD= .66$	$M= -.01$ , $SD= .65$
Summe aller <i>Fachwissens</i> -Items (T=0), 0-11 Punkte	$M= 4.18$ , $SD= 2.15$	$M= 4.07$ , $SD= 2.61$	$M= 3.79$ , $SD= 2.39$	$M= 3.54$ , $SD= 2.39$	$M= 3.89$ , $SD= 2.45$

<sup>14</sup> Bei diesem Wert handelt es sich um eine z-standardisierte Größe. Bei diesen Größen fand eine Mittelwertbildung zwischen Items mit offenen und geschlossenen Formaten unterschiedlichen Ranges statt, die nur nach z-Standardisierung sinnvoll möglich ist.

Im Zusammenhang mit dem Vorwissen können die Schüler\*innen maximal 11 Punkte in der Summe erreichen. Der Mittelwert der erreichten Punktzahl im Bereich Vorwissen liegt bei 4.94 Punkten ( $SD= 2.23$ ). Unter den Gruppen zeigen die Schüler\*innen der EG 1 mit  $M= 6.20$  ( $SD= 1.58$ ) den höchsten Mittelwert bezüglich des Vorwissens, die Schüler\*innen der EG 3 ( $M= 4.34$ ,  $SD= 2.00$ ) den geringsten. Bei einer Maximalpunktzahl von 11 Punkten kann das Vorwissen allerdings über allen Gruppen als niedrig eingeschätzt werden, da im Mittel nicht einmal die Hälfte der Punkte im Vorwissen erreicht werden (trotz Vorbereitungsblatt zur Sicherung der Vorwissens für die Einheit, Ausnahme: EG 1 mit  $M= 6.20$ ,  $SD= 1.58$ ). Der Mittelwert des Fachinteresses liegt über alle Teilnehmer\*innen bei 2.74 ( $SD= .66$ ) und damit im mittleren Bereich (5-Punkt-Likert Skala von 1 bis 5). Bezüglich der Subskalen des Fachinteresses (gefühlbezogene Valenzen, wertbezogenen Valenzen und intrinsische Orientierung) erweist sich die intrinsische Orientierung als schwächste Kategorie ( $M= 2.33$ ,  $SD= .92$ ). Zwischen den gefühlbezogenen ( $M= 2.93$ ,  $SD= .70$ ) und wertbezogenen Valenzen ( $M= 2.87$ ,  $SD= .67$ ) gibt es kaum Unterschiede. Der Mittelwert des naturwissenschaftsbezogenen Fähigkeitsselbstkonzepts liegt bei 3.28 ( $SD= .69$ ). Hier zeigen sich keine großen Unterschiede zwischen den Gruppen. Hinsichtlich der Modellkompetenz liegen die Werte der Schüler\*innen insgesamt im mittleren Bereich (z-standardisiert:  $M= -.01$ ,  $SD= .48$ ). Die Werte der Schüler\*innen aus EG 2 liegen dabei mit  $M= -.13$  ( $SD= .48$ ) am niedrigsten, die Werte der Schüler\*innen aus EG 4 ( $M= .08$ ,  $SD= .47$ ) am höchsten. Die Mittelwerte aller Schüler\*innen in den Subdimensionen der Modellbildungskompetenz zeigen ähnliche Tendenzen wie bezüglich der Modellkompetenz: Die Mittelwerte über alle Gruppen liegen bei .00 bzw.  $-.01$  ( $SD= .60$  bis  $.65$ ). Für den *Zweck von Modellen* und das *Testen von Modellen* zeigen sich wieder EG 2 als Gruppe mit dem niedrigsten Mittelwert und EG 4 als Gruppe mit dem höchsten. Für das *Ändern von Modellen* liegt erneut das Minimum der Mittelwerte bei EG 2 ( $M= -.12$ ,  $SD= .67$ ), das Maximum hier allerdings in Gruppe EG 3 mit  $M= .12$  ( $SD= .65$ ). Zuletzt wird die Stichprobe noch bezüglich ihres Fachwissens eingeschätzt. Insgesamt weist die Stichprobe mit  $M= 3.89$  ( $SD= 2.45$ ) von 11 möglichen Punkten ein geringes Fachwissen auf. Die Schüler\*innen der EG 4 schneiden zu Beginn hinsichtlich des Fachwissens am schlechtesten ab ( $M= 3.54$ ,  $SD= 2.63$ ), während die Schüler\*innen der EG 1 das höchste Fachwissen mit  $M= 4.18$  ( $SD= 2.15$ ) aufweisen. Inwiefern die beschriebenen Unterschiede zwischen den Gruppen als statistisch signifikant eingeschätzt werden können, wird im Kapitel „Vorherunterschiede: Unterschiede in den Eingangsvariablen zwischen den Gruppen“ beschrieben.

### 3.3.4 Ergebnisse

#### Datenauswertung

Vor der Datenauswertung findet eine Datenbereinigung statt. Dabei werden die Datensätze der Schüler\*innen von beiden Messzeitpunkten ausgehend vom individuellen Code und den Kontrollvariablen zu einem großen Datensatz zusammengeführt. Anschließend werden diejenigen Daten gelöscht, für die keine Entsprechung beim jeweils anderen Messzeitpunkt gefunden

werden kann. Diese Einzeldaten werden von den folgenden Analysen ausgeschlossen. Ebenso gibt es Schüler\*innen, die die Lerneinheit nicht vollständig bearbeitet haben, aber bereits den zweiten Fragebogen ausgefüllt haben. In diesen Fällen kann nach der Sichtung der begleitenden Präsentationen derselben Schüler\*innen (Zuordnung durch den individuellen Code möglich) der Bearbeitungsstand eingeschätzt werden. Falls die Bearbeitung nicht vollständig war, müssen auch diese Daten für die weiteren Analysen ausgeschlossen werden. Vor Beginn der Analysen müssen zunächst Umkodierungen von negativ formulierten Items umgesetzt werden. Eine Analyse auf Skalenebene ist nur dann sinnvoll, wenn die interne Konsistenz der Skalen in zufriedenstellendem Maße gegeben ist. Daher wurden vor der Auswertung Reliabilitätsanalysen durchgeführt, deren Ergebnisse bereits im Kapitel „Ergebnisse der Reliabilitätsanalysen“ berichtet wurden. Ausgehend davon können die weiteren Analysen auf Skalenebene durchgeführt werden. Alle Berechnungen und Auswertungen werden unter Verwendung von SPSS IBM® SPSS® Statistics Version 27.0.0.0 durchgeführt. Auszüge aus den dazu verwendeten Syntax-Befehlen befinden sich in Anhang „XV. Syntax zur Auswertung in Teil III“.

Für Berechnungen auf Skalenebene werden Mittelwerte bzw. Summen über alle Items einer Skala gebildet. Je nach Art der Skala bietet sich eine der beiden Optionen eher an: Für Ratingskalen (Fachinteresse mit Subdimensionen, Fähigkeitsselbstkonzept, Modell- und Modellbildungskompetenz mit Subdimensionen) werden Mittelwertvariablen über alle Items der Skalen gebildet, während für leistungsbezogenen Variablen (ausschließlich Fachwissen und Vorwissen) Summenvariablen über alle Items der Skalen gebildet werden. Die Modell- und Modellbildungskompetenz (und Subdimensionen) nehmen in diesem Schritt wie bereits in Teil II eine Sonderstellung ein, da in diesem Fall über alle Items der Skala eine Mittelwertbildung stattfinden soll, die Skalen sich allerdings aus Items mit geschlossenem Format und Items mit offenem Format zusammensetzen. Zwischen den Formaten unterscheiden sich außerdem die maximalen Ranges. Daher ist eine sinnvolle Mittelwertbildung über alle Items erst nach einer z-Standardisierung möglich. Bei der z-Standardisierung werden die Werte derart transformiert, dass sich für die Verteilung das arithmetische Mittel 0 und die Standardabweichung 1 ergeben, ohne dass Informationen jedes einzelnen Werts der Verteilung in Bezug auf die relative Position zum Mittelwert verloren gehen (Diaz-Bone & Weischer, 2015). Im Anschluss daran findet auch für die Modell- und Modellbildungskompetenz mit Subdimensionen eine Mittelwertbildung statt, sodass anschließend alle benötigten Werte vorliegen, um erste Analysen durchzuführen.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden zunächst deskriptive Statistiken durchgeführt, um einen Überblick über die Daten zu erhalten. Daran schließen sich zur Beantwortung von **Forschungsfrage 1** Varianzanalysen an, um herauszufinden, inwiefern sich die Veränderungen in den abhängigen Variablen zwischen den Bedingungen statistisch signifikant unterscheiden. Durch die unterschiedliche Struktur der beiden abhängigen Variablen wird im einen Fall eine univariate Varianzanalyse (Fachwissen) durchgeführt und im anderen Fall eine multivariate Varianzanalyse (Modellbildungskompetenz und Subdimensionen). Dies hängt damit

zusammen, dass für die Skala Modellbildungskompetenz zusätzlich die Subdimensionen betrachtet werden, die gemeinsam die Gesamtskala ergeben, sodass von einer gegenseitigen Beeinflussung ausgegangen werden muss, welche nur in multivariaten Analysen abgebildet werden kann. Da in den Analysen Unterschiede zwischen den Gruppen betrachtet werden, werden zunächst Gruppenunterschiede im Vortest in den Kontroll-, Prädiktor- und abhängigen Variablen ermittelt, um eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Experimentalgruppen herstellen zu können. Falls an dieser Stelle statistisch signifikante Gruppenunterschiede bezüglich einiger Variablen erkennbar sind, werden diese Variablen als Kovariate in die folgenden Varianzanalysen zur Beurteilung der Hypothesen mit einbezogen. Daraus ergibt sich für die Beantwortung der Forschungsfrage 1 bezüglich der ersten abhängigen Variable ( $AV_1$ ) Modellbildungskompetenz und ihren Subdimensionen eine 2-faktorielle MANCOVA mit Messwiederholung als Auswertungsmethode. Für das Fachwissen ( $AV_2$ ) wird eine 2-faktorielle ANCOVA mit Messwiederholung zur Beantwortung von Forschungsfrage 1 durchgeführt. Dabei werden die beiden Zwischensubjektfaktoren durch die beiden unabhängigen Variablen Art der digitalen Modelldarstellung ( $UV_1$ , 2-gestuft) und Art des Differenzierungsansatzes ( $UV_2$ , 2-gestuft, vgl. Abbildung 41) erzeugt. Es handelt sich außerdem um Analysen mit Messwiederholung, da neben den Zwischensubjektfaktoren (zwei unabhängige Variablen) auch der Innersubjektfaktor Zeit betrachtet wird. Falls sich keine signifikanten Gruppenunterschiede zu Beginn zeigen, entfallen die Kovariate für die anschließenden Varianzanalysen.

Zur Beantwortung von **Forschungsfrage 2** wird die Betrachtung von Zusammenhängen notwendig. Da an dieser Stelle die Zusammenhänge zwischen den Veränderungen der abhängigen Variablen über die Zeit und den Prädiktorvariablen hergestellt werden sollen, müssen zunächst Differenzvariablen für die abhängigen Variablen berechnet werden, die jeweils die Werte zum Zeitpunkt  $T=0$  von den Werten zum Zeitpunkt  $T=1$  subtrahieren. Mit diesen Differenzvariablen können durch Korrelationsanalysen Zusammenhänge mit den Prädiktorvariablen aufgedeckt werden. Um einen Schritt weiter zu gehen und Forschungsfrage 2 zur Vorhersage der Entwicklung der abhängigen Variablen beurteilen zu können, werden schließlich mit denjenigen Prädiktorvariablen, die statistisch signifikante Zusammenhänge mit den abhängigen Variablen zeigen, Regressionsanalysen durchgeführt. Diese Ergebnisse ermöglichen letztlich die Beantwortung der Forschungsfrage 2.

#### Vorherunterschiede: Unterschiede in den Eingangsvariablen zwischen den Gruppen

Die deskriptive Beschreibung der Eingangsvariablen fand bereits in Kapitel „Beschreibung der Stichprobe“ statt. Daher werden an dieser Stelle ausschließlich die Ergebnisse der Varianzanalysen zwischen den Gruppen vorgestellt und in Bezug zur deskriptiven Statistik gesetzt.

Tabelle 34 fasst die zugehörigen Werte zusammen.

Tabelle 34: Deskriptive Statistik und Analyse von Unterschieden in den Eingangsvariablen, Teil III

Abhängigen Variablen				
Mittelwert aller <i>Zweck von Modellen</i> -Items (MBK, T=0) <sup>8</sup> , z-Standardisiert	$M_{EG1}=.06, SD_{EG1}=.54$	$M_{EG2}=-.16, SD_{EG2}=.60$	$M_{EG3}=-.04, SD_{EG3}=.57$	$M_{EG4}=.10, SD_{EG4}=.54$
	$F(3,263)=2.83, p<.05^{*A}$			
Mittelwert aller <i>Testen von Modellen</i> -Items (MBK, T=0) <sup>8</sup> , z-Standardisiert	$M_{EG1}=.03, SD_{EG1}=.56$	$M_{EG2}=-.08, SD_{EG2}=.66$	$M_{EG3}=-.08, SD_{EG3}=.60$	$M_{EG4}=.12, SD_{EG4}=.60$
	$F(3,261)=.1.74, p=.16^A$			
Mittelwert aller <i>Ändern von Modellen</i> -Items (MBK, T=0) <sup>8</sup> , z-Standardisiert	$M_{EG1}=-.05, SD_{EG1}=.61$	$M_{EG2}=-.12, SD_{EG2}=.67$	$M_{EG3}=.12, SD_{EG3}=.65$	$M_{EG4}=.01, SD_{EG4}=.66$
	$F(3,262)=1.56, p=.20^A$			
Summe aller <i>Fachwissens</i> -Items (T=0), 0-11 Punkte	$M_{EG1}=4.18, SD_{EG1}=2.15$	$M_{EG2}=4.07, SD_{EG2}=2.61$	$M_{EG3}=3.79, SD_{EG3}=2.39$	$M_{EG4}=3.54, SD_{EG4}=2.63$
	$F(3,266)=.98, p=.41^A$			
Prädiktorvariablen				
Mittelwert aller <i>Schulleistungen (SL)</i> -Items (Gesamt), Skala: 0-15	$M_{EG1}=10.16, SD_{EG1}=2.53$	$M_{EG2}=9.78, SD_{EG2}=2.47$	$M_{EG3}=10.12, SD_{EG3}=2.11$	$M_{EG4}=10.24, SD_{EG4}=2.47$
	$F(3,250)=.45, p=.72^A$			
Summe aller <i>Vorwissens</i> -Items, 0-11 Punkte	$M_{EG1}=6.20, SD_{EG1}=1.58$	$M_{EG2}=4.52, SD_{EG2}=2.49$	$M_{EG3}=4.34, SD_{EG3}=2.00$	$M_{EG4}=4.69, SD_{EG4}=2.26$
	<b>Welch-Test: <math>F(3,144.96)=15.69, p&lt;.001^{**B}</math></b>			
Mittelwert aller <i>Gefühlsbezogene Valenzen</i> -Items (FI), Skala: 1-5	$M_{EG1}=3.02, SD_{EG1}=.69$	$M_{EG2}=2.96, SD_{EG2}=.73$	$M_{EG3}=2.78, SD_{EG3}=.76$	$M_{EG4}=2.96, SD_{EG4}=.60$
	$F(3,266)=1.43, p=.23^A$			
Mittelwert aller <i>Wertbezogene Valenzen</i> -Items (FI), Skala: 1-5	$M_{EG1}=2.91, SD_{EG1}=.59$	$M_{EG2}=2.79, SD_{EG2}=.70$	$M_{EG3}=2.83, SD_{EG3}=.74$	$M_{EG4}=2.96, SD_{EG4}=.67$
	$F(3,266)=.95, p=.42^A$			
Mittelwert aller <i>Intrinsische Orientierung</i> -Items (FI), Skala: 1-5	$M_{EG1}=2.25, SD_{EG1}=.85$	$M_{EG2}=2.18, SD_{EG2}=.88$	$M_{EG3}=2.48, SD_{EG3}=1.01$	$M_{EG4}=2.42, SD_{EG4}=.95$
	$F(3,265)=1.49, p=.22^A$			

Mittelwert aller <i>Fähigkeitsselbstkonzept</i> -Items, Skala: 1-5	$M_{EG1}=3.34, SD_{EG1}=.55$	$M_{EG2}=3.16, SD_{EG2}=.79$	$M_{EG3}=3.24, SD_{EG3}=.71$	$M_{EG4}=3.38, SD_{EG4}=.69$
	$F(3,265)=1.40, p=.24^A$			
Mittelwert aller <i>Modellkompetenz</i> (MK)-Items <sup>8</sup> , z-Standardisiert	$M_{EG1}=-.01, SD_{EG1}=.50$	$M_{EG2}=-.13, SD_{EG2}=.48$	$M_{EG3}=.00, SD_{EG3}=.48$	$M_{EG4}=.08, SD_{EG4}=.47$
	$F(3,265)=2.27, p=.08^A$			
<b>Kontrollvariablen</b>				
Alter	$M_{EG1}=14.44, SD_{EG1}=.66$	$M_{EG2}=14.42, SD_{EG2}=.63$	$M_{EG3}=14.97, SD_{EG3}=4.76$	$M_{EG4}=14.34, SD_{EG4}=.61$
	$F(3,261)=.94, p=.43^A$			
Geschlecht	$m_{EG1}: 28 (43.1 \%),$ $w_{EG1}: 36 (55.4 \%)$ $d_{EG1}: 1 (1.5 \%)$	$m_{EG2}: 28 (45.2 \%),$ $w_{EG2}: 34 (54.8 \%)$ $d_{EG2}: 0 (0 \%)$	$m_{EG3}: 19 (33.3 \%),$ $w_{EG3}: 34 (59.6 \%)$ $d_{EG3}: 4 (7.0 \%)$	$m_{EG4}: 29 (43.9 \%),$ $w_{EG4}: 37 (56.1 \%)$ $d_{EG4}: 0 (0 \%)$
	$\chi^2(6) = 14.95, p = .021, \phi = 0.25^*$			
Schulform	Gym <sub>EG1</sub> : 68 (100 %), GemS <sub>EG1</sub> : 0 (0 %) Real <sub>EG1</sub> : 0 (0 %) Sonstiges <sub>EG1</sub> : 0 (0 %)	Gym <sub>EG2</sub> : 41 (62.1 %), GemS <sub>EG2</sub> : 21 31.8 % Real <sub>EG2</sub> : 4 (6.1 %) Sonstiges <sub>EG2</sub> : 0 (0 %)	Gym <sub>EG3</sub> : 26 (43.3 %), GemS <sub>EG3</sub> : 23 (38.3 %) Real <sub>EG3</sub> : 11 (18.3 %) Sonstiges <sub>EG3</sub> : 0 (0 %)	Gym <sub>EG4</sub> : 59 (86.8 %), GemS <sub>EG4</sub> : 8 (11.8 %) Real <sub>EG4</sub> : 0 (0 %) Sonstiges <sub>EG4</sub> : 1 (1.5 %)
	$\chi^2(9) = 74.73, p < .001, \phi = 0.53^{**}$			

<sup>A</sup> Varianzhomogenität angenommen, da Levene-Test nicht signifikant

<sup>B</sup> Varianzheterogenität angenommen, da Levene-Test signifikant

\* Dieser Wert ist auf dem Niveau 0,05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Dieser Wert ist auf dem Niveau 0,01 (2-seitig) signifikant.

In Bezug auf die abhängige Variable Fachwissen zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen,  $F(3,266)=.98$ ,  $p=.41$ . Die arithmetischen Mittel zeigen mit Werten zwischen 3.54 und 4.18 von 11 maximal erreichbaren Punkten für alle Gruppen ein niedriges Fachwissensniveau. Die Subdimensionen der Modellbildungskompetenz werden einzeln betrachtet: Für den *Zweck von Modellen* zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Im Tukey post-hoc Test<sup>15</sup> weisen die Schüler\*innen der EG 4 ein statistisch signifikant höheres Kompetenzniveau beim *Zweck von Modellen* auf als Schüler\*innen der EG 2 (.24, 95%-CI [.01, .50]). Für die beiden weiteren Subdimensionen der Modellbildungskompetenz, *Testen* und *Ändern von Modellen*, zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Nun werden die Gruppen bezüglich der Prädiktorvariablen verglichen. Die Schulleistungen, in Form des Mittelwerts aller Naturwissenschaftsnoten, unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Gruppen,  $F(3,250)=.45$ ,  $p=.72$ . Die Schulleistungen der Lernenden liegen in allen Gruppen in einem guten Bereich (ca. 10 Punkte). Im Unterschied dazu liegt das Niveau des Vorwissens in allen Gruppen auf einem niedrigen Niveau ( $M=4.34$  bis  $M=6.20$  von 11 möglichen Punkten). In diesem Zusammenhang zeigt sich ein signifikanter Gruppenunterschied im Vorwissen (Welch-Test:  $F(3,144.96)=15.69$ ,  $p<.001$ <sup>16</sup>): Im Games-Howell post-hoc Test zeigt sich, dass das Vorwissen der Schüler\*innen in EG 1 statistisch signifikant höher liegt als das Vorwissen der Schüler\*innen in EG 2 (1.67, 95%-CI [.74,2.61]), in EG1 signifikant höher ist als das der Schüler\*innen in EG 3 (1.85, 95%-CI [1.03,2.68]) und ebenso signifikant höher als das Vorwissen der Schüler\*innen in EG 4 ist (1.51, 95%-CI [.65,2.36]). In Bezug auf alle weiteren Prädiktorvariablen (gefühlbezogenen Valenzen, wertbezogenen Valenzen, Intrinsische Orientierung und Modellkompetenz) zeigen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Zuletzt werden Gruppenunterschiede bezüglich der Kontrollvariablen betrachtet. Im Zusammenhang mit dem Alter unterscheiden sich die vier Experimentalgruppen nicht statistisch signifikant voneinander. Für die nominalskalierten Variablen Geschlecht und Schulform werden Chi-Quadrat-Analysen durchgeführt, welche statistisch signifikante Unterschiede in den Häufigkeitsverteilungen aufzeigen. Dabei unterscheiden sich sowohl das Geschlecht ( $\chi^2(6) = 14.95$ ,  $p = .021$ ,  $\phi = 0.25$ ) wie auch die Schulform ( $\chi^2(9) = 74.73$ ,  $p < .001$ ,  $\phi = 0.53$ ) statistisch signifikant zwischen den Gruppen.

Ausgehend von diesen Analysen zu den Gruppenunterschieden in den Eingangsvariablen werden für die folgenden Analysen *Zweck von Modellen* zum Zeitpunkt T=0 und das Vorwissen als Kovariate betrachtet. Durch die statistisch signifikanten Unterschiede in Geschlecht und Schulform werden diese Variablen als weitere unabhängige Variable in die Analysen integriert.

---

<sup>15</sup> In diesem Fall wird der Tukey post-hoc Test durchgeführt, da aufgrund eines nicht signifikanten Levene-Tests von Varianzhomogenität ausgegangen werden kann.

<sup>16</sup> In diesem Fall wird der Welch-Test zur Beurteilung der Signifikanz von Gruppenunterschieden herangezogen, da aufgrund eines signifikanten Levene-Tests von Varianzheterogenität ausgegangen werden muss. Die post-hoc Analysen werden demzufolge mittels der Games-Howell Tests durchgeführt.

## Ergebnisse zu den Fragestellungen und Hypothesen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der hypothesenprüfenden Analysen vorgestellt. Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage werden die Werte der abhängigen Variablen Modellbildungskompetenz und ihren Subdimensionen sowie des Fachwissens zu beiden Messzeitpunkten betrachtet. Diese Werte sind in Tabelle 35 für alle Schüler\*innen und getrennt nach den Experimentalbedingungen dargestellt.

Tabelle 35: Deskriptive Statistik der abhängigen Variablen in Teil III für T=0 und T=1

Variable	Zeitpunkt	EG 1 (n=69)	EG 2 (n=67)	EG 3 (n=63)	EG 4 (n=71)	Gesamt (N=270)
Ansatz der Digitalisierung		Statisch	Dynamisch	Statisch	Dynamisch	
Ansatz der Differenzierung		Fachwissen	Fachwissen	MBK	MBK	
Mittelwert aller Modellbildungskompetenz (MBK)-Items (Gesamt), z-standardisiert	T=0	M= .01, SD= .43	M= -.11, SD= .51	M= .00, SD= .50	M= .08, SD= .47	M= -.01, SD= .49
	T=1	M= -.10, SD= .61	M= -.12, SD= .39	M= .04, SD= .53	M= .14, SD= .47	M= -.01, SD= .51
Mittelwert aller <i>Zweck von Modellen</i> -Items (MBK), z-standardisiert	T=0	M= .06, SD= .54	M= -.13, SD= .58	M= -.04, SD= .58	M= .10, SD= .54	M= -.01, SD= .57
	T=1	M= -.08, SD= .66	M= -.16, SD= .55	M= .00, SD= .58	M= .21, SD= .55	M= -.01, SD= .60
Mittelwert aller <i>Testen von Modellen</i> -Items (MBK), z-standardisiert	T=0	M= .03, SD= .56	M= -.08, SD= .66	M= -.08, SD= .60	M= .12, SD= .60	M= -.01, SD= .57
	T=1	M= -.15, SD= .74	M= -.06, SD= .41	M= .00, SD= .65	M= .15, SD= .55	M= -.02, SD= .61
Mittelwert aller <i>Ändern von Modellen</i> -Items (MBK), z-standardisiert	T=0	M= -.05, SD= .61	M= -.10, SD= .67	M= .12, SD= .65	M= .01, SD= .66	M= -.01, SD= .65
	T=1	M= -.11, SD= .73	M= -.13, SD= .58	M= .12, SD= .61	M= .06, SD= .66	M= -.02, SD= .65
Summe aller <i>Fachwissens</i> -Items (T=0), 0-11 Punkte	T=0	M= 3.89, SD= 2.45	M= 2.34, SD= 1.34	M= 1.82, SD= 1.42	M= 1.93, SD= 1.42	M= 3.89, SD= 2.45
	T=1	M= 5.69, SD= 2.19	M= 3.35, SD= 1.01	M= 2.91, SD= 1.32	M= 2.81, SD= 1.43	M= 5.69, SD= 2.19

Die Werte der Modellbildungskompetenz und entsprechenden Subdimensionen werden z-standardisiert, da zur Bildung der Skala Items mit geschlossenem und offenem Format herangezogen werden, die sich in ihren Ranges unterscheiden.

In Bezug auf die Modellbildungskompetenz aller Schüler\*innen zeigt sich, dass der Mittelwert sowohl zu T=0 wie auch zu T=1 unverändert bei -.01 ( $SD= .49$  bzw.  $SD= .51$ ) liegt. Dies ergibt

sich durch unterschiedliche Entwicklungen in den Experimentalgruppen: In EG 2 bleibt der Mittelwert von T=0 zu T=1 nahezu konstant, in EG 1 kann ein Absinken des Mittelwerts beobachtet werden, während in EG 3 und EG 4 Steigerungen erkennbar sind. Für die Subdimensionen der Modellbildungskompetenz sind keine allgemeinen Trends erkennbar, daher werden nur deutliche Veränderungen berichtet: Beim *Zweck von Modellen* zeigt sich beispielsweise in EG 4 ein Anstieg des Mittelwertes von  $M = -.10$  ( $SD = .54$ ,  $T=0$ ) auf  $M = .21$  ( $SD = .55$ ,  $T=1$ ). Ein ähnlicher Zuwachs für diese Gruppe ist auch beim *Testen von Modellen* erkennbar: Hier steigt der Mittelwert von  $M = -.12$  ( $SD = .60$ ,  $T=0$ ) auf  $M = .15$  ( $SD = .55$ ,  $T=1$ ). Im Gegensatz dazu vermindert sich der Mittelwert zum *Testen von Modellen* in EG1 von  $M = .03$  ( $SD = .56$ ) auf  $M = -.15$  ( $SD = .74$ ).

Bevor nun die **Forschungsfrage 1** zusammen mit ihren unterschiedlichen Hypothesen beantwortet wird, wird das erste Hypothesenpaar, welches sich auf den dreifachen Interaktionseffekt bezüglich der **Modellbildungskompetenz** bezieht, an dieser Stelle erneut wiedergegeben:

*H<sub>0</sub><sup>A.1</sup>: Die Veränderung der MBK und der entsprechenden Subdimensionen der Schüler\*innen unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Arten der Differenzierung und nicht zwischen den beiden Arten der Digitalisierung.*

*H<sub>1</sub><sup>A.1</sup>: Die Veränderung der MBK der Schüler\*innen und der entsprechenden Subdimensionen unterscheidet sich zwischen den beiden Arten der Differenzierung und zwischen den beiden Arten der Digitalisierung statistisch signifikant.*

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, wurde zur Beantwortung dieser Forschungsfrage eine 2-faktorielle MANCOVA mit Messwiederholung<sup>17</sup> durchgeführt. Als Kovariate wird das Vorwissen mit einbezogen. Der dreifache Interaktionseffekt (Zeit\*Digitalisierung\*Differenzierung) zwischen der Zeit und den beiden unabhängigen Variablen ist nicht signifikant,  $F(4,255) = .93$ ,  $p = .59$ , Wilk's  $\lambda = .99$ , partielles  $\eta^2 = .01$  (Abbildung 51). Bei Betrachtung der univariaten Tests zeigen sich auch keine signifikanten Interaktionen. Damit kann die  $H_0^{A.1}$  nicht verworfen werden. Es muss demzufolge davon ausgegangen werden, dass die Veränderung der Modellbildungskompetenz sowie der zugehörigen Subdimensionen sich nicht zwischen den beiden Arten der Modelldarstellung und den beiden Arten der Differenzierung unterscheidet.

---

<sup>17</sup> Die beiden Faktoren werden durch die unabhängigen Variablen (UV) Art der Digitalisierung und Art der Differenzierung gebildet. Aus den Analysen der Vorherunterschiede ging hervor, dass das Geschlecht und die Schulform als weitere UVs in die Analysen mit einbezogen werden müssten, durch den kleinen Stichprobenumfang ergeben sich allerdings zu kleine Proband\*innenanzahlen für die einzelnen Zellen, sodass diese beiden UVs nicht mit betrachtet werden.

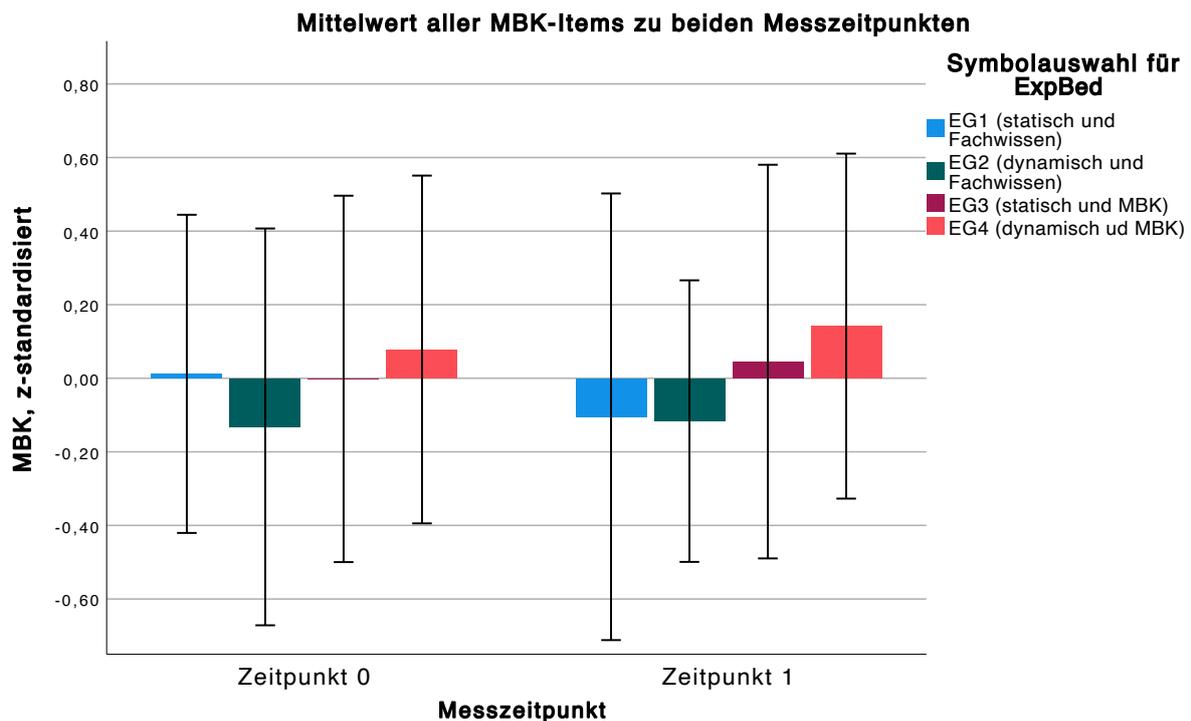


Abbildung 51: Modellbildungskompetenz zu beiden Messzeitpunkten in Teil III, getrennt nach Gruppen

Gemäß des zweiten Hypothesenpaars wird der zweifache Interaktionseffekt zwischen der Zeit und der Art der Digitalisierung untersucht. Dazu wird auch hier das Hypothesenpaar zunächst erneut genannt:

*$H_0^{A,H1}$ : Die Veränderung der MBK und der entsprechenden Subdimensionen der Schüler\*innen unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Arten der Digitalisierung.*

*$H_1^{A,H1}$ : Die Veränderung der MBK und der entsprechenden Subdimensionen der Schüler\*innen liegt in der Gruppe der dynamischen Modelldarstellung statistisch signifikant höher als in der Gruppe mit der statischen Modelldarstellung.*

Diesbezüglich wird in der 2-faktoriellen MANCOVA mit Messwiederholung der zweifache Interaktionseffekt zwischen der Zeit und den Arten der Digitalisierung betrachtet (Zeit\* Digitalisierung). Dabei zeigen sich weder für die multivariaten Tests signifikante Interaktionen, ( $F(4,255) = .66, p = .62, \text{Wilk's } \lambda = .99, \text{partielles } \eta^2 = .01$ ) noch für die univariaten Tests ( $p > .05$  für alle vier Variablen). Aus diesem Grund kann die Nullhypothese ( $H_0^{A,H1}$ ) nicht verworfen werden und muss demnach als gültig angenommen werden. Daraus resultiert, dass die Veränderung in der Modellbildungskompetenz sowie ihren Subdimensionen sich nicht signifikant zwischen den beiden Arten der Digitalisierung unterscheidet.

Weiterführend wird im Zusammenhang mit dem letzten Hypothesenpaar bezüglich der Modellbildungskompetenz der zweifache Interaktionseffekt zwischen der Zeit und der Art der Differenzierung untersucht. Dazu wird auch hier das Hypothesenpaar zunächst erneut genannt:

$H_0^{A,H2}$ : Die Veränderung der MBK und der entsprechenden Subdimensionen der Schüler\*innen unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Arten der Differenzierung.

$H_1^{A,H2}$ : Die Veränderung der MBK und der entsprechenden Subdimensionen der Schüler\*innen liegt in der Gruppe mit Hilfestellungen bzgl. der MBK statistisch signifikant höher als in der Gruppe mit Hilfestellungen bzgl. des Fachwissens.

Im Zusammenhang mit diesem Hypothesenpaar wird in der oben beschriebenen 2-faktoriellen MANCOVA mit Messwiederholung der zweifache Interaktionseffekt zwischen der Zeit und den Arten der Differenzierung betrachtet (Zeit\*Differenzierung). Dabei zeigt sich für die multivariaten Tests keine signifikante Interaktion,  $F(4,255)= 2.23, p= .07$ , Wilk's  $\lambda= .97$ , partielles  $\eta^2= .03$ . Für die univariaten Tests zeigen sich allerdings für zwei abhängige Variablen signifikante Interaktionseffekte zwischen der Zeit und der Art der Differenzierung. Dabei zeigt sich für die Modellbildungskompetenz als Gesamtskala ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen der Zeit und der Art der Differenzierung,  $F(1,258)= 4.18, p= .04$ , partielles  $\eta^2= .02$  mit Greenhouse-Geisser-Korrektur<sup>18</sup>. Ebenso zeigt sich auch für den *Zweck von Modellen* ein signifikanter Zweifachinteraktionseffekt,  $F(1,258)= 6.39, p= .01$ , partielles  $\eta^2= .02$  mit Greenhouse-Geisser-Korrektur<sup>18</sup>. Es soll im Rahmen von anschließenden *T*-Tests geprüft werden, ob die Veränderung in der Modellbildungskompetenz und dem *Zweck von Modellen* statistisch signifikant größer ist für die Schüler\*innen, die eine Differenzierung bezüglich der Modellbildungskompetenz erhalten haben (Dif\_0=2). Hierbei zeigt sich, dass sich die Veränderung in der Modellbildungskompetenz nicht signifikant zwischen den beiden Arten der Differenzierung unterscheidet ( $t(264)= -1.86, p= .06^{19}$ ). Ebenso wird für den *Zweck von Modellen* ein *t*-Test angeschlossen. Dieser zeigt, dass die Veränderung im *Zweck von Modellen* für die Lernenden mit Differenzierung bezüglich der Modellbildungskompetenz (Dif\_0=2) statistisch signifikant größer ist als die der Lernenden mit Differenzierung bezüglich des Fachwissens (Dif\_0=1),  $M_{Dif_0=2}= .08, SD_{Dif_0=2}= .54, M_{Dif_0=1}= -.08, SD_{Dif_0=1}= .63, t(264)= -2.18, p= .15^{19}$ ). Das Signifikanzniveau liegt in diesem Fall durch die Alpha-Bonferoni-Adjustierung<sup>20</sup> bei  $\alpha'=0,05/2= 0,025$ .

---

<sup>18</sup> In diesem Fall wurde eine Greenhouse-Geisser-Korrektur vorgenommen, da ausgehend von einem signifikanten Mauchley-Test keine Sphärizität angenommen werden kann.

<sup>19</sup> Zur Überprüfung der Voraussetzungen zur Durchführung eines *t*-Test wurde der Levene-Test auf Signifikanz überprüft, um auf Varianzhomogenität schließen zu können. Da der Levene-Test nicht signifikant war, kann Varianzhomogenität angenommen werden.

<sup>20</sup> Die Alpha-Bonferoni-Adjustierung wurde durchgeführt, um die Kumulation der Alpha-Fehler bei vermehrten Analysen mit derselben Stichprobe zu kompensieren.

Ausgehend von diesen Ergebnissen kann auf die Hypothesen rückgeschlossen werden. Für den *Zweck von Modellen* kann damit die  $H_0^{A,H2}$  verworfen und die Alternativhypothese angenommen werden, dass es einen signifikanten Unterschied in der Veränderung des *Zwecks von Modellen* in Abhängigkeit von der Art der Differenzierung gibt. Es konnte sogar belegt werden, dass sich Schüler\*innen mit der Differenzierung bezüglich der Modellbildungskompetenz einen signifikant größeren Zuwachs im *Zweck von Modellen* zeigen. Für die Gesamtskala sowie die Subdimensionen *Testen* und *Ändern von Modellen* kann die  $H_0^{A,H2}$  nicht verworfen werden, sodass hier nicht von einem signifikanten Unterschied in der Veränderung der MBK und des *Testens* und *Änderns von Modellen* in Abhängigkeit von der Art der Differenzierung ausgegangen werden kann.

Im Zusammenhang mit dem **Fachwissen** werden nun analog die drei Hypothesenpaare besprochen. Auch hier wird zunächst das erste Paar erneut abgedruckt:

*$H_0^{B,I}$ : Die Veränderung des Fachwissens der Schüler\*innen unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Arten der Differenzierung und nicht zwischen den beiden Arten der Digitalisierung.*

*$H_1^{B,I}$ : Die Veränderung des Fachwissens der Schüler\*innen unterscheidet sich zwischen den beiden Arten der Differenzierung und zwischen den beiden Arten der Digitalisierung statistisch signifikant*

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, wurde zur Beantwortung dieser Forschungsfrage eine 2-faktorielle ANCOVA mit Messwiederholung<sup>21</sup> durchgeführt. Als Kovariate werden das Vorwissen zu Beginn und das *Testen von Modellen* zu T=0 integriert. Für den dreifachen Interaktionseffekt zwischen der Zeit und den beiden unabhängigen Variablen (Zeit\*Differenzierung\*Digitalisierung) zeigt sich auch hier keine Signifikanz,  $F(1,261)= .45$ ,  $p= .50$ , Wilk's  $\lambda= 1.00$ , partielles  $\eta^2= .00$  (Abbildung 52). Ausgehend von diesem Ergebnis kann die  $H_0^{B,I}$  nicht verworfen werden. Es muss demzufolge davon ausgegangen werden, dass die Veränderung des Fachwissens sich nicht signifikant zwischen den beiden Arten der digitalen Modelldarstellung und den beiden Arten der Differenzierung unterscheidet.

---

<sup>21</sup> Die beiden Faktoren werden durch die unabhängigen Variablen (UV) Art der Digitalisierung und Art der Differenzierung gebildet. Aus den Analysen der Vorherunterschiede ging hervor, dass das Geschlecht und die Schulform als weitere UVs in die Analysen mit einbezogen werden müssten, durch den kleinen Stichprobenumfang ergeben sich allerdings zu kleine Proband\*innenanzahlen für die einzelnen Zellen, sodass diese beiden UVs nicht mit betrachtet werden.

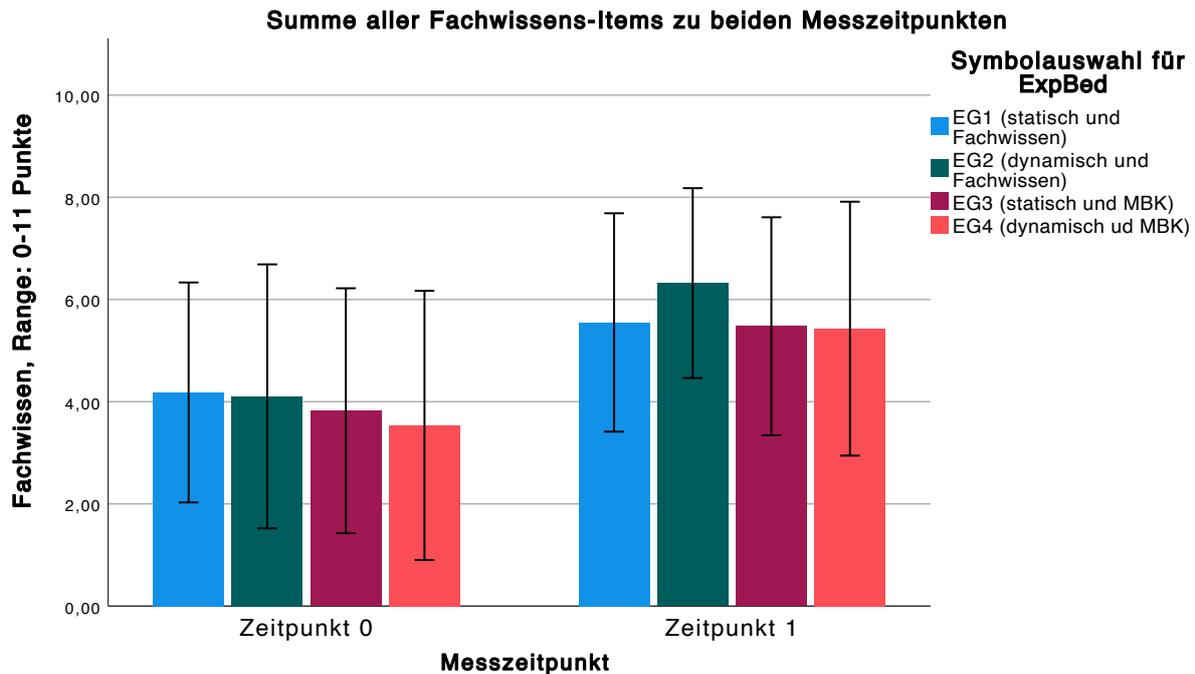


Abbildung 52: Fachwissen zu beiden Messzeitpunkten in Teil III, getrennt nach Gruppen

Weiterführend im Zusammenhang mit dem zweiten Hypothesenpaar zur Veränderung des Fachwissens während der Intervention wird der zweifache Interaktionseffekt zwischen der Zeit und der Art der Digitalisierung untersucht. Dazu wird das Hypothesenpaar im Folgenden erneut wiedergegeben:

$H_0^{B,H1}$ : Die Veränderung des Fachwissens der Schüler\*innen unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Arten der Digitalisierung.

$H_1^{B,H1}$ : Das Fachwissen der Schüler\*innen verändert sich in der Gruppe mit der dynamischen Modelldarstellung statistisch signifikant positiver als in der Gruppe mit der statischen Modelldarstellung.

In diesem Zusammenhang zeigt sich kein signifikanter Interaktionseffekt (Zeit\*Digitalisierung),  $F(1,261) = 3.17$ ,  $p = .80$ , Wilk's  $\lambda = .99$ , partielles  $\eta^2 = .12$ . Auf Grund dessen kann die  $H_0^{B,H1}$  nicht verworfen werden, sodass die Alternativhypothese als gültig angenommen werden muss. Es ist demzufolge davon auszugehen, dass sich das Fachwissen nicht signifikant zwischen den Arten der Digitalisierung über die Zeit unterscheidet.

Das dritte Hypothesenpaar betrachtete die Interaktion zwischen der Zeit und der Art der Differenzierung (Zeit\*Differenzierung). Dazu wird auch hier das Hypothesenpaar zunächst genannt:

$H_0^{B,H2}$ : Die Veränderung des Fachwissens der Schüler\*innen unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Arten der Differenzierung.

$H_1^{B,H2}$ : Die Veränderung des Fachwissens der Schüler\*innen liegt in der Gruppe mit Hilfestellungen bzgl. des Fachwissens statistisch signifikant höher als in der Gruppe mit Hilfestellungen bzgl. der Modellbildungskompetenz.

Für das Fachwissen zeigt sich kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen der Zeit und der Art der Differenzierung,  $F(1,261)=.07$ ,  $p=.80$ , Wilk's  $\lambda=1.00$ , partielles  $\eta^2=.00$ . Ausgehend von diesem Ergebnis kann die  $H_0^{B,H2}$  nicht verworfen werden. Es muss demzufolge weiterhin davon ausgegangen werden, dass es in Bezug auf die Art der Differenzierung keine signifikanten Unterschiede in der Veränderung des Fachwissens gibt.

Interessanterweise zeigt sich allerdings ein signifikanter Haupteffekt der Zeit. Das bedeutet, dass gemittelt über alle Gruppen, die Schüler\*innen unter Einbezug der Mittelwerte im Anschluss an die Intervention ein signifikant höheres Fachwissen aufweisen als zu Beginn,  $M_0=3.89$ ,  $SD_0=2.45$  und  $M_1=5.69$ ,  $SD_1=2.19$ ;  $F(1,261)=22.39$ ,  $p<.001$ , Wilk's  $\lambda=.92$ , partielles  $\eta^2=.08$ .

**Forschungsfrage 2** befasst sich mit möglichen Faktoren zur Vorhersage der Veränderungen in den abhängigen Variablen im Verlauf der Intervention. Zur Beantwortung dieser Frage wurden zunächst für alle abhängigen Variablen Differenzvariablen aus den Werten zu  $T=1$  und den Werten zu  $T=0$  gebildet. Für diese Differenzen ( $T_1-T_0$ ) werden Korrelationsanalysen mit den Prädiktorvariablen durchgeführt. Die Hypothesen, welche aus der Literatur abgeleitet werden konnten werden folgend noch einmal wiedergegeben:

*$H_0^{A/B,2}$  Kognitive Variablen, motivationale Variablen und kompetenzbezogene Variablen sind keine signifikanten Prädiktoren für einen Zuwachs im Bereich der MBK/des Fachwissens.*

*$H_1^{A/B,2}$ : Kognitive Variablen, motivationale Variablen und kompetenzbezogene Variablen sind signifikante Prädiktoren für die Veränderung der MBK/des Fachwissens.*

Die Ergebnisse fasst Tabelle 36 zusammen. Ergebnisse von Korrelationsanalysen zwischen den Prädiktorvariablen können Anhang „XIV. Korrelationsanalysen zwischen den Prädiktorvariablen in Teil III“ entnommen werden.

Tabelle 36: Korrelationsmatrix für die Differenzen (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>) der abhängigen Variablen in Teil III

N=270	Fachwissen (T <sub>1</sub> -T <sub>0</sub> )	MBK (T <sub>1</sub> -T <sub>0</sub> )	Z (T <sub>1</sub> -T <sub>0</sub> )	T (T <sub>1</sub> -T <sub>0</sub> )	Ae (T <sub>1</sub> -T <sub>0</sub> )
Modellbildungs- kompetenz (T <sub>0</sub> )	r= -.043 p= .488	r= <b>-.431**</b> p< <b>.001</b>	r= <b>-.269**</b> p< <b>.001</b>	r= <b>-.362**</b> p< <b>.001</b>	r= <b>-.260**</b> p< <b>.001</b>
Zweck von Modellen (T <sub>0</sub> )	r= -.028 p= .649	r= <b>-.362**</b> p< <b>.001</b>	r= <b>-.458**</b> p< <b>.001</b>	r= <b>-.235**</b> p< <b>.001</b>	r= -.058 p= .351
Testen von Modellen (T <sub>0</sub> )	r= -.027 p= .667	r= <b>-.328*</b> p< <b>.001</b>	r= <b>-.135*</b> p= <b>.029</b>	r= <b>-.532*</b> p< <b>.001</b>	r= -.027 p= .659
Ändern von Modellen (T <sub>0</sub> )	r= -.038 p= .536	r= <b>-.305*</b> p< <b>.001</b>	r= -.064 p= .298	r= -.108 p= .079	r= <b>-.495**</b> p< <b>.001</b>
Vorwissen (T <sub>0</sub> )	r= -.052 p= .400	r= -.062 p= .316	r= .028 p= .647	r= -.092 p= .138	r= -.050 p= .417
Fachinteresse (T <sub>0</sub> )	r= -.028 p= .645	r= <b>-.129*</b> p= <b>.035</b>	r= <b>-.137*</b> p= <b>.025</b>	r= -.092 p= .136	r= -.037 p= .546
Fähigkeitsselbstkonzept, FSK (T <sub>0</sub> )	r= -.090 p= .142	r= -.078 p= .204	r= -.095 p= .121	r= -.059 p= .357	r= -.019 p= .762
Modellkompetenz, MK (T <sub>0</sub> )	r= -.023 p= .713	r= <b>-.143*</b> p= <b>.019</b>	r= -.107 p= .081	r= <b>-.173**</b> p= <b>.005</b>	r= .003 p= .957

MBK (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>)=Differenzvariable der Modellbildungskompetenz (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>),

Z (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>)=Differenzvariable des *Zwecks von Modellen* (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>),

T (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>)=Differenzvariable des *Testen von Modellen* (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>),

Ae (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>)=Differenzvariable des *Ändern von Modellen* (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>),

Fachwissen (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>)=Differenzvariable des Fachwissens (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>)

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau 0,05 (2-seitig) signifikant.

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau 0,01 (2-seitig) signifikant.

Für die **Veränderung des Fachwissens** von T=0 zu T=1 zeigen sich keine signifikanten Zusammenhänge mit den Prädiktorvariablen. Daher werden bezüglich des Fachwissens auch keine Regressionsanalysen angeschlossen. Aus diesem Grund kann H<sub>0</sub><sup>B,2</sup> nicht verworfen werden und es muss weiterhin davon ausgegangen werden, dass weder kognitive, noch motivationale oder kompetenzbezogene Variablen die Veränderung des Fachwissens im Verlauf der Intervention vorhersagen.

Für die **Veränderung der Modellbildungskompetenz** im Verlauf der Intervention zeigen sich signifikante Zusammenhänge mit einigen der Prädiktorvariablen. Zunächst ist erkennbar, dass die Veränderung der Modellbildungskompetenz im Verlauf der Intervention statistisch signifikant negativ mit den Vortestwerten der Modellbildungskompetenz und ihren Subdimensionen zusammenhängt. Das bedeutet, dass geringere Werte in der Modellbildungskompetenz und ihren Subdimensionen zu Beginn der Einheit mit größeren Veränderungen in der Modellbildungskompetenz während der Intervention korrelieren und umgekehrt. Es handelt sich hierbei jeweils um moderate Zusammenhänge zwischen r= -.305 und r= -.431<sup>22</sup> (p< .001). Darüber

<sup>22</sup> Bei Werten um .10 spricht man von kleinen Zusammenhängen, bei ca. .25 von mittleren und über .4 gilt der Zusammenhang als stark (Cohen, 1988).

hinaus kann ein schwacher, statistisch signifikanter negativer Zusammenhang zwischen der Veränderung der Modellbildungskompetenz und dem Fachinteresse (Vortest) gezeigt werden ( $r = -.129, p = .035$ ). Demnach hängen geringere Werte im Fachinteresse des Vortests mit einer größeren Veränderung in der Modellbildungskompetenz zusammen und umgekehrt. Ebenso verhält es sich mit dem schwach, statistisch signifikanten negativen Zusammenhang zwischen der Veränderung der Modellbildungskompetenz und der Modellkompetenz zum Zeitpunkt  $T=0$  ( $r = -.143, p = .019$ ).

Für die Veränderung des *Zwecks von Modellen* im Verlauf der Intervention zeigen sich ebenfalls signifikante Zusammenhänge: Die Korrelation zwischen der Veränderung des *Zwecks von Modellen* und der Modellbildungskompetenz zu  $T=0$  ist hoch signifikant, aber moderat negativ ( $r = -.269, p < .001$ ). Daraus lässt sich ableiten, dass z.B. geringe Werte in der Modellbildungskompetenz zu Beginn mit großen Veränderungen im *Testen von Modellen* zusammenhängen. Die Veränderung des *Zwecks von Modellen* im Verlauf der Intervention hängt hingegen signifikant stark negativ mit dem Wert des *Testens von Modellen* zu Beginn zusammen,  $r = -.458, p < .001$ . Ein geringer negativer, statistisch signifikanter Zusammenhang zeigt sich mit dem *Testen von Modellen* zum Zeitpunkt  $T=0$  ( $r = -.135, p = .029$ ). Dieser Zusammenhang ist vergleichbar mit dem negativen, statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Veränderung im *Zweck von Modellen* und dem Fachinteresse zu Beginn ( $r = -.137, p = .025$ ).

Hinsichtlich der Veränderung des *Testens von Modellen* zeigen sich ähnliche Tendenzen wie bei den Veränderungen zuvor: Auch in diesem Fall hängt die Veränderung des *Testens von Modellen* moderat, statistisch signifikant mit der Modellbildungskompetenz zu  $T=0$  ( $r = -.362, p < .001$ ) zusammen. Der Zusammenhang zwischen der Veränderung des *Testens von Modellen* und dem *Zweck von Modellen* zu Beginn erweist sich ebenfalls als signifikant. Dabei handelt es sich um einen moderat negativen Zusammenhang ( $r = -.235, p < .001$ ). Der stärkste, statistisch signifikante Zusammenhang hinsichtlich der Veränderung des *Testens von Modellen* zeigt sich bezüglich des *Testens von Modellen* zum Zeitpunkt  $T=0$  ( $r = -.532, p < .001$ ). Auch bei diesem Zusammenhang handelt es sich um eine (stark) negative Korrelation. Zuletzt hängt die Veränderung des *Testens von Modellen* noch schwach negativ signifikant mit der Modellkompetenz zum Zeitpunkt  $T=0$  zusammen ( $r = -.173, p < .001$ ).

Abschließend wird die Veränderung des *Änderns von Modellen* auf statistisch signifikante Korrelationen mit den Prädiktorvariablen hin untersucht. Dabei zeigen sich nur für zwei Variablen statistisch signifikante Zusammenhänge: Zum einen hängt die Veränderung im *Ändern von Modellen* moderat negativ mit der Modellkompetenz zu Beginn zusammen ( $r = -.266, p < .001$ ). Zum anderen erweist sich der Zusammenhang mit dem *Ändern von Modellen* zu Beginn als stark negativ ( $r = -.495, p < .001$ ).

Es haben sich demnach signifikant negative Zusammenhänge zwischen den Veränderungen der Modellbildungskompetenz ( $T_1-T_0$ ) mit allen Subdimensionen sowie der Gesamtskala im Vortest gezeigt. Für die Veränderung ( $T_1-T_0$ ) des *Zwecks von Modellen* und des *Testens von*

*Modellen* konnten ebenso signifikant negative Zusammenhänge mit der Gesamtskala und dem *Zweck* und *Testen von Modellen* im Vortest gezeigt werden. Mit dem *Ändern von Modellen* gab es keinen signifikanten Zusammenhang. Für die Veränderung ( $T_1-T_0$ ) des *Änderns von Modellen* zeigt sich nur der Zusammenhang mit der Gesamtskala Modellbildungskompetenz zu  $T=0$  und dem *Ändern von Modellen* im Vortest als signifikant negativ. Die Kompetenzausprägungen im Vortest hängen damit deutlich (negativ) mit den entsprechenden Veränderungen von  $T=0$  zu  $T=1$  zusammen. Darüber hinaus zeigen sich signifikant negative Zusammenhänge des Fachinteresses mit der Veränderung ( $T_1-T_0$ ) in der Modellbildungskompetenz und im *Zweck von Modellen*. Die Modellkompetenz im Vortest steht wiederum in einem statistisch signifikanten, negativen Zusammenhang mit der Veränderung der Modellbildungskompetenz ( $T_1-T_0$ ) und der Veränderung ( $T_1-T_0$ ) im *Testen von Modellen*.

Ausgehend von den gefundenen Zusammenhängen der Modellbildungskompetenz mit den Vortestvariablen werden folgende als Variablen in die Regressionsanalyse zur Vorhersage der Veränderung der MBK während der Intervention aufgenommen: die Modellbildungskompetenz sowie ihre Subdimensionen zum Zeitpunkt  $T=0$ , das Fachinteresse und die Modellkompetenz zu  $T=0$ . Das Modell aus diesen sechs Variablen sagt die Veränderung der Modellbildungskompetenz im Verlauf der Intervention statistisch signifikant voraus,  $F(6,257)= 10.65, p < .001$ . Dabei zeigt sich die Modellbildungskompetenz zum Zeitpunkt  $T=0$  als einziger signifikanter Faktor ( $p=.001$ ). Durch dieses Modell können 18 % der Varianz in der Veränderung der Modellbildungskompetenz während der Intervention aufgeklärt werden.

Für die Veränderung des *Zwecks von Modellen* werden ausgehend von den zuvor berichteten statistisch signifikanten Zusammenhängen die Variablen Modellbildungskompetenz zu  $T=0$  sowie *Zweck* und *Testen von Modellen* zu Beginn sowie das Fachinteresse als Variablen herangezogen. Das Modell aus den fünf Variablen zeigt sich als statistisch signifikant zur Vorhersage der Veränderung des *Zwecks von Modellen*,  $F(4,259)= 20.40, p < .001$ . Dadurch können 22.8 % der Varianz in der Veränderung des *Zwecks von Modellen* aufgeklärt werden. Dabei zeigt sich nur der Wert *Zweck von Modellen* zum Zeitpunkt  $T=0$  als signifikanter Faktor ( $p < .001$ ).

Im Zusammenhang mit der Veränderung im *Testen von Modellen* werden die Variablen Modellbildungskompetenz sowie *Zweck* und *Testen von Modellen* zum Zeitpunkt  $T=0$  wie auch die Modellkompetenz zu  $T=0$  in die Regression integriert. Durch dieses Modell können 31.1 % der Varianz in der Veränderung im *Testen von Modellen* statistisch signifikant aufgeklärt werden,  $F(4,259)= 30.64, p < .001$ . Als signifikante Faktoren zeigen sich in diesem Fall das *Testen von Modellen* zu  $T=0$  ( $p < .001$ ), die Modellbildungskompetenz zum Zeitpunkt  $T=0$  ( $p = .044$ ) und die Modellkompetenz zum Zeitpunkt  $T=0$  ( $p = .023$ ).

Zuletzt werden die Variablen Modellbildungskompetenz zum Zeitpunkt  $T=0$  und das *Ändern von Modellen* zum Zeitpunkt  $T=0$  in die Regressionsanalysen zur Veränderung des *Änderns von Modellen* im Verlauf der Intervention integriert. Durch dieses Modell können 26.8 % der Varianz in der Veränderung des *Änderns von Modellen* statistisch signifikant aufgeklärt

werden;  $F(2,261)=49.15$ ,  $p < .001$ . Beide Faktoren zeigen sich in diesem Fall als signifikant (MBK:  $p < .001$ , Ae:  $p = .002$ ).

Aufgrund der unterschiedlichen Ergebnisse müssen die Hypothesen für die Modellbildungskompetenz und ihre Subdimensionen differenziert betrachtet werden. Für die Veränderung der Gesamtskala kann für die Variablen Modellbildungskompetenz sowie ihre Subdimensionen zum Zeitpunkt  $T=0$  (kompetenzbezogen), das Fachinteresse (motivational) und die Modellkompetenz zu  $T=0$  (kompetenzbezogen) die  $H_0^{A,2}$  verworfen werden und die Alternativhypothese angenommen werden, da sich diese Variablen als signifikante Prädiktoren herausgestellt haben. Für die verbleibenden Variablen naturwissenschaftsbezogenes Fähigkeitsselbstkonzept (motivational), Schulleistungen und Vorwissen (kognitiv) kann  $H_0^{A,2}$  nicht verworfen werden, sodass diese Variablen weiterhin als nicht signifikante Indikatoren zur Vorhersage der Veränderung der MBK angesehen werden. Für die Veränderung im *Zweck* und *Testen von Modellen* kann im Zusammenhang mit den kompetenzbezogenen Variablen *MBK*, *Zweck* und *Testen von Modellen* im Vortest, die  $H_0^{A,2}$  verworfen werden, da sich diese Prädiktoren als signifikant zeigten. Für die verbleibenden motivationalen, kognitiven und kompetenzbezogenen Variablen wird  $H_0^{A,2}$  weiterhin als gültig angenommen. Zuletzt zeigen sich für die Veränderung bezüglich des *Änderns von Modellen* ausschließlich die MBK im Vortest sowie das *Ändern von Modellen* zu Beginn als signifikante Prädiktoren, für die die  $H_0^{A,2}$  verworfen werden kann. Für alle verbleibenden Variablen gilt auch hier weiterhin  $H_0^{A,2}$ .

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse zeigt sich, dass einige Teile der Varianz in der Veränderung der Modellbildungskompetenz und ihren Subdimensionen durch einige Prädiktorvariablen aufgeklärt werden konnten. Dabei sind für die Gesamtskala sowie die Subdimensionen vor allem die entsprechenden Kompetenzausprägungen im Vortest signifikante Prädiktoren für die Veränderung im Verlauf der Intervention. Für die Veränderung in den Subdimensionen ist außerdem in jedem Fall der Wert der Gesamtskala MBK zu Beginn ein signifikanter Prädiktor. Für das Fachwissen konnten keine statistisch signifikanten Zusammenhänge gezeigt und damit auch keine Prädiktoren für die Veränderung des Fachwissens während der Intervention durch Variablen aufgeklärt werden.

Die Ergebnisse aus Teil III werden im folgenden Abschnitt diskutiert.

### **3.3.5 Diskussion**

#### Digitalisierung und Unterstützung als Anreicherung der Förderinheit für die Modellbildungskompetenz im Chemieunterricht

In Kapitel 3.3.4 wurden zuvor die Ergebnisse aus Teil III zusammengestellt. Nun werden diese vor dem Hintergrund weiterer Forschung diskutiert. Um eine bessere Übersichtlichkeit zu erreichen, werden die Ergebnisse in knappen Aussagen zusammengefasst, welche zum einen den Bezug zum voran gegangenen Kapitel herstellen und die folgende Diskussion gliedern.

*Die Veränderungen in den abhängigen Variablen während der Intervention unterscheiden sich weder in Abhängigkeit von der Art der Digitalisierung noch in Abhängigkeit von der Art der Differenzierung statistisch signifikant voneinander.*

In Teil III sollten Einflüsse der Art der Differenzierung und der Art der Digitalisierung auf die Entwicklung des Fachwissens und der Modellbildungskompetenz als abhängige Variablen erforscht werden. In diesem Zusammenhang sollten Dreifachinteraktionseffekte (Zeit x Differenzierung x Digitalisierung) signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen aufdecken. Das Ausbleiben von signifikanten Dreifachinteraktionseffekten für alle abhängigen Variablen könnte mehrere Gründe haben. Ein möglicher Erklärungsansatz kann in der Ähnlichkeit der Interventionen aller vier Experimentalgruppen liegen. Die unterschiedlichen Ansätze der Differenzierung und Digitalisierung werden daher folgend in Bezug zur gesamten Einheit gesetzt.

Die beiden Ausprägungen der **Art der digitalen Modelldarstellung**, die sich zwischen den Experimentalgruppen unterscheiden, werden in insgesamt drei Arbeitsaufträgen deutlich, die sich mit der Modelldarstellung: In jedem dieser Arbeitsaufträge werden von den Schüler\*innen der Gruppen mit der dynamischen Modelldarstellung in der App Stop-Motion mehrere Einzelbilder aufgezeichnet und schnell hintereinander angezeigt, sodass der Eindruck eines Videos entsteht. Im Vergleich dazu zeichnen die Lernenden der Gruppen mit den statischen Modelldarstellungen zwei Fotos (Foto 1: Modelldarstellung vor der chemischen Reaktion, Foto 2: danach) auf und beschreiben den Prozess schriftlich. Gesehen auf die gesamte Intervention unterscheiden sich damit die Gruppen nur in einem Bruchteil der Bearbeitungszeit voneinander (ca. 30 Min. von insgesamt 180 Min.). Alle anderen Inhalte sind in Bezug auf die Art der Digitalisierung bei beiden Varianten identisch. Im Zusammenhang mit den Videos der Gruppe mit den dynamischen Modelldarstellungen hat sich gezeigt, dass kaum eine Gruppe das Potenzial dieses Mediums ausgeschöpft hat. Letztendlich haben viele Schüler\*innen für den gesamten Prozess der chemischen Reaktion nur wenige Fotos aufgezeichnet, sodass Videos in einer Länge von ca. 2.5 Sekunden ( $M= 2.53$ ,  $SD= 1.70$ ) entstanden sind. In dieser sehr kurzen Zeitspanne kann in den Videos kaum eine Dynamik deutlich wahrnehmbar dargestellt werden. Damit handelt es sich schlussendlich bei genauerer Betrachtung auch bei den als dynamisch angedachten Modelldarstellungen um statische Darstellungen. Auch dies unterstreicht erneut die Vermutung, dass beide Trainingsbedingungen zu ähnlich waren und daher nicht zu signifikanten Unterschieden in den AVs führten.

Auch für die unabhängige Variable **Art der Differenzierung** zeigt sich, dass beide Varianten möglicherweise zu ähnlich zueinander waren, um einen signifikanten Unterschied in den Veränderungen der AVs hervorzurufen. Um die Ähnlichkeit der beiden Trainingsbedingungen zur Art der Differenzierung zu beschreiben, wird zunächst dargelegt, wie sich die beiden Varianten für die Schüler\*innen darstellen: Die Lernenden erhielten entweder Hilfestellungen zum Fachwissen (speziell: offene und geschlossene Systeme, Massenerhaltung) oder zur Modellbildungskompetenz (speziell: Möglichkeiten und Beispiele zur Modelldarstellung). Diese Hilfen waren über die grünen Hilfsymbole (Abbildung 44) zugänglich. Während der Intervention fiel

vermehrt auf, dass die Lernenden die Hilfestellungen vor allem an den Stellen nutzten, an denen sie in Aufgaben nicht weiterkamen. Dies war beispielsweise bei der Beschriftung der Versuchsaufbauten zu den Experimenten der Fall, bei denen für jedes zu beschriftende Objekt eine Lücke in der Präsentation vorgegeben war. Durch die Lücken konnten die Schüler\*innen ganz klar einschätzen, inwiefern sie Hilfe zur vollständigen Lösung der Aufgabe benötigen. Dann wendeten sich die Schüler\*innen häufig an die Hilfestellungen. An solchen Stellen mit handlungsorientierten Aufgaben unterschieden sich allerdings die Hilfestellungen nicht zwischen den Gruppen, da die Bewältigung dieser Aufgaben für die Schüler\*innen aller Gruppen von Bedeutung war. Die Stellen, an denen sich die Hilfestellungen zwischen den Gruppen unterschieden, sind die Stellen zur Entwicklung mentaler Modelle, bei denen ausschließlich kognitive Aktivitäten adressiert wurden. Die betreffenden Folien waren aufgebaut wie in Abbildung 53 dargestellt.

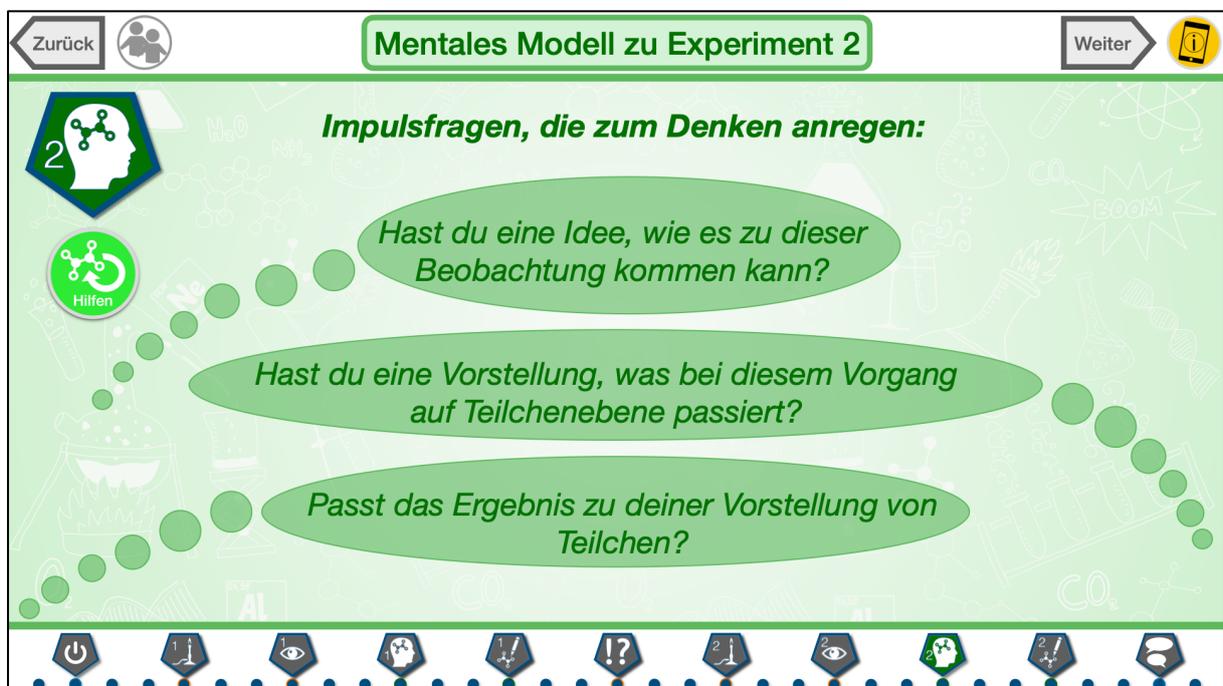


Abbildung 53: Auszug aus den interaktiven Präsentationen in Teil III:  
Entwicklung eines mentalen Modells zu Experiment 2

Sie beinhalteten keine handlungsorientierte Aufgabenstellung, sondern lieferten ausschließlich kognitiv anregende Fragestellungen. Diese Fragestellungen wurden als Unterstützung der Entwicklung eines mentalen Modells um Hilfestellungen entweder zum Fachwissen oder zur Modellbildung ergänzt, die sich zwischen den Bedingungen unterschieden. Der Bedarf an Hilfestellung wird bei diesem Typ Aufgaben allerdings erst bei intensiver kognitiver Auseinandersetzung mit den Impulsfragen aufgedeckt, da es keine aktive Handlung gibt, die ins Stocken geraten kann. Dadurch wurden diese Hilfestellungen, die sich zwischen den Ausprägungen der unabhängigen Variablen unterscheiden, vor allem von denjenigen Schüler\*innen verwendet, die besonders engagiert und in hohem Maße kognitiv aktiviert die Intervention bearbeiteten, sodass Schüler\*innen, die weniger engagiert und weniger kognitiv aktiviert ihre mentalen

Modelle entwickelten, gar nicht auf die Hilfestellungen stießen, die sich zwischen den Trainingsbedingungen unterschieden, sodass sich für diese Lernenden auch keine signifikanten Unterschiede in den Ausprägungen der AVs zeigen konnten. Ohne handlungsorientierte Arbeitsaufträge wurde die Folie zur Entwicklung des mentalen Modells von vielen Schüler\*innen nur überflogen, geschweige denn die Hilfestellungen dazu beachtet. Umgekehrt konnte allerdings bereits gezeigt werden, dass der Einsatz von Aufgaben mit (gestuften) Hilfestellungen wiederum die kognitive Aktivierung der Lernenden steigert (Franke-Braun et al., 2008), sodass grundsätzlich an den Hilfestellungen festgehalten werden sollte. In diesem Zusammenhang lohnt es sich möglicherweise, diese Impulsseite zur Entwicklung des mentalen Modells ebenfalls durch eine aktive Aufgabe begleiten zu lassen, die wiederum weiterhin durch Hilfestellungen unterstützt werden. Es könnten beispielsweise Stichpunkte zu jeder Frage schriftlich festgehalten werden müssen. Mit dieser Vorgehensweise könnten mehr Schüler\*innen auf Schwierigkeiten bei der Entwicklung eines mentalen Modells stoßen und sich in diesem Zusammenhang die Hilfestellungen, in denen sich die Varianten unterscheiden, anschauen.

Abgesehen von der Ähnlichkeit der Experimentalgruppen war darüber hinaus an den bearbeiteten Präsentationen der Schüler\*innen erkennbar, wie gewissenhaft sie sich mit der Einheit befasst haben. Ebenso wie in Teil II gab es auch hier wieder Schüler\*innen, die alle Aufgaben mit zufriedenstellender Gewissenhaftigkeit bearbeitet haben (Abbildung 54, oben). Dementgegen gab es auch Schüler\*innen, die die Arbeitsaufträge mit 1-Wort-Antworten bearbeiteten oder inhaltsfremde Aspekte integrierten (Abbildung 54, roter Rahmen im unteren Bild). Dies konnte durch die Kontrollen an den STOP-Stellen minimiert, allerdings nicht gänzlich verhindert werden.

Zurück
Modell zu Experiment 1
Weiter



**1**

**Aufgabe:** Beschreibt den Prozess aus Experiment 1 auf Teilchenebene anhand der beiden Bilder von der letzten Seite. Fügt diese hier links noch einmal ein.

**Beschreibung des Prozesses auf Teilchenebene:**

Vor der Reaktion sind die Teilchen getrennt.

Nach der Reaktion sind sie zusammen.

Vor der Reaktion



Nach der Reaktion



---

Zurück
Modell zu Experiment 1
Weiter



**1**

**Aufgabe:** Beschreibt den Prozess aus Experiment 1 auf Teilchenebene anhand der beiden Bilder von der letzten Seite. Fügt diese hier links noch einmal ein.

**Beschreibung des Prozesses auf Teilchenebene:**

Gasatome steigen nach oben  
Feststoffe bleiben unten

Vor der Reaktion



Nach der Reaktion



Abbildung 54: Auszüge aus den bearbeiteten Präsentationen,

oben: gewissenhafte Bearbeitung, unten: nicht gewissenhafte Bearbeitung (rot: inhaltsfremde Darstellung)

Die nicht vorhandenen signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf die untersuchten abhängigen Variablen können auch mit Blick auf die Drop-out Analysen reflektiert werden. Zur Drop-out-Stichprobe zählen all diejenigen Schüler\*innen, die die Lerneinheit nicht abgeschlossen oder den Fragebogen zum Post-Zeitpunkt nicht bearbeitet haben. In der Lerneinheit sollen Fachwissen und Modellbildungskompetenz bei den Schüler\*innen (weiter-) entwickelt werden. Da bereits mehrfach gezeigt wurde, dass ein Kompetenzerwerb in hohem Maße von Ausgangskompetenzen und dem Vorwissen beeinflusst wird (z.B. Gröll, 2015; Krawitz,

2020; Renkl, 2020), scheint es selbstverständlich, dass auch die Kompetenzförderung innerhalb der durchgeführten Intervention von dem Maß an Fachwissen, Vorwissen und Modellbildungskompetenz zu Beginn abhängig ist. Die Ergebnisse der Drop-out Analysen haben gezeigt, dass das Vorwissen der Schüler\*innen aus der gültigen Stichprobe (Einheit vollständig abgeschlossen und Code zuordenbar) signifikant höher lag als das Vorwissen der Lernenden der Drop-out-Stichprobe. Damit liegt es nahe zu vermuten, dass hier ein Zusammenhang besteht: Schüler\*innen mit einem niedrigeren Vorwissen zu Beginn konnten die Einheit innerhalb der vorgegebenen Zeit nicht erfolgreich abschließen und damit auch die Post-Erhebung nicht bearbeiten. Für zukünftige Durchführungen könnte diese Vermutung dahingehend zur Überarbeitung genutzt werden, dass das Vorwissen nicht nur durch den Einsatz des Sicherungsblatts in der vorangegangenen Schulstunde gesichert wird, sondern die Lernenden diese Einheit unmittelbar vor der Intervention, z.B. integriert in die vorbereitende Einheit, während der Intervention selbst bearbeiten. Alternativ könnte für Lernende mit einem geringeren Vorwissen mehr Zeit für die Intervention eingeplant werden. Außerdem müssen dann weitere Inhalte für die leistungsstärkeren Schüler\*innen als Differenzierung nach oben angeboten werden, um für diese Lernende Langeweile durch Warten auf langsamere Schüler\*innen zu vermeiden. Wichtig ist bei dieser Variante zur Wahrung der Vergleichbarkeit, diese Differenzierungsmaßnahmen nach oben erst nach Abschluss der zweiten Erhebung anzubieten. Eine Umsetzungsmöglichkeit für die Differenzierung nach oben wäre in diesem Zusammenhang z.B. die Durchführung, Beobachtung und Auswertung des Experiments zur Verbrennung von Schwefel im geschlossenen System, wie es in theoretischer Form in einem Item der Skala Fachwissen integriert ist (Versuchsaufbau siehe Abbildung 55 weiter unten).

Am Ende der Lerneinheit wurden die Schüler\*innen in der Präsentation gebeten, ihren Lernzuwachs und ihr Verständnis selbst zu beurteilen. Dabei gaben die Schüler\*innen an, dass sie innerhalb der Intervention eher etwas gelernt haben (deduktive Inhaltsanalyse nach der Intensitätsskala von Rohrmann (1978),  $M= 3.30$ ,  $SD= 1.12$  auf einer Skala mit 1= *nicht*, 2= *wenig*, 3= *mittelmäßig*, 4= *ziemlich*, 5= *sehr*). Falls sie diese Aussage verneinten, war eine häufig gegebene Begründung, dass die Inhalte bereits im Unterricht besprochen und verstanden wurde. Die Lernenden gaben zudem an, dass sich ihre Vorstellungen durch die Intervention eher nicht verändert haben (deduktive Inhaltsanalyse nach der Intensitätsskala von Rohrmann (1978),  $M= 2.52$ ,  $SD= 1.09$  auf einer Skala mit 1= *nicht*, 2= *wenig*, 3= *mittelmäßig*, 4= *ziemlich*, 5= *sehr*). Dies deckt sich auch mit den Präsentationen, bei denen in 84.81 % der Fälle die erste Modelldarstellung nicht oder nur optisch verändert wurden. Daraus lässt sich schließen, dass die Einheit vor allem in Bezug auf die Kompetenzvermittlung des *Änderns von Modellen* nicht ihr gesamtes Potenzial entfalten könnte. Die Mehrzahl der Lernenden erkannte allerdings den Sinn des Teilchenmodells zum tieferen Verständnis der chemischen Vorgänge in der Intervention an (deduktive Inhaltsanalyse nach der Intensitätsskala von Rohrmann (1978),  $M= 3.78$ ,  $SD= .73$  auf einer Skala mit 1= *nicht*, 2= *wenig*, 3= *mittelmäßig*, 4= *ziemlich*, 5= *sehr*). In diesem Zusammenhang lässt sich folgern, dass die Lernenden das Teilchenmodell nach der Einheit als

Werkzeug zum Verständnis chemischer Reaktionen ansehen (*Zweck von Modellen*). Diese Ergebnisse gehen stark mit den Befunden nach Günther et al. (2017) einher. Die Autor\*innen konnten in ihrer Interventionsstudie unter Biologielehrkräften zeigen, dass sich die Anzahl an Lehrkräften auf Kompetenzniveau III bezüglich des Zwecks von Modellen am stärksten unter allen Subdimensionen verbessert, während sich beim Testen und Ändern von Modellen die wenigsten positiven Kompetenzentwicklungen hin zu Niveau III zeigten. Ausgehend von dieser Selbsteinschätzung der Schüler\*innen lässt sich insgesamt vorsichtig vermuten, dass die Lernenden die Intervention grundsätzlich als effektiv für das Lernen einschätzen.

Weiterhin wurden in den Auswertungen von Teil III neben Interaktionseffekten auch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich der beiden abhängigen Variablen getrennt voneinander untersucht. Die Ergebnisse dieser getrennten Analysen werden nun weiterhin diskutiert. Zunächst wird dabei das Fachwissen fokussiert.

*Die Veränderung im Fachwissen unterscheidet sich statistisch signifikant in Bezug auf die Zeit.*

Für das Fachwissen konnte ein Haupteffekt der Zeit (gemittelt über alle Gruppen) gefunden werden. Demzufolge eignet sich die entwickelte Lerneinheit in allen vier Varianten zur Förderung des Fachwissens, es zeigen sich bezüglich des Fachwissens keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen im Zusammenhang mit Art der Digitalisierung oder der Art der Differenzierung. Im Zusammenhang mit der **Digitalisierung** spiegelt dieser Befund die Uneinigkeit in der Literatur wieder, die bezüglich der Statik bzw. Dynamik von Modelldarstellungen zwiegespalten ist: Zum einen konnten frühere Studien zeigen, dass sich die dynamischen Eigenschaften vor allem im Zusammenhang mit Teilchendarstellungen dazu eignen, das Verständnis von Schüler\*innen zum Aufbau der Materie und dem Fachwissen zu fördern (Yeziarski & Birk, 2006). Im Gegensatz dazu spielen cognitive load-Überlegungen in die Argumentationslinie hinein, wieso statische Darstellungen teilweise effektiver für das Lernen sein können als dynamische: In der Dynamik wechselwirken viele verschiedene Aspekte, sodass diese kognitiv belastend wirken kann, während in statischen Repräsentationen alle Aspekte nebeneinander betrachtet werden können. Kalyuga (2008) konnte diesbezüglich beispielsweise zeigen, dass Noviz\*innen eher von statischen Darstellungen und fortgeschrittenere Lernende eher von dynamischen Repräsentationen profitieren. Damit liefert Slava Kalyuga einen möglichen Erklärungsansatz für mangelnde signifikante Effekte in dieser Forschungsarbeit bezüglich der Digitalisierung: der Wissensstand der Schüler\*innen zu Beginn der Einheit. In den deskriptiven Analysen des Vortests von Teil III hat sich bereits gezeigt, dass die Lernenden über ein geringes Vor- und Fachwissen verfügen (Mittelwerte lagen unterhalb der Hälfte aller möglichen Punkte). Unter diesem Gesichtspunkt könnte die Intervention derart überarbeitet werden, dass sich die Intervention in der Art der Digitalisierung adaptiv an den Vor- und Fachwissensstand der Lernenden anpasst: Schüler\*innen mit einem geringeren Wissensstand bearbeiten die statische Variante der Intervention, während Lernende auf einem höheren Wissensniveau die dynamische

Modelldarstellung umsetzen. Dies würde eine Adaptivität bezüglich des Fach- und Vorwissens voraussetzen, welche sich allerdings in einer digitalen Variante problemlos umsetzen ließe.

Im Zusammenhang mit der **Differenzierung** zeigt die Theorie viele Umsetzungsmöglichkeiten für die Praxis auf. In diesem Forschungsvorhaben wurden ausschließlich Hilfestellungen als Variante der inneren Differenzierung eingesetzt. Hilfestellungen können ebenso wie in diesem Forschungsvorhaben mit einem inhaltlichen Schwerpunkt eingesetzt werden, um den Lernprozess zu unterstützen (Herold-Blasius, 2021). Demzufolge hätte sich das Fachwissen bei Unterstützung mit entsprechendem inhaltlichem Fokus besser entwickeln müssen als bei Differenzierung bezüglich der MBK. Gründe für das Ausbleiben dieses Effekts wurden bereits zuvor im Zusammenhang mit dem ausgebliebenen Dreifachinteraktionseffekt diskutiert. Um den Effekt der Hilfestellungen stärker auszubauen, könnten neben der Verankerung an handlungsorientierten Aufgaben während der Intervention auch lernstrategische Hilfen statt ausschließlich inhaltliche Hilfen angeboten werden (Stäudel, 2012). Lutz Stäudel macht in diesem Zusammenhang allerdings darauf aufmerksam, dass lernstrategische Hilfen für leistungsschwächere Schüler\*innen nur dann wirksam sind, wenn sie in Kombination mit inhaltlichen Hilfen eingesetzt werden. Das Forschungsvorhaben könnte demnach um lernstrategische Hilfen wie beispielsweise „*Formuliere die Aufgabe in eigenen Worten!*“ (ebd., S. 3) erweitert werden, um den Einfluss der Art der Differenzierung auf die Veränderung im Fachwissen zu vergrößern.

Im Anschluss an das Fachwissen werden nun die Ergebnisse zu Gruppenunterschieden bezüglich der Modellbildungskompetenz und ihrer Subdimensionen diskutiert, welche keine weitere Interaktion mit dem Fachwissen beachten.

*Die Veränderung im Zweck von Modellen unterscheidet sich statistisch signifikant zwischen den beiden Arten der Differenzierung.*

Im Zusammenhang mit dieser Aussage haben die Analysen in Teil III gezeigt, dass sich die Veränderungen im *Zweck von Modellen* statistisch signifikant in Abhängigkeit von der Art der Hilfestellung unterscheiden. Sämtliche Veröffentlichungen zu Differenzierungsmöglichkeiten und Hilfestellungen unterstützen diese Idee, da stets Angebote entwickelt werden, die sich in unmittelbarer inhaltlicher Nähe zum angestrebten Lernzuwachs bewegen (z.B. Emden & Koenen, 2016; Franke-Braun et al., 2008; Hußmann & Prediger, 2007; Stäudel, 2011). Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, in einer Lerneinheit, die hauptsächlich die Förderung der Modellbildungskompetenz fokussiert, auch diese Kompetenz inhaltlich durch Hilfestellungen zu unterstützen. Im Fall dieser Intervention in Teil III war es allerdings so, dass der Fokus nicht ausschließlich auf der Modellbildungskompetenz lag, sondern auch auf fachlicher Ebene, indem das „Gesetz der Erhaltung der Masse“ als eine der zentralen Ideen der Chemie zusätzlich von den Schüler\*innen erarbeitet wurde. Die damit einhergehende, grundlegende Frage nach einer Verbindung mit dem fachlichen Kompetenzzuwachs oder der Loslösung davon wird in Kapitel „4.3 Ausblick“ unter Bezugnahme auf diese Ergebnisse und in Rückgriff auf die Ergebnisse der Expertenbefragung in Teil I ausdifferenziert.

Neben diesen hypothesenspezifischen Ansätzen können weitere Aspekte der Intervention in Teil III diskutiert werden. Zunächst zeigten die Durchführungen mit den Schüler\*innen, dass die Lernenden der Intervention in Form der interaktiven Präsentation gut folgen konnten und selbstständig die Aufgaben in der vorgegebenen Reihenfolge bearbeiteten. Einige Probleme gab es dennoch bei der Handhabe: Um Notizen oder Ergänzungen in der Präsentation festzuhalten, mussten die Lernenden den interaktiven Präsentationsmodus verlassen und in den Bearbeitungsmodus wechseln. Nur in diesem wurden die Änderungen gespeichert. Um die Interaktivität wiederzuerlangen, mussten die Lernenden den Präsentationsmodus erneut starten. Diese Handhabe wurde zwar in der Einführung der Intervention erklärt, allerdings folgten einige Schüler\*innen diesem Muster nicht immer, sodass einige kleine Fortschritte im Verlauf der Intervention verloren gingen, da sie nicht im Bearbeitungsmodus gespeichert wurden. Durch eine hohe Betreuer\*innendichte während der Intervention konnten die Lernenden in den meisten Fällen frühzeitig auf dieses Versäumnis hingewiesen werden, sodass kaum Daten verloren gingen. Leider gibt es zur Zeit keine bessere digitale open-source Umsetzung für alle benötigten Anforderungen: Interaktion, Verlinkungen zu Websites, Integration handschriftlicher Notizen und Einbettung von Fotos sowie Videos. Die Präsentation spielte jedoch ihren größten Vorteil im Zusammenhang mit der Strukturierung der Intervention aus: In Teil II gab es noch ein sehr großes Durcheinander mit Zetteln, Schnipseln, zusammengeklebten Übersichten uvm. In Teil III waren alle Inhalte in der Präsentation gebündelt und konnten um weitere Aspekte (Notizen, Fotos und Videos) ergänzt werden. Dadurch konnten die Lernenden der vorgegebenen Struktur der Intervention optimal folgen und ihre kognitiven Kapazitäten auf den fachlichen Inhalt fokussieren. Indessen wurde der extraneous cognitive load reduziert und es blieb mehr Kapazität für den germane cognitive load, der zur Verarbeitung und Integration neuer Inhalte essentiell ist (Ausdünnen, Mayer & Moreno, 2003). Darüber hinaus könnte das digitale Format die Grundlage für anschließende Forschungsvorhaben bilden. In diesem Zusammenhang könnten beispielsweise log-file-Analysen näheren Aufschluss über die Nutzung von Hilfestellungen oder den Umgang der Lernenden mit dem digitalen Medium im Allgemeinen liefern (Greiff et al., 2015). Neff et al. (2023) zeichneten beispielsweise Logfile-Daten bezüglich der angeklickten Kapitel und Verweildauern in den unterschiedlichen Ansichten auf, um „digitale Lernpfade“ (S. 26) zu identifizieren. Durch Logfile-Analysen könnten auch für die hier eingesetzte interaktive Präsentation häufige „digitale Lernwege“ durch die Intervention bestimmt werden. Außerdem könnten die Aufrufhäufigkeiten sowie Verweildauern Aufschluss darüber liefern, welche Hilfestellungen für die Schüler\*innen nützlich waren (häufig aufgerufen mit angemessener Verweildauer) und welche nur selten oder flüchtig aufgerufen wurden. Diese Analysen würden dann Ansatzpunkte liefern, um die Hilfestellungen anzupassen und den Aufbau der Lerneinheit zu reflektieren.

Am Ende der vorbereitenden Einheit fand eine Partnerzuteilung in Form eines Lerntempo-Duets (Baumann & Gordalla, 2020) statt. Vor allem zum Zeitpunkt der Partnerzuteilung zeigte sich der starke Einfluss des Klassenklimas auf Gruppenarbeiten deutlich (Jürgen-Lohmann et

al., 2002). In einigen Klassen mit offensichtlich vertrauensvollem Klima lief die Bildung von Partnergruppen reibungslos, während in anderen Klassen die zwischenmenschlichen Beziehungen derart negativ besetzt waren, dass es zu Verweigerungen der Zusammenarbeit kam. In diesem Zusammenhang sollte künftig in Absprache mit der unterrichtenden Lehrperson im Vorhinein eine Einschätzung des Klassenklimas und der Anwendbarkeit von Lerntempoduetten besprochen werden. Dadurch kann die Intervention reibungsloser ablaufen und gerät nicht durch derartige Konflikte ins Stocken. Darüber hinaus zeigte sich deutlich der Effekt, dass die Partnergruppen ausschließlich aufgrund des Lerntempos gebildet wurden und nicht aufgrund von kognitiven Fähigkeiten. So gab es trotz dieser intendierten homogenen Paarbildung einige Gruppen, in denen ein Schüler/eine Schülerin deutlich dominanter in der Bearbeitung der Aufgaben vorging. Diesbezüglich wäre eine ausdifferenziertere Analyse notwendig, um die Schüler\*innen entsprechend ihres individuellen, inhaltlich spezifischen Vorwissens in leistungshomogene Partnergruppen einzuteilen. Diese Varianten sind allerdings von der Handhabung wesentlich anspruchsvoller, sodass zugunsten einer reibungsloseren Umsetzung das Lerntempo als Indikator für etwa ähnliche kognitive Leistungsstände unter Akzeptanz der damit einhergehenden Unschärfe verwendet wurde.

Im Verlauf der Haupteinheit hat es sich außerdem als sehr effektiv erwiesen, die Vorlagen für die beiden Experimente auf die Rückseite der jeweils anderen Vorlage zu drucken. Durch diese Tatsache waren die Schüler\*innen gezwungen die Teilchendarstellung beim Übergang von Experiment 1 zu Experiment 2 neu anzuordnen, auch wenn sie der Meinung waren, dass es genauso aussehen müsse. Dadurch wurde eine erneute Auseinandersetzung mit der Teilchendarstellung provoziert. Ungünstig gestaltete sich allerdings die Tatsache, dass die Lernenden ausgehend vom Arbeitsauftrag in der interaktiven Präsentation häufig die bereitgestellten Materialien nicht identifizieren konnten. Dies lag an der ungünstigen Umsetzung, nach der die ausgeschnittenen Papierkreise in einem unbeschrifteten Umschlag zusammen mit der laminierten Vorlage und allen Experimentiermaterialien in einer Box bereitgestellt wurden. Zukünftig sollten die Materialien präziser in der Aufgabenstellung beschrieben und deutlicher von den Experimentiermaterialien abgegrenzt werden. Zuletzt ergab sich noch das Problem, dass viele Schüler\*innen zwar orange und blaue Kreise auf der Vorlage mit der „chemischen Lupe“ verschoben, jedoch fand nur selten eine intensive Auseinandersetzung mit der Zweifarbigkeit statt. Die Schüler\*innen verwendeten die Farben häufig ausschließlich deshalb, weil sie ja so von der Testleitung vorbereitet wurden, sodass im Zusammenhang mit der Teilchendarstellung der Bezug zu den chemischen Elementen Kohlenstoff und Sauerstoff nicht hergestellt wurde. An dieser Stelle wäre es sinnvoll, das Anfertigen einer Legende zu fordern, die z.B. bereits auf der Vorlage mit der „chemischen Lupe“ zum Ausfüllen vorgedruckt sein könnte. An dieser Stelle bietet es sich darüber hinaus als Differenzierungsmaßnahme an, einigen Schüler\*innen bereits die vollständige Legende vorzugeben, um davon die Modelldarstellung für die durchgeführte chemische Reaktion abzuleiten.

Zuletzt hat sich das im Vergleich zu Teil II überarbeitete Experiment 2 in diesem Teil als deutlich robuster gegen Durchführungs- und Messfehler durch die Schüler\*innen gezeigt. Dadurch konnte häufiger die intendierte Beobachtung einer Massengleichheit von den Lernenden selbst erlebt werden, da nur in Einzelfällen die Experimente nicht das gewünschte Ergebnis zeigten. Das Experiment scheint demnach gut für den Einsatz im Zusammenhang mit der Herleitung des „Gesetzes der Erhaltung der Masse“ geeignet zu sein. Optimierungsbedarf besteht allerdings im Zusammenhang mit der Konstruktion, die während der chemischen Reaktion einen kontinuierlichen Verbleib des Systems auf der Waage ermöglichte. Dabei wurde in der jetzigen Durchführung das Reagenzglas an einer Reagenzglasklammer befestigt und in ein Becherglas gestellt. Insofern handelt es sich um einen „Missbrauch“ des Becherglases zu einem Zweck, für die dieses Laborgerät nicht bestimmt ist. Dies widerspricht dem „Gesetz der objektiven Einstellung“, welches in chemischen Kontexten davon ausgeht, dass Laborgeräte stets einem speziellen Zweck gerecht werden und ausschließlich entsprechend dieses Zwecks auch verwendet werden (Bader & Schmidkunz, 2002), um Schüler\*innen die Verknüpfung eines Geräts mit seiner charakteristischen Funktion zu ermöglichen. Entsprechend wäre es für dieses Experiment sinnvoller, ein Stativ für das Reagenzglas zu verwenden oder ggf. anzufertigen, welches auf der Waage verbleiben kann (nicht zu schwer!) und das Reagenzglas in der vorgegebenen Position arretiert, sodass kein Laborgerät zweckentfremdet werden muss.

### Methodische Limitationen

Folgend werden die Limitationen der Erhebung in Teil III thematisiert. Dazu zählt zunächst der Stichprobenumfang. Insgesamt nahmen nur 303 Schüler\*innen (270 gültige Datensätze) an der Evaluation teil. Um in einem 2x2-Design signifikante Ergebnisse mit einer guten Effektstärke generieren zu können, hätte die Stichprobe deutlich größer sein müssen (mind. 460 Personen für 4-faktorielles Design mit Messwiederholung, berechnet mit g-power 3.1). Dies zeigt sich vor allem bei Beantwortung von Forschungsfrage 1. In diesem Zusammenhang müsste eigentlich zur Beantwortung der Hypothesen eine 4-faktorielle (M)ANCOVA herangezogen werden, da sich Unterschiede zwischen den Gruppen im Vortest bezüglich des Geschlechts und der Schulform gezeigt haben, sodass das Geschlecht und die Schulform als weitere unabhängige Variablen hätten in die Analysen mit einbezogen werden müssen. Die beiden anderen unabhängigen Variablen ergeben sich aus dem 2x2-Design (Art der Differenzierung, 2-gestuft und Art der Digitalisierung, 2-gestuft). Aufgrund des zu geringen Stichprobenumfangs (pro Zelle) für derart differenzierte Analysen wurde alternativ eine zweifaktorielle (M)ANCOVA mit Messwiederholung durchgeführt, die allerdings den Gruppenunterschieden im Vortest nicht in ausreichendem Maße gerecht wird. Darüber hinaus lassen sich verschiedene Aspekte der Methodik kritisieren. Dabei handelt es sich vor allem um Kritik am quasi-experimentellen Vorgehen als solches: Zum Ableiten allgemeiner Schlussfolgerungen aus einer Erhebung müssen ungewollte Einflüsse minimiert werden. Dazu müssen sog. Störvariablen kontrolliert oder bestenfalls eliminiert werden (Bröder, 2011). In diesem Zusammenhang bieten sich mehrere Möglichkeiten an. Eine Möglichkeit ist die Randomisierung. Dabei werden Personen zufällig einer

Experimentalbedingung zugeordnet. Im hier angewendeten 2x2-Design müssten damit die Schüler\*innen zufällig und unabhängig vom Klassenverband einer der vier Experimentalgruppen zugeordnet werden. Da nur ein Raum und nur eine begrenzte Anzahl an Testleiter\*innen zur Verfügung standen, erwies sich diese Möglichkeit als nicht praktikabel. Daher bietet sich nur die zweite Möglichkeit zum Umgang mit Störvariablen an: Konstanthaltung. Dabei soll der Wert unterschiedlicher Störvariablen für alle Experimentalgruppen möglichst gleich gehalten werden. In gewissem Maße war das in diesem Teil besser möglich als in Teil II: Die meisten Schüler\*innen führten die Einheit in denselben Räumlichkeiten durch und die Testleitung war identisch für alle Durchführungen. Darüber hinaus waren die Instruktionen an den STOP-Stellen standardisiert, sodass stets der Wortlaut für alle Schüler\*innen derselben Experimentalgruppe identisch war. Ferner gab es allerdings auch Aspekte, die sich nicht für alle Gruppen konstant halten ließen. Dazu zählt zum Beispiel die Tageszeit der Durchführung. Je nach Passung zum individuellen Stundenplan der Schulklassen und nach Anbindung der Schule an den öffentlichen Personennahverkehr fand eine Durchführung entweder vormittags ca. von 9-12 Uhr oder nachmittags ca. von 13-16 Uhr statt. Ebenso fanden teilweise Durchführungen mit Gruppengrößen statt, die die Kapazitäten eines Raums überstiegen. Daher musste je nach Größe der Gruppe eine Parallelbelegung in mehreren Räumen stattfinden. Dies ging zweifellos mit Unterschieden in einigen Störvariablen einher: Beispielsweise arbeiteten die Schüler\*innen teilweise nicht in Laborräumen sondern in Seminarräumen.

Ferner kann in Bezug auf die Erhebungsinstrumente Kritik ausgeübt werden. Es hat sich gezeigt, dass im Bereich des Fachwissens ein Item missverständlich formuliert war und dadurch die Ergebnisse bezüglich des Fachwissens möglicherweise verfälscht hat. Es handelt sich dabei um das Item zur Verbrennung von Schwefel, welches in der folgenden Abbildung 55 in der Originalform nach Petermann et al. (2008) abgebildet wird.

In einem mit Sauerstoff gefüllten Rundkolben befindet sich auf einem Verbrennungslöffel Schwefel. Die gesamte verschlossene Appatur wird gewogen. Anschließend wird der Schwefel durch eine Heizwendel entzündet. Der Schwefel verbrennt mit leuchtend blauer Flamme zu gasförmigem Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ). Nach der Reaktion wird der Kolben erneut gewogen. Welches Ergebnis erwartest Du?

Kreuze bitte an:

Die Masse nimmt zu

Die Masse bleibt gleich

Die Masse nimmt ab

Begründe bitte Deine Antwort:

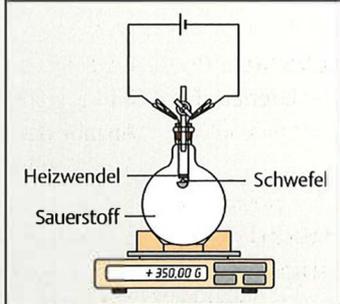


Abbildung 55: Kombination aus einem Item mit geschlossenem und einem Items mit offenem Format zur Verbrennung von Schwefel (Petermann et al., 2008, S. 15)

Um die fachlich korrekte Lösung zu identifizieren, müssen die Befragten erkennen, ob es sich bei dem dargestellten Versuchsaufbau um ein offenes oder geschlossenes System handelt. Im Text wird zwar deutlich von einer „verschlossene[n] Appar[a]tur“ gesprochen, die Abbildung zum Experiment lässt allerdings einige Interpretationsspielräume. In der Abbildung ist dargestellt, dass die Heizwendel innerhalb des geschlossenen Rundkolbens zur Aktivierung der chemischen Reaktion durch eine Spannungsquelle betrieben wird. Dies soll in der Abbildung durch einen symbolischen Stromkreis verdeutlicht werden. Diese Tatsache ist unter zwei Gesichtspunkten problematisch: Zum einen werden dabei zwei der drei Repräsentationsebenen der Chemie (makroskopische und symbolische, Johnstone, 1993) miteinander vermischt, wovon zur Maximierung des Lernerfolgs grundsätzlich abgeraten wird (Abels et al., 2018). Zum anderen wird eine Spannungsquelle im symbolischen Stromkreis durch zwei unterschiedlich lange Querstriche an beiden Enden des Stromkreises dargestellt. Dadurch bleibt stets ein kleiner Spalt zwischen den beiden Querstrichen. Diese Tatsache zusammen mit der ohnehin problematischen Vermischung der Repräsentationsebenen führte wohl bei einigen Schüler\*innen zu der Annahme, dass dieser Spalt an der Spannungsquelle im symbolisch dargestellten Stromkreis eine Öffnung der Versuchsanordnung darstelle. Dies äußerte sich schließlich darin, dass die Lernenden die Einschätzung der Massen auf Grundlage eines offenen Systems trafen und in der Begründung angaben, dass es sich ja um ein offenes System handele. Interessanterweise unterlief diese Fehleinschätzung in der Prä-Befragung nur einer Person, während in der Post-Befragung insgesamt 25 Schüler\*innen die Abbildung fehlinterpretierten und den Text weniger aufmerksam lasen. Diese Tatsache kann ein Indiz dafür sein, dass die Schüler\*innen im Prä-Test noch aufmerksam alle Itemstämme lasen und im Post-Test die Entscheidungen vor allem auf Grundlage der optischen Eindrücke trafen, ohne die Itemstämme intensiv zu lesen.

## Bedeutung der Ergebnisse im breiteren Kontext und Ableiten von weiterführenden Forschungsfragen

Mit den Ergebnissen aus Teil III zeigt sich, dass die Veränderungen in der Modellbildungskompetenz und Subdimensionen durch den Einsatz von digitalen Modelldarstellungen und Differenzierungsansätzen beeinflusst werden können. Daraus kann gefolgert werden, dass keine Experimentalgruppe im 2x2-Design grundsätzlich ungeeignet zur Förderung der Modellbildungskompetenz scheint, dennoch gibt es weiteres Überarbeitungspotenzial. Um dieses abzuleiten, sollen Fragestellungen erläutert werden, die sich an die Ergebnisse von Teil III anschließen könnten.

In der Diskussion der Ergebnisse hat sich gezeigt, dass sich die Experimentalgruppen nur in einem kleinen Bruchteil der Intervention unterscheiden und der Großteil der Intervention zwischen allen Experimentalgruppen identisch ist. Daraus leitet sich unmittelbar die Frage ab, ob sich Effekte zeigen würden, wenn sich die Interventionen stärker voneinander unterscheiden würden. Es lässt sich demzufolge das Überarbeitungspotenzial ableiten, die Ausprägungen der beiden Trainingsbedingungen trennschärfer voneinander abzugrenzen und die differenten Anteile zu erhöhen, ohne die Vergleichbarkeit beider Interventionen zu minimieren.

Des Weiteren wurde in der Diskussion der Ergebnisse abgeleitet, dass vor allem engagierte Schüler\*innen mit einer großen kognitiven Aktivierung die Unterschiede in den Arten der Differenzierung am deutlichsten wahrgenommen haben. Daran schließt sich die Fragestellung an, ob sich beim Aufteilen der gültigen Stichprobe nach der kognitiven Involviertheit für die engagierten Schüler\*innen signifikante Effekte ableiten lassen. Die kognitive Involviertheit der Schüler\*innen könnte beispielsweise aus den bearbeiteten Präsentationen unter Anlegen eines Kriterienrasters (z.B. Qualität und Quantität der geschriebenen Texte, Länge der integrierten Videos, ...) abgeleitet werden. Im Zusammenhang mit einer genaueren Analyse der Präsentationen könnte auch ein mixed-Method-Ansatz (Hagenauer & Gläser-Zikuda, 2022) genaueren Aufschluss über vorliegende Zusammenhänge oder signifikante Unterschiede liefern. In diesem Fall könnten beispielsweise zunächst die integrierten Videos/Fotos der Modelle gesichtet werden, um herauszufinden, wie hoch der Anteil an Schüler\*innen ist, die tatsächlich ihr Modell zu Experiment 1 überarbeiteten und welche Beweggründe sie für oder gegen eine Überarbeitung angaben. Mögliche Gründe dafür haben sich in während der Erhebung gezeigt: Vielen Schüler\*innen fehlte nach ca. 2,5 h Bearbeitungszeit die Motivation zur Überarbeitung oder sie waren weiterhin der Meinung, ihr Modell zu Experiment 1 sei korrekt, sodass sie Einsicht in den Zweck dieser Überarbeitung sahen. In diesem Fall könnten die Schüler\*innen einen Rückbezug zur Realität ausgehend vom entwickelten Modell herstellen. So könnten beispielsweise Teilchen, die entsprechend der Modelldarstellung während des Experiments verschwinden, auf die Realität (Experiment 2) übertragen werden, was eine Massenverringerung im Experiment zur Folge hätte. Dies hat sich allerdings in Experiment 2 nicht gezeigt, damit stehen Modelldarstellung und Beobachtung aus dem Experiment bei genauer Betrachtung im Konflikt. Der hier angedeutete Konflikt durch den Abgleich zwischen der abgeleiteten Realität und der

beobachteten Realität könnte die Lernenden den Sinn einer Überarbeitung deutlicher erkennen lassen. Dieser Abgleich muss jedoch entweder durch die Lehrkraft oder durch ergänzende Arbeitsaufträge angeleitet werden. Ferner könnte durch eine ausdifferenziertere Reflexion von Seiten der Schüler\*innen weitere, unerwartete Gründe für oder wider eine Überarbeitung des Modells aufgedeckt werden. Diese Gründe könnten schließlich bei der Überarbeitung der Intervention integriert werden. Durch weiterreichende Erhebungen könnte außerdem erfasst werden, inwiefern die Schüler\*innen den Modellierungsprozess reflektiert durchlaufen (z.B. die Übergänge zwischen den Ebenen durch die unterschiedliche Farbgebung aktiv wahrnehmen) oder ob sie nur stupide die Aufgaben in der vorgegebenen Reihenfolge bearbeiten, ohne auf einer Meta-Ebene den gesamten Prozess zu betrachten. Durch diese zusätzlichen Informationen könnte auch begründet werden, wieso sich Unterschiede in den Entwicklungen der Subdimensionen (*Zweck, Testen und Ändern von Modellen*) gezeigt haben, die grundsätzlich alle nach dem Vorbild von Fleige et al. (2016) im Modellierungsprozess aus Teil I integriert sind.

Zuletzt soll noch eine sehr allgemeine Fragestellung thematisiert werden, die bereits in der Expertenbefragung aus Teil I angerissen wurde: Sollte eine Förderung der Modellbildungskompetenz zusammen mit dem Fachwissen oder unabhängig davon gefördert werden? Im Verlauf dieses Forschungsprojekts führten mehrere Gründe zur Entscheidung, beide Förderungen miteinander zu verbinden. Da sich für das Fachwissen allerdings grundsätzlich nur geringe Effekte gezeigt haben, liegt die Überlegung nahe, den Fachwissenserwerb aus der Intervention auszuschließen und dafür den Fokus noch deutlicher auf die Modellbildungskompetenz zu setzen. Ansätze für fachwissensunabhängige Förderungen gibt es bereits einige: Mikelskis-Seifert und Leisner (2003) beispielsweise haben eine Stationenarbeit für eine Projektwoche zum „Denken in Modellen“ ausgearbeitet, die keine neuen Fachinhalte thematisiert, sondern ausschließlich bekannte Sachverhalte durch Modelle darstellen, um davon ausgehend Modelle im Allgemeinen zu thematisieren. Mit einem etwas fokussierteren fachlichen Bezug setzt Schäfer (2021) ein gegenständliches Teilchenmodell in der Sekundarstufe I ein, um daran das Wissen über submikroskopische Strukturen auszubauen. Dabei wird allerdings auch wieder kein neuer Fachinhalt erarbeitet. Sumfleth und Nakoinz (2019) zeigen in ihren Analysen sogar, dass Wissen über die submikroskopische Repräsentationsebene bei den Schüler\*innen als Grundlage vorhanden sein muss, um fachliche Kenntnisse zu erwerben. In diesem Zusammenhang können sich Vergleiche zwischen Interventionen mit einem intendierten und ohne Fachwissenszuwachs anschließen.

Ausgehend von diesen weiterführenden Ideen wird deutlich, dass dieser Forschungsbereich noch nicht vollständig beleuchtet ist. Im folgenden Kapitel wird das gesamte Forschungsvorhaben diskutiert.

## 4 Allgemeine Diskussion

In den Naturwissenschaften spielen Modelle zur Hypothesenbildung, -testung und -überarbeitung (Treagust et al., 2002) eine wichtige Rolle. Im Rahmen der COVID-19-Pandemie wurde diese Funktion von Modellen der gesamten Bevölkerung deutlich, da zu dieser Zeit das tägliche Leben auf Grundlage von modellierten Prognosen bestimmt wurde. Im Zusammenhang mit Modellen in den Naturwissenschaften unterschätzen Schüler\*innen allerdings häufig den Bedeutungsumfang (Barke et al., 2018).

Diese Forschungsarbeit setzt an diesem Missstand an. Existierende Fördermaßnahmen adressieren allerdings entweder andere naturwissenschaftliche Fächer (Mathematik: Leiss & Tropper, 2014), Biologie: (Meisert, 2009), Physik: (Mikelskis-Seifert, 2010) oder eine fortgeschrittene Lerngruppe in der Chemie (Einführungsphase gymnasiale Oberstufe: Caspari et al., 2018). Daher wendet sich der in dieser Arbeit entwickelte Ansatz an Schüler\*innen des Anfangsunterrichts in Chemie. Das Forschungsvorhaben gliedert sich in drei Teile.

- (1) Im ersten Teil wird deutlich, dass allen bestehenden Fördermaßnahmen gemein ist, dass sie auf Modellierungsprozessen beruhen. Diese Prozesse unterscheiden sich je nach Einsatzgebiet teilweise stark, um den individuellen Charakteristika der Fächer gerecht zu werden. Demzufolge muss für eine Fördermaßnahme in der Chemie ein Modellierungsprozess existieren, der den besonderen Eigenheiten der Naturwissenschaft Chemie gerecht wird. Ein solcher Prozess wird in Teil I entwickelt.
- (2) In Teil II wird aufbauend auf dem entwickelten Modellierungsprozess eine Fördereinheit konzipiert und auf ihre Eignung zur Förderung der Modellbildungskompetenz und des Fachwissens hin untersucht.
- (3) Im dritten und letzten Teil des Forschungsvorhabens werden Differenzierungs- und Digitalisierungsansätze angewendet, um die Fördermaßnahme zu optimieren.

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der drei Teile zusammengefasst.

### 4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

#### *Teil I: Ein Modellierungsprozess für die Chemie*

Das oberste Ziel des ersten Teils war es, einen Modellierungsprozess für die Chemie zu entwickeln und eine Passung der Kompetenzdefinition der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010) zu evaluieren. Umgesetzt wurde die Entwicklung und Evaluation auf Basis einer Expertenbefragung. Zunächst wurde das Vorwissen der Expert\*innen zur Modellkompetenz und zu Modellierungsprozessen durch die Verankerung dieser Konzepte in der Ausbildung und aktuellen Tätigkeit (fachdidaktische Forschung für forschungsorientierte Perspektive und Chemieunterricht für praxisorientierte Perspektive) evaluiert. In diesem

Zusammenhang zeigte sich, dass die Expert\*innen zurecht als solche bezeichnet werden können, da 100 % der Befragten alle Konzepte bereits in der Ausbildung kennengelernt haben. Innerhalb der aktuellen Tätigkeit sind die Konzepte unter den praxisorientierten Befragten stärker vertreten (Einsatz von Modellen im Chemieunterricht: Zustimmung 81 bis 95.2 %) als unter den forschungsorientierten Befragten (Modelle in der Forschung: Zustimmung 16.1 bis 37.5 %). Auf dieser Basis beurteilten die Expert\*innen die Passung der Subdimensionen der Modellkompetenz nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) als passend für die Chemie (alle Aspekte als passend eingeschätzt von 68.2 % insgesamt, Rest: alle Subdimensionen werden zu nahezu gleichen Anteilen kritisiert). Um das übergeordnete Ziel, einen Modellierungsprozess für die Chemie zu entwickeln, zu erreichen, wurden den Befragten zwei unterschiedliche Prozesse vorgestellt, die aus der Fülle an Modellierungsprozessen ausgewählt wurden. Dabei wurde zunächst der Modellierungsprozess nach Fleige et al. (2016), welcher vornehmlich in biologischen Kontexten eingesetzt wird, als gut passend ( $M= 3.27$ ,  $SD= 1.10$ , Skala: 1 bis 4) für die Chemie eingeschätzt. Der mathematische Modellierungsprozess nach Schupp (1988) wurde kritischer beurteilt ( $M= 2.46$ ,  $SD= 1.09$ , Skala: 1 bis 4), dennoch erkannten die Befragten Parallelen zur Unterscheidung der Repräsentationsebenen nach Johnstone (1993). Davon ausgehend fand eine Fusion der beiden Prozesse statt, die den besonderen Charakteristika der Chemie gerecht wird. Der resultierende Prozess ist in der folgenden Abbildung 56 dargestellt.

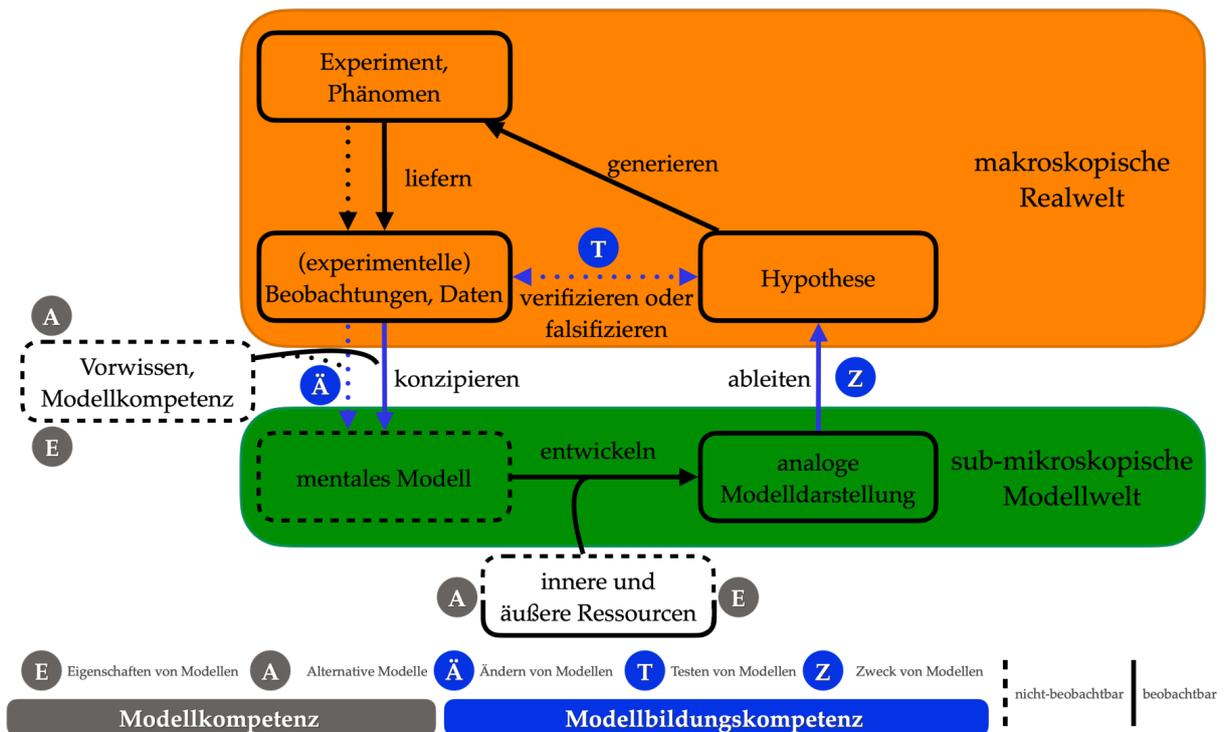


Abbildung 56: in Teil I entwickelter Modellierungsprozess für die Chemie

## *Teil II: Einsatz eines Reflexionsschemas orientiert am Modellierungsprozess für die Chemie zur Förderung der Modellbildungskompetenz im Anfangsunterricht*

Im zweiten Teil wurde ein Unterrichtsverlauf für die Klassenstufe 8 entlang des Modellierungsprozesses aus Teil I entwickelt. Dabei kamen Gestaltungsprinzipien des Chemieunterrichts (Edel & Popp, 2008; Fendt, 2019; Hoffman & Spatariu, 2008; Obst & Sommer, 2002) zur Anwendung. Auf dieser Grundlage wird eine Lerneinheit entwickelt, die sich aus einer vorbereitenden und einer Haupteinheit zusammensetzt und über vier Unterrichtsstunden erstreckt. Innerhalb der vorbereitenden Einheit (Stunden 1 und 2) wird das Vorwissen zur Modellkompetenz (*Eigenschaften von Modellen* und *Alternative Modelle*) gesichert und der Modellierungsprozess anhand eines Ü-Ei-Beispiels ein erstes Mal durchlaufen. Zu Beginn der Stunde 3 starten die Lernenden in die Haupteinheit und leiten mit Hilfe zweier Experimente zur Verbrennung von Streichhölzern und zugehörigen modellhaften Darstellungen das „Gesetz der Erhaltung der Masse“ her. Der Ablauf der Haupteinheit bildet erneut einen Modellierungsprozess entsprechend Teil I ab. Im Verlauf der Einheit erhalten die Schüler\*innen der Experimentalgruppe Reflexionsaufgaben und visuelle Reflexionsanlässe bezüglich des Wechsels zwischen der Modell- und Realebene, während die Kontrollgruppe die Aufgaben ohne Reflexion bearbeitet. In diesem Zusammenhang zeigte jeweils eine (M)ANOVA mit Messwiederholung (prä-interpost), dass es weder signifikante Interaktionseffekte zwischen der Zeit und der Gruppe für die Modellbildungskompetenz noch für das Fachwissen gab. Für beide abhängige Variablen konnte allerdings gemittelt über die beiden Gruppen ein Haupteffekt der Zeit gezeigt werden. Genauer gesagt lagen die Werte der beiden abhängigen Variablen zu T=2 statistisch signifikant höher als zu T=1. Ausgehend von diesen Ergebnissen konnte gefolgert werden, dass die Einheit in Orientierung des Modellierungsprozesses zwar wirksam ist zur Förderung der abhängigen Variablen. Dennoch konnten einige Optimierungsansätze aufgezeigt werden: Der Zeitraum für Reflexionen wird vergrößert, indem der zeitliche Umfang der vorbereitenden Einheit gestrafft wird. Darüber hinaus wurde eine stärkere individuelle Relevanz hergestellt, sodass Schülervorstellungen deutlicher zum Vorschein kommen. Die Veränderung in den abhängigen Variablen Fachwissen und MBK lässt sich durch keine der motivationalen, kognitiven oder kompetenzbezogenen Prädiktorvariablen vorhersagen. Da sich in der Literatur allerdings sehr wohl Zusammenhänge gezeigt haben (vgl. Kapitel 3.2.1 “Orientierung an der Wissenschaft Chemie: Kompetenzaufbau“), wird diese Fragestellung auch in Teil III erneut aufgegriffen.

## *Teil III: Digitalisierungs- und Differenzierungsansätze als Anreicherung der Fördereinheit der Modellbildungskompetenz*

Mit der Integration von Differenzierungs- und Digitalisierungsansätzen befasste sich Teil III. Hier wurden zunächst die Potenziale beider Ansätze vorgestellt und schließlich auf die Einheit aus Teil II angewendet. Damit baut auch dieser Teil erneut auf dem Modellierungsprozess aus Teil I auf. Im Zusammenhang mit der Differenzierung haben sich gestufte Lernhilfen (Franke-Braun et al., 2008) als Form des harten Scaffolding (Wood et al., 1976) als passend für die Intervention herausgestellt. Die Schüler\*innen erhalten demnach an Schlüsselstellen (z.B. der

Entwicklung eines mentalen Modells) Hilfestellungen, die entweder das Fachwissen oder die Modellbildungskompetenz adressieren. Daraus resultiert ein zweigestufter Faktor für das Forschungsdesign. Ein weiterer, ebenfalls zweigestufter Faktor stellt die Art der Digitalisierung dar. Dabei stellen die Lernenden ihr Modell entweder als Fotos oder in einem Video dar. Der unterschiedliche Grad der Dynamik soll hierbei betrachtet werden. Die gesamte Einheit wird durch eine interaktive Präsentation begleitet, die neben der Strukturierung der Lerneinheit auch die Differenzierungsangebote integriert. Die Wirksamkeiten dieser unterschiedlichen Umsetzungen wurden in einem 2x2-Design mit Messwiederholung umgesetzt. In der 2-faktoriellen MANCOVA mit Messwiederholung zeigten sich keine dreifach Interaktionseffekte bezüglich der Modellbildungskompetenz und ihren Subdimensionen. Es konnte allerdings in univariaten Tests gezeigt werden, dass die Veränderung der Modellbildungskompetenz sowie die Veränderung im *Testen von Modellen* sich statistisch signifikant in Bezug auf die Art der Differenzierung unterscheiden. Daraus kann gefolgert werden, dass die Art der Differenzierung im Zusammenhang mit der Modellbildungskompetenz und ihren Subdimensionen beachtet werden muss, die Art der Digitalisierung konnte nicht als Einflussgröße belegt werden. Im Zusammenhang mit dem Fachwissen als zweite abhängige Variable zeigte sich in der 2-faktoriellen ANOVA mit Messwiederholung ebenso kein dreifacher Interaktionseffekt. Entgegen der Hypothesen konnten auch keine signifikanten Interaktionseffekte zwischen der Art der Differenzierung bzw. der Art der Digitalisierung und der Zeit bezüglich des Fachwissens gezeigt werden. Allerdings zeigte sich ein signifikant positiver Haupteffekt der Zeit. Ausgehend von diesem Ergebnis erwies sich die Intervention in allen Varianten als effektiv zur Förderung des Fachwissens. In diesem dritten Teil kann die Veränderung in den abhängigen Variablen MBK und den zugehörigen Subdimensionen durch einige Prädiktorvariablen vorhergesagt werden, für die Veränderung des Fachwissens ist dies nicht möglich. Bezüglich der Vorhersage bei der MBK und Subdimensionen zeigen sich vor allem die entsprechenden Kompetenzen zu Beginn der Intervention als statistisch signifikante Prädiktoren. Ebenso erweist sich die Gesamtskala MBK im Vortest als signifikanter Prädiktor für die Veränderung in allen Subdimensionen.

## 4.2 Limitationen und Implikationen

Die Limitationen der einzelnen Teile wurden bereits in den jeweiligen Abschnitten aufgezeigt. An dieser Stelle werden die wichtigsten Limitationen zusammengefasst. Die größte Limitation besteht für alle drei Teile wohl in der Stichprobengröße. Diese resultierte entweder aus einer beschränkten Reichweite (Teil I) oder einem großen Drop-out während der Intervention (Teil II und III). Aus diesem Grund wird die Aussagekraft der Erhebungen eingeschränkt (Hackshaw, 2008). Im Übergang von Teil II und Teil III wurde versucht, den Drop-out möglichst gering zu halten, indem die gesamte Intervention zu einem Zeitpunkt an einem Ort stattfand. Auch dies löste die Problematik nur geringfügig, da in diesem Setting einige Schüler\*innen aufgrund ihres Lerntempos die Intervention in der vorgegebenen Zeit nicht vollendeten. Ein weiterer limitierender Faktor ist das quasi-experimentelle Design (Teil II und III). Der Durchführbarkeit

geschuldet nahmen stets Klassenverbände an Erhebungstagen teil. Infolge der schulischen Rahmenbedingungen (Teil II) bzw. der begrenzten Raum- und Betreuer\*innensituation (Teil III) konnten die Lernenden nicht randomisiert einer Gruppe zugeordnet werden. Dadurch können Effekte auftreten, die die Ergebnisse ausgehend von unterschiedlichen Eingangsvariablen beeinflussen. Durch die Prä-Erhebung konnten bereits signifikante Unterschiede in den Eingangsvariablen zwischen den Gruppen erfasst werden und damit die Problematik minimiert werden (Gribbons & Herman, 1996). Ein weiterer zentraler Kritikpunkt am Vorgehen der Teile II und III stellt die Tatsache dar, dass sich bei den Schüler\*innen das mentale Modell von der analogen Modelldarstellung deutlich unterscheiden kann (Nitz & Fechner, 2018). Daher kann nicht zwangsläufig davon ausgegangen werden, dass die mentalen Vorstellungen der Schüler\*innen gemessen wurden, sondern ausschließlich ihre analoge Repräsentation. Aus diesem Gedanken heraus muss die Validität bezüglich der Modellbildungskompetenz partiell eingeschränkt werden. Vor allem in den Teilen II und III liegen durch die Modelldarstellungen der Schüler\*innen als Fotos oder Videos, die (noch) nicht ausgewertet wurden, ungenutzte Informationen vor, die im Rahmen eines mixed Method-Ansatzes weiterführend ausgewertet werden könnten.

Neben den Limitationen werden nun auch die Implikationen für Theorie und Praxis vorgestellt. Der übergeordnete Forschungsaspekt dieses Vorhabens ist die Anwendung eines Modellierungsprozesses zur Förderung der Modellbildungskompetenz im Anfangsunterricht der Chemie unter Integration von Differenzierungs- und Digitalisierungsansätzen. Dieser Forschungsansatz hat in Teil I die Entwicklung eines Modellierungsprozesses für die Chemie vorausgesetzt. Dieser bildet die Grundlage für Fördermaßnahmen innerhalb dieses Forschungsvorhabens (Teil II und III), kann allerdings durch die Berücksichtigung allgemeiner Prinzipien der Chemie auf diverse chemische Kontexte angewendet werden. Für den Kontext des „Gesetztes der Erhaltung der Masse“ haben die Ergebnisse aus Teil II und III bereits gezeigt, dass eine Orientierung an diesem Modellierungsprozess sinnvoll für die Förderung der Modellbildungskompetenz ist. Welche Art der Differenzierung bzw. Art der Digitalisierung sich zur Förderung der Modellbildungskompetenz am besten eignet, konnte in Teil III nicht abschließend geklärt werden. Die Analysen legen die Vermutung nahe, dass für die Entwicklung der Modellbildungskompetenz die Art der Differenzierung von Bedeutung ist. An dieser Stelle schließen sich weitere Forschungsfragen an, die im folgenden Abschnitt genauer vorgestellt werden.

### **4.3 Ausblick**

Auf Grundlage der allgemeinen Diskussion lassen sich anschließende Forschungsfragen ableiten. Zunächst stellt sich die Frage, wie die Förderung der Modellbildungskompetenz weiter optimiert werden kann. In Teil III wurden exemplarisch die Differenzierung und Digitalisierung für die Optimierung herangezogen. Im Zusammenhang mit diesen beiden Aspekten ergeben sich anschließende Forschungsfragen: Zunächst stellt sich die Frage nach der Passung zwischen dem fokussierten Lernziel und der Umsetzung der Digitalisierung wie auch Differenzierung.

Die Ergebnisse legen nahe, dass bei einem Fokus auf der Modellbildungskompetenz die Art der Differenzierung näher beleuchtet werden sollte. In diesem Sinne könnten die Unterschiede zwischen den Trainingsbedingungen stärker ausgearbeitet werden. Bezüglich der Art der Differenzierung lassen sich zwei weitere anschlussfähige Forschungsfragen formulieren: Zum einen stellt sich die Frage nach der Umsetzung gestufter Lernhilfen. In diesem Forschungsvorhaben wurde auf gestufte Hilfestellungen verzichtet und jeweils nur eine Hilfestellung angeboten, um den extraneous cognitive load (Sweller, 1994) gering zu halten. Möglicherweise benötigen die Lernenden allerdings mehr und kleinschrittigere Hilfestellungen, sodass gestufte Hilfen sich als wirksam erweisen könnten (z.B. Stäudel, 2011). Aus diesem Ansatz heraus könnten sich anschließende Fragestellungen damit beschäftigen, ob Hilfestellungen bei der Förderung der Modellbildungskompetenz gestuft sein sollten und falls ja, in welchem Maße (wenige Stufen oder eher viele Stufen). Zum anderen wurden innerhalb der Intervention in Teil III Methoden des Scaffoldings angewendet. Das Scaffolding umfasst allerdings nicht nur das stützende Gerüst wie es hier eingesetzt wurde, sondern auch den Abbau der Stützen, wenn diese nicht weiter benötigt werden (Puntambekar & Hubscher, 2005). In dem zeitlichen Umfang, wie er hier für die Interventionen in Teil II und III aufgebracht wurde, kann kein Abbau der Stützstrukturen erfolgen, da sich die Kompetenzen in den meisten Fällen nur wenig weiterentwickelt haben, aber in keinem Fall festigen können. Zur Festigung von Kompetenzen bedarf es Zeit und wiederholtes Üben oder der vermehrten Aktivierung wissensgenerierender Prozesse im Arbeitsgedächtnis (Renkl, 2020). In diesem Zusammenhang könnten langfristige Entwicklungen in der Modellbildungskompetenz durch vermehrte Thematisierung von Modellierungsprozessen im Unterricht oder den mehrfachen Einsatz von speziellen MBK-Trainings durch Follow-up-Tests näher aufgeklärt werden. Der Fokus könnte in diesem Zusammenhang entweder auf der Kompetenzentwicklung im Nachgang einer einmalig durchgeführten Intervention (wie in dieser Forschungsarbeit) oder auf der Entwicklung der Modellbildungskompetenz im Regelunterricht Chemie im schulischen Verlauf liegen. Im Zusammenhang mit der ersten Variante könnten auch mehrere, aufeinander aufbauende Interventionen zur Umsetzung in der Schule realisiert werden, sodass die Lernenden während der Bearbeitung der Folgeaufträge weiterhin das Scaffolding nutzen können, aber kontinuierlich mit der Modellbildungskompetenz in Berührung kommen. Im selben Themenfeld der Klassenstufe 8 könnten sich Modellierungsprozesse beispielsweise zum „Gesetz der konstanten Proportionen“ anbieten, bei dem die Lernenden erneut dieselben Hilfestellungen erhalten wie in der hier entwickelten Intervention. In ähnlichem Maße könnten weitere Modellierungsprozesse im Themenfeld „Wasser“ der Klassenstufe 8 oder im Themenfeld „Elementgruppen im Periodensystem“ umgesetzt werden. Nach einer gewissen Zeitspanne und Übungsphase (auch hier müsste der Umfang genauer beforscht werden) könnten dann weitere Folgeaufträge bearbeitet werden, bei denen die Hilfsstrukturen immer weiter reduziert werden bis sie schließlich nicht mehr zugänglich sind. Dieses „fading“ könnte den Effekt des Kompetenzaufbaus erhöhen (Collins et al., 1989).

Eine weitere Forschungsfrage, die sich anschließt, ist bereits in der Diskussion zu Teil III angeklungen: Im Zusammenhang mit der Anwendung von Modellen im Fachunterricht stellt sich stets die Frage, ob eine Förderung der Modellbildungskompetenz mit einer Förderung des Fachwissens einhergehen soll. In dieser Forschungsarbeit wurde neben der Modellbildungskompetenz auch neues Fachwissen erworben. In einigen anderen Ansätzen (z.B. Mikelskis-Seifert und Leisner) wird die Förderung der MBK stets unabhängig vom Fachwissenserwerb umgesetzt. Es könnte sich also die Frage anschließen, ob der in Teil I entwickelte Modellierungsprozess auch in solchen Fällen zur Förderung der MBK geeignet ist, wenn das adressierte Fachwissen bereits im Voraus von den Schüler\*innen vollständig durchdrungen ist.

Ferner hat sich während der Interventionen ein deutlicher Einfluss des Fach- und Vorwissens der Lernenden zu Beginn auf die Veränderung während der Intervention gezeigt. Daher scheint eine Adaptivität der Lerneinheit an den Lern- und Leistungsstand der Lernenden zu Beginn der Intervention sinnvoll. In diesem Fall könnten digitale Medien dazu genutzt werden, die Prä-Erhebung unmittelbar nach Abschluss derart auszuwerten, dass die Lernenden entsprechend ihrer Fähigkeiten geclustert werden können. Für jeden Leistungscluster könnte die darauf aufbauende Intervention angepasst sein: Dabei bietet es sich beispielsweise an, für Lernende mit einem sehr geringen Vor- und Fachwissen die vorbereitende Einheit um inhaltliche Voraussetzungen zu erweitern. Außerdem könnten im Verlauf der Intervention gestufte Hilfestellungen eingesetzt werden. Für Schüler\*innen im Cluster mit dem höchsten Vor- und Fachwissen könnten weiterführende Aufgaben eingesetzt werden oder bereits innerhalb der letzten Aufgaben das „fading“ (Collins et al., 1989) angebahnt werden.

Ein letzter Punkt, der vor allem die Anwendung in der Praxis in den Blick nimmt, ist die Tatsache, dass Förderanlässe für die modellmethodische Kompetenz (MMK) im Chemieunterricht nur dann von Lehrkräften umgesetzt werden können, wenn diese selbst über ein solides Maß an entsprechender Kompetenz verfügen (Fleige et al., 2012). Eine anschließende Forschungsidee könnte daher die Aus-, Fort- und Weiterbildung von Lehrkräften in den Blick nehmen und neben fertig ausgearbeiteten Materialien auch Veranstaltungen anbieten. Hierbei wäre eine weitere Frage, wie groß der Anteil der Fördermaßnahme sein sollte, der die Kompetenzen der Lehrenden selbst aufbaut, und wie groß auf der anderen Seite der Anteil sein sollte, der den Lehrkräften das Metawissen zur Förderung der Modellbildungskompetenz bei Schüler\*innen vermittelt. Tempel et al. (2018) unterscheiden in diesem Zusammenhang zwischen dem Wissen der Lehrkraft bezüglich der MMK und dem unterrichtlichen Handeln im Zusammenhang mit der MBK. Dabei ist in den Ausführungen der Autor\*innen der Kompetenzanteil für die handlungsorientierte Perspektive sehr viel umfassender als die des eigenen Wissens zur MMK. Diese Tatsache spiegeln auch die Ergebnisse der Expertenbefragung in Teil I wieder: Hier gaben insgesamt weniger als 5 % der Befragten an, dass sie noch nie selbst mit der MMK in Berührung kamen (Wissen über MMK), während schon über 20 % der Befragten angaben, dass sie keine Wege kennen, um die MMK bei Schüler\*innen zu fördern (handlungsorientierte Perspektive). Diesbezüglich lässt schon diese kleine Stichprobe aus Teil I vermuten, dass vor allem

der handlungsorientierte Teil der Kompetenz bei Lehrkräften nicht ausreichend ausgebildet wird. Entsprechend wäre ein nächster Schritt, um die Erkenntnisse dieses Forschungsprojekts in die Praxis zu distribuieren, Aus-, Fort- und Weiterbildungen für Lehrkräfte herauszuarbeiten. Dazu kann beispielsweise eine Veranstaltung für die zweite und dritte Phase der Lehrkräftebildung entwickelt werden, die vertiefende, auffrischende oder initiale Einblicke in die MMK liefert. In einem ersten Teil könnten beispielsweise theoretische Ausführungen zu Modellen und den Kompetenzdimensionen (Lang et al., 2021) einen optimalen Zugang für die Lehrkräfte bilden. Daran könnte sich eine Vorstellung der Lerneinheiten aus diesem Forschungsprojekt (Teil II und III) anschließen, die die Lehrkräfte selbst bearbeiten, um sich ausführlich damit auseinanderzusetzen. Schließlich könnte ein letzter Teil Raum dafür lassen, in Kleingruppen, Ansätze für weitere Förderansätze der MMK herauszuarbeiten. Derart könnten die Lehrkräfte im Rahmen der partizipativen Aktionsforschung (Eilks & Ralle, 2002) auch maßgeblich an der Entwicklung weiterer oder Optimierung bestehender Lerneinheiten zur MMK beteiligt werden.

Zusammenfassend hat das Forschungsprojekt gezeigt, dass ein Modellierungsprozess speziell für die Chemie das Potenzial hat, das Fachwissen und die Modellbildungskompetenz zu fördern. In einer digitalen Umsetzung der Lerneinheit zeigte sich mehr Struktur, außerdem konnten Aspekte der Differenzierung integriert werden. Schließlich könnte sich weitere Forschung anschließen. Zum einen könnten durch die digitale Umsetzung Log-Daten erhoben werden, die Aufschluss über das Vorgehen bei der Bearbeitung sowie die Nutzung von Hilfestellung geben. Auf dieser Basis können Bedienelemente bzw. Hilfestellungen optimiert werden. Ferner kann durch die digitale Umsetzung auch eine flexible Anpassung der Lerneinheit an das Vorwissensniveau umgesetzt werden (Adaptivität). Derart könnte der Lernerfolg weiter verbessert werden.

## Literaturverzeichnis

- Abels, S., Koliander, B., Plotz, T., & Heidinger, C. (2018). Neon ist ein Gas und hat zwei Ringe—Zur Trennung der makroskopischen und submikroskopischen Ebene des Periodensystems. *CHEMKON*, 25(6), 238–242. <https://doi.org/10.1002/ckon.201800063>
- Adamina, M. (2013). Lernen begleiten, begutachten und beurteilen. In P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft: 1. - 9. Schuljahr* (2., korrig. Aufl, S. 181–196). Haupt.
- Anderson, C. W., & Smith, E. L. (1984). Children's Preconceptions and Content-Area Textbooks. In G. G. Duffy, L. R. Roehler, & J. M. Mason (Hrsg.), *Comprehension instruction: Perspectives and suggestions* (S. 187–201). Longman.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1980). *Psychologie des Unterrichts. 1* (2. völlig überarb. Aufl). Beltz.
- Bader, H. J., & Schmidkunz, H. (2002). Organisationsformen: Demonstrationsexperiment und Schülerexperiment. In P. Pfeifer, B. Lutz, & H. J. Bader (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (Neubearb., 3. Aufl., S. 301–315). Oldenbourg Schulbuchverl.
- Barbarossa, M. V., Fuhrmann, J., Meinke, J. H., Krieg, S., Varma, H. V., Castelletti, N., & Lippert, T. (2020). Modeling the spread of COVID-19 in Germany: Early assessment and possible scenarios. *PLOS ONE*, 15(9), e0238559. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238559>
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Springer.
- Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S., & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56492-9>
- Bathe, M., Bartelheimer, M., & Asshoff, R. (2021). *Alltagsvorstellungen zum Platzen von Kirschen im Kontext der Modellkompetenz*.
- Bauer, C. (2014). HOBOS- HOney-Bee-Online-Studies- ein virtuelles Labor. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 221-). Joachim Herz Stiftung Verlag. [https://fachportal.lernnetz.de/files/Inhalte%20der%20Unterrichtsfächer/Physik/Hauptseite%20Physik/Digitale%20Medien/03\\_Dig\\_Medien\\_im\\_natwiss\\_Unterr-1.pdf](https://fachportal.lernnetz.de/files/Inhalte%20der%20Unterrichtsfächer/Physik/Hauptseite%20Physik/Digitale%20Medien/03_Dig_Medien_im_natwiss_Unterr-1.pdf)
- Baumann, M., & Gordalla, C. (2020). *Gruppenarbeit: Methoden, Techniken, Anwendungen* (2., aktualisierte und erweiterte Auflage). UVK Verlag.
- Beck, E., Guldemann, T., & Zutavern, M. (1991). Eigenständig lernende Schülerinnen und Schüler. *Zeitschrift für Pädagogik*, 37(5), 735–768.

- Becker, H.-J., & Hildebrandt, H. (2003). „Unanschauliches veranschaulicht"—Modellexperimente im Chemieunterricht als Chance für Analogiebildungen. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 52(2), 15–19.
- Bergmann, A. (2020). *Mathematisch-naturwissenschaftliches Fachinteresse durch Profilunterricht fördern: Theoriebasierte Evaluation eines Thüringer Schulversuchs in der Sekundarstufe I* [Universität Leipzig]. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:15-qucosa2-715085>
- Berzelius, J. J. (1856). *Lehrbuch der Chemie. Erster Band* (5. Aufl.). Arnoldische Buchhandlung.
- Bielik, T., & Krell, M. (2021). SageModeler: Eine digitale Lernumgebung zur Förderung von Modellierungskompetenz. In M. Kubsch, S. Sorge, J. Arnold, & N. Graulich (Hrsg.), *Lehrkräftebildung neu gedacht. Ein Praxishandbuch für die Lehre in den Naturwissenschaften und deren Didaktiken* (S. 199–207). Waxmann Verlag GmbH. <https://doi.org/10.31244/9783830993490>
- Bindernagel, J. A., & Eilks, I. (2008). Modelle und Modelldenken im Chemieunterricht und ein Einblick in das Verständnis von erfahrenen Chemielehrkräften. *CHEMKON*, 15(4), 181–186. <https://doi.org/10.1002/ckon.200810081>
- Blanz, M. (2015). *Forschungsmethoden und Statistik für die Soziale Arbeit: Grundlagen und Anwendungen* (1. Aufl.). Kohlhammer.
- Bley, C., & Woest, V. (2021). Konstruktion und Rezeption von Lernvideos im Fach Chemie. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, online Jahrestagung 2020*. (Bd. 41, S. 326–329). [https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/2021/07/GDCP\\_Band41\\_050721.pdf](https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/2021/07/GDCP_Band41_050721.pdf)
- Blohm, I., & Leimeister, J. M. (2013). Gamification: Gestaltung IT-basierter Zusatzdienstleistungen zur Motivationsunterstützung und Verhaltensänderung. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK*, 55(4), 275–278. <https://doi.org/10.1007/s11576-013-0368-0>
- Blum, W., & Leiss, D. (2005). Modellieren im Unterricht mit der „Tanken“-Aufgabe. *Mathematik lehren*, 128, 18–21.
- Bogner, A., & Menz, W. (2002). Das theoriegenerierende Experteninterview—Erkenntnisinteresse, Wissensformen, Interaktion. In A. Bogner, B. Littig, & W. Menz (Hrsg.), *Das Experteninterview* (S. 33–70). VS Verlag für Sozialwissenschaften. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-93270-9>
- Bohrmann-Linde, C. (2018). Scaffolding bei der Elektrolyse von Zinkiodid. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 168.

- Bortz, J., & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation: Für Human- und Sozialwissenschaftler ; mit 87 Tabellen* (4., überarb. Aufl., [Nachdr.]). Springer-Medizin-Verl.
- Bradshaw, G. L., & Anderson, J. R. (1982). Elaborative encoding as an explanation of levels of processing. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *21*(2), 165–174.  
[https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(82\)90531-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(82)90531-X)
- Brand, S. (2014). *Erwerb von Modellierungskompetenzen*. Springer Fachmedien Wiesbaden.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-06679-6>
- Bransford, J., National Research Council (U.S.), & National Research Council (U.S.) (Hrsg.). (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school* (Expanded ed). National Academy Press.
- Bröder, A. (2011). *Versuchsplanung und experimentelles Praktikum*. Hogrefe.
- Brünken, R., & Leutner, D. (2000). Neue Medien als Gegenstand empirischer pädagogischer Analyse: Stand der Forschung und Perspektiven. In D. Leutner & R. Brünken (Hrsg.), *Neue Medien in Unterricht, Aus- und Weiterbildung: Aktuelle Ergebnisse empirischer pädagogischer Forschung* (S. 7–16). Waxmann.
- Brünken, R., & Seufert, T. (2006). Aufmerksamkeit, Lernen, Lernstrategien. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 27–36). Hogrefe.
- Buckley, B. C., & Boulter, C. J. (2000). Investigating the Role of Representations and Expressed Models in Building Mental Models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Hrsg.), *Developing Models in Science Education* (S. 119–135). Kluwer Academic Publishers.  
<https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1>
- Bus, A. G., Takacs, Z. K., & Kegel, C. A. T. (2015). Affordances and limitations of electronic storybooks for young children’s emergent literacy. *Developmental Review*, *35*, 79–97.  
<https://doi.org/10.1016/j.dr.2014.12.004>
- Caramazza, A., McCloskey, M., & Green, B. (1981). Naive beliefs in “sophisticated” subjects: Misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, *9*(2), 117–123.
- Caspari, I., Weber-Peukert, G., & Graulich, N. (2018). Der Einsatz von Modellen zum Erkenntnisgewinn—Eine Unterrichtseinheit zur Förderung der Modellkompetenz im Kontext „Batterie“ unter explizitem Einbezug von Schülervorstellungen. *CHEMKON*, *25*(1), 23–34. <https://doi.org/10.1002/ckon.201710313>
- Clement, J. (1989). Learning via Model Construction and Criticism. In E. P. Torrance, J. A. Glover, R. R. Ronning, & C. R. Reynolds (Hrsg.), *Handbook of creativity*. Plenum Press.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd edition). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

- Coll, R. K. (2006). The role of models, mental models and analogies in chemistry teaching. In P. Aubusson, A. G. Harrison, & S. Ritchie (Hrsg.), *Metaphor and analogy in science education* (S. 65–77). Springer.
- Coll, R. K., & Lajium, D. (2011). Modeling and the Future of Science Learning. In M. S. Khine & I. M. Saleh (Hrsg.), *Models and Modeling* (S. 3–21). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-0449-7>
- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In R. Glaser & L. B. Resnick (Hrsg.), *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (S. 453–494). L. Erlbaum Associates.
- Dalton, J. (1808). *A new system of chemical philosophy*. R. Bickerstaff, Strand, London. <https://doi.org/10.5479/sil.324338.39088000885681>
- Demuth, R., Gräsel, C., Parchmann, I., & Ralle, B. (Hrsg.). (2008). *Chemie im Kontext: Von der Innovation zur nachhaltigen Verbreitung eines Unterrichtskonzepts*. Waxmann.
- Denk, C. (2018). *Lernförderliche Methoden für einen Conceptual Change von Schülervorstellungen zum Aufbau der Erde* [Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. rer. nat., Universität Bayreuth]. <https://epub.uni-bayreuth.de/4381/1/EPub%20Dissertation%20Catharina%20Denk.pdf>
- Diaz-Bone, R., & Weischer, C. (Hrsg.). (2015). *Methoden-Lexikon für die Sozialwissenschaften*. Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-18889-8\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-531-18889-8_25)
- Didiş, N., Eryılmaz, A., & Erkoç, Ş. (2014). Investigating students' mental models about the quantization of light, energy, and angular momentum. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 10(2), 020127. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.020127>
- Dochy, F., Segers, M., & Buehl, M. M. (1999). The Relation Between Assessment Practices and Outcomes of Studies: The Case of Research on Prior Knowledge. *Review of Educational Research*, 69(2), 145–186. <https://doi.org/10.3102/00346543069002145>
- Döring, N., & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>
- Duit, R. (2013). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In E. Kircher & W. Schneider, *Physikdidaktik in der Praxis* (S. 1–26). Springer-Verlag.
- Edel, N., & Popp, M. (2008). Offener Unterricht. In G. Bovet & V. Huwendiek (Hrsg.), *Leitfaden Schulpraxis: Pädagogik und Psychologie für den Lehrberuf* (5. Aufl., S. 110–139). Cornelsen Scriptor.

- Eid, M., Gollwitzer, M., & Schmitt, M. (2017). *Statistik und Forschungsmethoden: Mit Online-Materialien* (5., korrigierte Auflage). Beltz.
- Eilks, I., & Marks, R. (2018). Chemielernen für gesellschaftliche Teilhabe und nachhaltige Entwicklung. In Markus Rehm, *Wirksamer Chemieunterricht* (S. 37–47). W. Bertelsmann Verlag.
- Eilks, I., & Moellering, J. (2001). Neue Wege zu einem faecherübergreifenden Verständnis des Teilchenkonzepts. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 54, 240–247.
- Eilks, I., & Ralle, B. (2002). Partizipative Fachdidaktische Aktionsforschung. Ein Modell für eine begründete und praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik. *CHEMKON*, 9(1), 13–18. [https://doi.org/10.1002/1521-3730\(200201\)9:1<13::AID-CKON13>3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/1521-3730(200201)9:1<13::AID-CKON13>3.0.CO;2-5)
- Emden, M., & Koenen, J. (2016). Hilfekarten als Lernimpulse. In J. Koenen, M. Emden, & E. Sumfleth (Hrsg.), *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung*. Waxmann.
- Emden, M., Ropohl, M., & Sommer, K. (2019). Modellieren als Methode der Erkenntnisgewinnung Eine Prozess-Perspektive auf eine naturwissenschaftliche Arbeitsweise. *Unterricht Chemie*, 171, 7–11.
- Engelschalt, P. (2021). *Konstruktion und Validierung einer Rating-Skala zur kontextunabhängigen Erfassung von Modellierkompetenz* [Masterarbeit]. Humboldt-Universität zu Berlin.
- Eschenhagen, D., Kattmann, U., & Rodi, D. (1993). *Fachdidaktik Biologie* (2. Aufl.). Aulis-Verl. Deubner.
- Faulstich, W. (2002). *Einführung in die Medienwissenschaft: Probleme - Methoden - Domänen*. Fink.
- Fendt, T. (2019). *Schülervorstellungen im Zentrum des Unterrichtsgespräches: Ko-konstruktive Lernprozesse im Chemieunterricht*. University of Bamberg Press.
- Feng, X., Wang, J.-L., & Rost, D. H. (2018). Akademische Selbstkonzepte und akademische Selbstwirksamkeiten: Interdependenzen und Beziehungen zu schulischen Leistungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 32(1–2), 23–38. <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000218>
- Fenske, F., Klee, A., & Lutter, A. (2011). Concept-cartoons as a tool to evoke and analyze pupils judgments in social science education. *Journal of social science education*, 10(3), 46–52.
- Fleige, J., Seegers, A., Upmeyer Zu Belzen, A., & Krüger, D. (2012). Förderung der Modellkompetenz im Biologieunterricht. *MNU Journal*, 1(65), 19–28.

- Fleige, J., Seegers, A., Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (Hrsg.). (2016). *Modellkompetenz im Biologieunterricht 7 -10: Phänomene begreifbar machen - in 11 komplett ausgearbeiteten Unterrichtseinheiten* (2. Auflage). Auer.
- Forschungsgruppe Kassel. (2004). Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. *Lernchancen*, 42, 38–42.
- Franke-Braun, G., Schmidt-Weigand, F., Stäudel, L., & Wodzinski, R. (2008). Aufgaben mit gestuften Lernhilfen – ein besonderes Aufgabenformat zur kognitiven Aktivierung der Schülerinnen und Schüler und zur Intensivierung der sachbezogenen Kommunikation. In Kasseler Forschergruppe Empirische Bildungsforschung (Hrsg.), *Lernumgebungen auf dem Prüfstand: Zwischenergebnisse aus den Forschungsprojekten* (S. 27–42). Kassel Univ. Press.
- Fratiwi, N. J., Samsudin, A., Ramalis, T. R., Saregar, A., Diani, R., Irwandani, Rasmitadila, & Ravanis, K. (2020). Developing MeMoRI on Newton's Laws: For Identifying Students' Mental Models. *European Journal of Educational Research*, 9(2).  
<https://doi.org/10.12973/eu-jer.9.2.699>
- Frey, A., Taskinen, P., Schütte, K., Prenzel, M., Artelt, C., Baumert, J., Blum, W., Hammann, M., Klieme, E., & Pekrun, R. (Hrsg.). (2009). *PISA 2006 Skalenhandbuch: Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. Waxmann.
- Friedrich, H. F., & Mandl, H. (1992). Lern- und Denkstrategien- ein Problemaufriß. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien: Analyse und Intervention* (S. 3–54). Hogrefe.
- Gan, B., Menkhoff, T., & Smith, R. (2015). Enhancing students' learning process through interactive digital media: New opportunities for collaborative learning. *Computers in Human Behavior*, 51, 652–663. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.12.048>
- Gast, N., Heller, K., Kormann, A., Peez, H., & Rüdiger, D. (1985). Dimensionen und Bedingungsfaktoren der Schulleistung. *Deutsches Institut für Fernstudien an der Universität Tübingen*. <https://epub.ub.uni-muenchen.de/2409/1/2409.pdf>
- Gebhard, U. (2007). Intuitive Vorstellungen bei Denk- und Lernprozessen: Der Ansatz „Alltagsphantasien“. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (1st ed, S. 117–128). Springer.
- Gehlen, C. (2016). *Kompetenzstruktur naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung im Fach Chemie*. Logos Verlag Berlin GmbH.
- Gibbons, P. (2015). *Scaffolding language, scaffolding learning: Teaching English language learners in the mainstream classroom* (Second edition). Heinemann.
- Gietz, P., Nelle, P., Penz, C., Schierle, W., & Stemberg, M. (2015). *Elemente Chemie. Oberstufe. Gesamtband* (1. Aufl.). Klett.

- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Hrsg.), *Developing Models in Science Education* (S. 3–17). Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1>
- 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 Education* (S. 198–203). Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1>
- Girwidz, R., & Hoyer, C. (2018). Didaktische Aspekte zum Einsatz digitaler Medien- Leitfaden zum Lehren mit Multimedia, veranschaulicht an Beispielen. In J. Meßinger-Koppelt & J. Maxton-Küchenmeister (Hrsg.), *Naturwissenschaften digital: Toolbox für den Unterricht* (1. Auflage). Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Gläser-Zikuda, M., & Hascher, T. (Hrsg.). (2007). *Lernprozesse dokumentieren, reflektieren und beurteilen: Lerntagebuch und Portfolio in Bildungsforschung und Bildungspraxis*. Verlag Julius Klinkhardt.
- Gobert, J. D., & Pallant, A. (2004). Fostering Students' Epistemologies of Models via Authentic Model-Based Tasks. *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 7–22. <https://doi.org/10.1023/B:JOST.0000019635.70068.6f>
- Gogolin, S., & Krüger, D. (2018). Modellverstehen im Biologieunterricht diagnostizieren und fördern. *MNU Journal*, 71(2), 76–81.
- Göhner, M., & Krell, M. (2018). Modellierungsprozesse von Lehramtsstudierenden der Biologie. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 17, 45–61.
- Good, R. (1991). Editorial. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(5), 387. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280502>
- Graf, D. (2014). Concept Mapping als Diagnosewerkzeug. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 325–337). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0>
- Graf, E. (2002). Modelle im Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 13(67), 4–9.
- Greenfield, P. (1984). A theory of the teacher in the learning activities of everyday life. In B. Rogoff & J. Lave (Hrsg.), *Everyday cognition: Its development in social context* (S. 117–138). Harvard University Press.
- Greiff, S., Wüstenberg, S., & Avvisati, F. (2015). Computer-generated log-file analyses as a window into students' minds? A showcase study based on the PISA 2012 assessment of problem solving. *Computers & Education*, 91, 92–105. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.10.018>

- Gribbons, B., & Herman, J. (1996). True and Quasi-Experimental Designs. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 5. <https://doi.org/10.7275/FS4Z-NB61>
- Gröll, L. (2015). *Methodik zur Integration von Vorwissen in die Modellbildung*. KIT Scientific Publishing.
- Grube, C. R. (2010). *Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung*. Universität Kassel.
- Grünkorn, J. (2014). *Modellkompetenz im Biologieunterricht -Empirische Analyse von Modellkompetenz bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I mit Aufgaben im offenen Antwortformat* [Freien Universität Berlin]. <https://d-nb.info/1056908270/34>
- Grünkorn, J., Lotz, A., & Terzer, E. (2014). Erfassung von Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Mathematischer und Naturwissenschaftlicher Unterricht*, 3(67), 132–138.
- Grzega, J., & Schöner, M. (2008). The didactic model LdL (Lernen durch Lehren) as a way of preparing students for communication in a knowledge society. *Journal of Education for Teaching*, 34(3), 167–175. <https://doi.org/10.1080/02607470802212157>
- Günther, S. L., Fleige, J., Upmeyer Zu Belzen, A., & Krüger, D. (2017). Interventionsstudie mit angehenden Lehrkräften zur Förderung von Modellkompetenz im Unterrichtsfach Biologie. In C. Gräsel & K. Trempler (Hrsg.), *Entwicklung von Professionalität pädagogischen Personals: Interdisziplinäre Betrachtungen, Befunde und Perspektiven*. Springer VS.
- Haag, G., Scheid, J., Löffler, P., & Kauertz, A. (2018). Desiderate bei der manuellen Ausführung von Experimenten. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht- normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017*. (Bd. 38, S. 847–850). [https://gdcp-ev.de/wp-content/tb2018/TB2018\\_847\\_Haag.pdf](https://gdcp-ev.de/wp-content/tb2018/TB2018_847_Haag.pdf)
- Hackshaw, A. (2008). Small studies: Strengths and limitations. *European Respiratory Journal*, 32(5), 1141–1143. <https://doi.org/10.1183/09031936.00136408>
- Hagenauer, G., & Gläser-Zikuda, M. (2022). Mixed Methods. In H. Reinders, D. Bergs-Winkels, A. Prochnow, & I. Post (Hrsg.), *Empirische Bildungsforschung* (S. 253–267). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-27277-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-658-27277-7_16)
- Haider, M., & Haider, M. (2018). Lernunterstützende Maßnahmen im (naturwissenschaftlichen) Modellierungsprozess. *widerstreit-sachunterricht*, 24, 11.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), 509–534. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199609\)80:5<509::AID-SCE2>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199609)80:5<509::AID-SCE2>3.0.CO;2-F)

- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011–1026.  
<https://doi.org/10.1080/095006900416884>
- Hattie, J. (2009). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement* (Reprinted). Routledge.
- Hattie, J. (2012). *Visible learning for teachers: Maximizing impact on learning*. Routledge.
- Haugwitz, M., & Sandmann, A. (2009). Kooperatives Concept Mapping in Biologie: Effekte auf den Wissenserwerb und die Behaltensleistung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 89–107.
- Heitzmann, A. (2013). Modelle verwenden. In P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft: 1.- 9. Schuljahr* (2., korrigierte Auflage, S. 87–102). Haupt Verlag.
- Herold-Blasius, R. (2021). Hilfekarten. In R. Herold-Blasius, *Problemlösen mit Strategieschlüsseln* (S. 19–23). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-32292-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-658-32292-2_3)
- Hilfert-Rüppell, D., & Sieve, B. F. (2017). Entschleunigung biologischer und chemischer Abläufe durch Zeitlupenaufnahmen. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze, & J. Groß (Hrsg.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen: Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (S. 147–160).
- Hillmayr, D., Reinhold, F., Ziernwald, L., & Reiss, K. (2017). *Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe: Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit* (Zentrum für Internationale Vergleichsstudien, Hrsg.). Waxmann.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99–107.  
<https://doi.org/10.1080/00461520701263368>
- Hoffman, B., & Spataru, A. (2008). The influence of self-efficacy and metacognitive prompting on math problem-solving efficiency. *Contemporary Educational Psychology*, 33(4), 875–893. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2007.07.002>
- Horton, C. (2007). Student alternative conceptions in chemistry. *California Journal of Science Education*, 7(2), 18–38.
- Hundertmark, S., & Schanze, S. (2017). Was wird bei Verbrennungen vernichtet? - Von einem Alltagsphänomen zum Konzept der chemischen Reaktion. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 159, 19–25.
- Hußmann, S., & Prediger, S. (2007). Mit Unterschieden rechnen—Differenzieren und Individualisieren. *Praxis der Mathematik in der Schule*, 49(17), 1–11.

- Huwer, J., Banerji, A., & Thyssen, C. (2020). Digitalisierung -- Perspektiven für den Chemieunterricht. *Nachrichten Aus Der Chemie*, 68(10), 10–16.  
<https://doi.org/10.1002/nadc.20204100187>
- Huwer, J., & Brünken, R. (2018). Individualisierung mit Tablets im Chemie-Unterricht. *COMPUTER + UNTERRICHT*, 110, 4.
- Huwer, J., & Eilks, I. (2017). Multitouch Learning Books für schulische und außerschulische Bildung. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze, & J. Groß (Hrsg.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen: Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (S. 81–94). Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Huwer, J., Lauer, L., Dörrenbächer-Ulrich, L., Perels, F., & Thyssen, C. (2019). Chemie neu erleben mit Augmented Reality- Neue Möglichkeiten der individuellen Förderung. *MNU Journal*, 75(5), 420–427.
- Huwer, J., & Seibert, J. (2017). EXPLAINistry—Dokumentation, Erklärung und Visualisierung chemischer Experimente mithilfe digitaler Medien in Schülerlabor und Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 160, 44–48.
- İnel, D., & Balım, A. G. (2013). Concept Cartoons Assisted Problem based Learning Method in Science and Technology Teaching and Students' Views. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 93, 376–380. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.09.206>
- Jackson, S. L., Stratford, S. J., Krajcik, J., & Soloway, E. (1994). Making Dynamic Modeling Accessible to Precollege Science Students. *Interactive Learning Environments*, 4(3), 233–257. <https://doi.org/10.1080/1049482940040305>
- Jank, W., & Meyer, H. (2014). *Didaktische Modelle* (11. Auflage). Cornelsen.
- Jesgarz, M. (2022). Warum gibt es unterschiedliche Atommodelle? *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 189, 43–47.
- Johannsmeyer, F., Bley, L., Friedrich, J., & Oetken, M. (2001). Die Masse des „Nichts“-der Boyle-Versuch im neuen Lichte. *CHEMKON*, 8(3), 156–157.  
<https://doi.org/10.1002/ckon.20010080310>
- Johannsmeyer, F., Schneider, J., & Oetken, M. (2003). Schülervorstellungen zum Boyle-Versuch. *CHEMKON*, 10(2), 73–74. <https://doi.org/10.1002/ckon.200390023>
- Johnson, P. (2000). Children's understanding of substances, part 1: Recognizing chemical change. *International Journal of Science Education*, 22(7), 719–737.  
<https://doi.org/10.1080/09500690050044062>
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701.  
<https://doi.org/10.1021/ed070p701>

- Jürgen-Lohmann, J., Borsch, F., & Giesen, H. (2002). Kooperativer Unterricht in unterschiedlichen schulischen Lernumgebungen; Cooperative Instruction in Different School Environments. *Unterrichtswissenschaft*, 30(4), 367–384. <https://doi.org/10.25656/01:7697>
- Justi, R., & Gilbert, J. (2006). The role of analog models in the understanding of the nature of models in chemistry. In P. Aubusson, A. G. Harrison, & S. Ritchie (Hrsg.), *Metaphor and analogy in science education* (S. 119–130). Springer.
- Kaiser, G., & Stender, P. (2013). Complex Modelling Problems in Co-operative, Self-Directed Learning Environments. In G. A. Stillman, G. Kaiser, W. Blum, & J. P. Brown (Hrsg.), *Teaching Mathematical Modelling: Connecting to Research and Practice* (S. 277–293). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6540-5\\_23](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6540-5_23)
- Kaiser, R. (2021). *Qualitative Experteninterviews: Konzeptionelle Grundlagen und praktische Durchführung* (2., aktualisierte Auflage). Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-30255-9>
- Kalyuga, S. (2008). Relative effectiveness of animated and static diagrams: An effect of learner prior knowledge. *Computers in Human Behavior*, 24(3), 852–861. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2007.02.018>
- Karapanos, M., Becker, C., & Christophel, E. (2018). Die Bedeutung der Usability für das Lernen mit digitalen Medien. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 36–57. <https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2018.05.09.X>
- Kattmann, U. (2016). Lernhindernisse erkennen, Lernchancen ergreifen—Zum Umgang mit Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht. In U. Kattmann, *Schüler besser verstehen: Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht* (S. 11–21). Aulis Verlag.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion—Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3–18.
- Keiner, L., & Graulich, N. (2021). Beyond the Beaker: Evaluation eines Reflexionsbogen für das Organisch- Chemische Praktikum. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, online Jahrestagung 2020*. (Bd. 41, S. 209–211). [https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/2021/07/GDCP\\_Band41\\_050721.pdf](https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/2021/07/GDCP_Band41_050721.pdf)
- Kempke, T., & Flint, A. (2021). Die Einführung der Teilchenvorstellung im inklusiven Chemieunterricht nach dem Konzept „Chemie fürs Leben“. *CHEMKON*, ckon.202100049. <https://doi.org/10.1002/ckon.202100049>
- Kerres, M. (2018). *Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung digitaler Lernangebote* (Fifth edition). Walter de Gruyter GmbH.

- Kessels, U., & Heyder, A. (2018). Geschlechtsunterschiede. In D. H. Rost, J. R. Sparfeldt, & S. Buch (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (5., überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 209–217). Beltz.
- Kienast, S., Krause, M., Witteck, T., & Eilks, I. (2012). Auf dem Weg zu Mol & Co mit der ‚Tour de Chemie‘. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, *65*, 155–160.
- Kircher, E. (1976). Zum Modellbegriff und zu seiner Bedeutung für den naturwissenschaftlichen Unterricht. In J. Weninger, H. Brünger, & Universität Kiel (Hrsg.), *Atommodelle im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 248–263). Beltz.
- Kircher, E., Girwidz, R., Häußler, P., Fischer, H. E., Glemnitz, I., Kauertz, A., & Sumfleth, E. (2007). Auf Wissen aufbauen-kumulatives Lernen in Chemie und Physik. *Physikdidaktik: Theorie und Praxis*, 657–678.
- 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)
- Kniffka, G. (2017). Scaffolding—Möglichkeiten, im Fachunterricht sprachliche Kompetenzen zu vermitteln. In M. Michalak & M. Kuchenreuther (Hrsg.), *Grundlagen der Sprachdidaktik Deutsch als Zweitsprache* (4. unveränderte Auflage, S. 221–237). Schneider Verlag Hohengehren GmbH.
- Koch, S., Krell, M., & Krüger, D. (2015). Förderung von Modellkompetenz durch den Einsatz einer Blackbox. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 93–108.
- Koenen, J. (2016). Gestaltung von Experimentiersituationen – Wahl verschiedener Öffnungsgrade. In J. Koenen, M. Emden, & E. Sumfleth (Hrsg.), *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung* (S. 19–31). Waxmann.
- Kohls, C. (2020). Bildungstechnologie in der Schule. In H. Niegemann & A. Weinberger (Hrsg.), *Handbuch Bildungstechnologie* (S. 631–643). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-54368-9\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-662-54368-9_53)
- Köller, O., & Möller, J. (2018). Selbstwirksamkeit. In D. H. Rost, J. R. Sparfeldt, & S. Buch (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (5., überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 757–763). Beltz.
- Köller, O., Trautwein, U., Lüdtke, O., & Baumert, J. (2006). Zum Zusammenspiel von schulischer Leistung, Selbstkonzept und Interesse in der gymnasialen Oberstufe. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, *20*(1/2), 27–39. <https://doi.org/10.1024/1010-0652.20.12.27>
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, *15*(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>

- Kosuch, R. (2010). Selbstwirksamkeit und Geschlecht- Impulse für die MINT-Didaktik. In D. Kröll (Hrsg.), „*Gender und MINT*“: *Schlussfolgerungen für Unterricht, Beruf und Studium: Tagungsband zum Fachtag am 15.02.2010, Universität Kassel und Max-Eyth-Schule Kassel* (S. 12–36). Kassel University Press GmbH.
- Koszalka, T. A., Wilhelm-Chapin, M. K., Hromalik, C. D., Pavlov, Y., & Zhang, L. (2019). Prompting Deep Learning with Interactive Technologies: Theoretical Perspectives in Designing Interactive Learning Resources and Environments. In P. Díaz, A. Ioannou, K. K. Bhagat, & J. M. Spector (Hrsg.), *Learning in a Digital World: Perspective on Interactive Technologies for Formal and Informal Education*. Springer Singapore.  
<https://doi.org/10.1007/978-981-13-8265-9>
- Krapp, A., Schiefele, U., & Schreyer, I. (1993). Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und pädagogische Psychologie*, 10(2), 120–148.
- Krause, M., & Eilks, I. (2014). Lernwerkzeuge mit PREZI modern gestalten—Beispiele zum Teilchenkonzept. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 209–215). Joachim Herz Stiftung Verlag. [https://fachportal.lernnetz.de/files/Inhalte%20der%20Unterrichtsfächer/Physik/Hauptseite%20Physik/Digitale%20Medien/03\\_Dig\\_Medien\\_im\\_natwiss\\_Unterr-1.pdf](https://fachportal.lernnetz.de/files/Inhalte%20der%20Unterrichtsfächer/Physik/Hauptseite%20Physik/Digitale%20Medien/03_Dig_Medien_im_natwiss_Unterr-1.pdf)
- Krause, M., & Eilks, I. (2015). Neue Wege zum Teilchenkonzept 2.0. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule*, 64(3), 34–37.
- Krawitz, J. (2020). *Vorwissen als nötige Voraussetzung und potentieller Störfaktor beim mathematischen Modellieren*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-29715-2>
- Krell, G., Riedmüller, B., Sieben, B., Vinz, D., Armbrüster, C., Bayreuther, F., Benz, W., Dören, M., Eisend, M., Fuchs, M., & others. (2007). *Diversity Studies: Grundlagen und disziplinäre Ansätze*. Campus Verlag. <https://books.google.de/books?id=5NjzEAAAQBAJ>
- Krell, M., Upmeier Zu Belzen, A., & Krüger, D. (2016). Modellkompetenz im Biologieunterricht. In A. Sandmann & P. Schmiemann (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Schwerpunkte und Forschungsstände* (S. 83–102). Logos Verlag Berlin.
- Krotz, F. (2015). Mediatisierung. In A. Hepp, F. Krotz, S. Lingenberg, & J. Wimmer (Hrsg.), *Handbuch Cultural Studies und Medienanalyse* (S. 439–451). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-19021-1\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-531-19021-1_45)
- Krüger, D., & Upmeier zu Belzen, A. (2021). Kompetenzmodell der Modellierkompetenz – Die Rolle abduktiven Schließens beim Modellieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. <https://doi.org/10.1007/s40573-021-00129-y>

- Kuhn, J., Ropohl, M., & Groß, J. (2017). Fachdidaktische Mehrwerte durch Einführung digitaler Werkzeuge. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze, & J. Groß, *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen: Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (S. 11–32).
- Kuhn, J., & Vogt, P. (2014). Mobile Endgeräte als Experimentiermittel im Naturwissenschaftlichen Unterricht- Stand der fachdidaktischen Forschung. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 46–63). Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Kultusministerkonferenz. (2004a). *Bildungsstandards für das Fach Mathematik Erster Schulabschluss (ESA) und Mittlerer Schulabschluss (MSA)*. [https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2022/2022\\_06\\_23-Bista-ESA-MSA-Mathe.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2022/2022_06_23-Bista-ESA-MSA-Mathe.pdf)
- Kultusministerkonferenz. (2004b). *Bildungsstandards für das Fach Mathematik Primarbereich*. [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2022/2022\\_06\\_23-Bista-Primarbereich-Mathe.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2022/2022_06_23-Bista-Primarbereich-Mathe.pdf)
- Kultusministerkonferenz. (2004c). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*. [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2004/2004\\_12\\_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf)
- Kultusministerkonferenz. (2004d). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*. [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2004/2004\\_12\\_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf)
- Kultusministerkonferenz. (2004e). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2004/2004\\_12\\_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf)
- Kultusministerkonferenz. (2012). *Bildungsstandards im Fach Mathematik für die Allgemeine Hochschulreife*. [https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2012/2012\\_10\\_18-Bildungsstandards-Mathe-Abi.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2012/2012_10_18-Bildungsstandards-Mathe-Abi.pdf)
- Kultusministerkonferenz. (2020). *Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife*. [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2020/2020\\_06\\_18-BildungsstandardsAHR\\_Chemie.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Chemie.pdf)
- Lampe, H.-U., Liebner, F., Urban-Woldron, H., & Tewes, M. (Hrsg.). (2015). *Innovativer naturwissenschaftlicher Unterricht mit digitalen Werkzeugen: Experimente mit Messwerterfassung in den Fächern Biologie, Chemie, Physik* (1. Aufl.). Seeberger.
- Lang, V., Eckert, C., Perels, F., Kay, C. W. M., & Seibert, J. (2021). A Novel Modelling Process in Chemistry: Merging Biological and Mathematical Perspectives to Develop Modelling Competences. *Education Sciences*, 11(10).  
<https://doi.org/10.3390/educsci11100611>

- Lazenby, K., Stricker, A., Brandriet, A., Rupp, C. A., & Becker, N. M. (2020). Undergraduate Chemistry Students' Epistemic Criteria for Scientific Models. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 16–26. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00505>
- Leisen, J. (2016). Kompetenzorientierung in Lehramtsausbildung und Physikunterricht. *Plus Lucis*, 2, 1–9.
- Leisen, J., Kruczinna, R., & Bennung, R. (Hrsg.). (1999). *Methoden-Handbuch: Deutschsprachiger Fachunterricht (DFU)*. Pagina Verlag GmbH.
- Leisner, A. (2005). Modellkompetenz im Physikunterricht. In H. Giest (Hrsg.), *Lern- und Lehr-Forschung LLF-Berichte.20 Fachdidaktik*. (Fachportal Pädagogik; S. 35–49). Univ., ZfL. [https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/725/file/llh\\_20.pdf](https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/725/file/llh_20.pdf)
- Leiss, D., & Tropper, N. (2014). Zielsetzung und Methode der Studie. In D. Leiss & N. Tropper, *Umgang mit Heterogenität im Mathematikunterricht* (S. 37–47). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-45109-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-45109-6_4)
- Lin, H.-H., Lin, S., Yeh, C.-H., & Wang, Y.-S. (2016). Measuring mobile learning readiness: Scale development and validation. *Internet Research*, 26(1), 265–287. <https://doi.org/10.1108/IntR-10-2014-0241>
- Lipowsky, F. (2015). Unterricht. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 69–105). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41291-2>
- Marks, R., & Eilks, I. (2009). Promoting Scientific Literacy Using a Sociocritical and Problem-Oriented Approach to Chemistry Teaching: Concept, Examples, Experiences. *International journal of environmental and science education*, 4, 231–245.
- Mattes, W. (Hrsg.). (2010). *Methoden für den Unterricht: 75 kompakte Übersichten für Lehrende und Lernende* (14. Dr). Schöningh.
- Mayer, J., & Wellnitz, N. (2014). Die Entwicklung von Kompetenzstrukturmodellen. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 19–30). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0>
- Mayer, R. E. (Hrsg.). (2005). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43–52. [https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801\\_6](https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_6)
- Mayring, P. (2014). *Qualitative content analysis: Theoretical foundation, basic procedures and software solution*.

- Mayring, P. (2020). Qualitative Inhaltsanalyse. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (S. 1–17). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-18387-5\\_52-2](https://doi.org/10.1007/978-3-658-18387-5_52-2)
- 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*, 14, 243–261.
- Meisert, A. (2009). Modelle in der Biologie. Wie lässt sich im Unterricht ein Verständnis für ihre Bedeutung fördern? *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 62(7), 424–430.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2011). Contributions of the Model of Modelling Diagram to the Learning of Ionic Bonding: Analysis of A Case Study. *Research in Science Education*, 41(4), 479–503. <https://doi.org/10.1007/s11165-010-9176-3>
- Meuser, M., & Nagel, U. (1991). ExpertInneninterviews—Vielfach erprobt, wenig bedacht. In D. Garz & K. Kraimer (Hrsg.), *Qualitativ-empirische Sozialforschung: Konzepte, Methoden, Analysen* (S. 441–471). Westdeutscher Verlag.
- Meyer, H. (2004). *Was ist guter Unterricht?* (10. Auflage). Cornelsen.
- Mikelskis-Seifert, S. (2010). Modelle – Schlüsselbegriff für Forschungs- und Lernprozesse in der Physik. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/154>
- Mikelskis-Seifert, S., Knittel, C., & Pfohl, U. (2011). Vom Modellieren im Alltag zum Modellieren im Unterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 22(122), 13–18.
- Mikelskis-Seifert, S., & Leisner, A. (2003). Das Denken in Modellen fördern. Ein Unterrichtsbeispiel zur Entwicklung von Teilchenvorstellungen. *Naturwissenschaften im Unterricht, Physik*, 71, 32–34.
- Ministerium für Bildung und Kultur Saarland. (2012). *Lehrplan Chemie Gymnasium Klassenstufen 8 und 9 Naturwissenschaftlicher Zweig*. [https://www.saarland.de/SharedDocs/Downloads/DE/mbk/Lehrplaene/Lehrplaene\\_Gymnasium/Chemie/Chemie\\_8\\_und\\_9\\_nw\\_Zweig.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.saarland.de/SharedDocs/Downloads/DE/mbk/Lehrplaene/Lehrplaene_Gymnasium/Chemie/Chemie_8_und_9_nw_Zweig.pdf?__blob=publicationFile&v=5)
- Ministerium für Bildung und Kultur Saarland. (2014). *Lehrplan Mathematik Gymnasium-Jahrgansübergreifender Teil*. [https://www.saarland.de/SharedDocs/Downloads/DE/mbk/Lehrplaene/Lehrplaene\\_Gymnasium/Mathe/Mathe\\_Vorwort\\_Gym\\_2014.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.saarland.de/SharedDocs/Downloads/DE/mbk/Lehrplaene/Lehrplaene_Gymnasium/Mathe/Mathe_Vorwort_Gym_2014.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- Ministerium für Kultus, Jugend und Sport, Baden-Württemberg. (2004). *Bildungsplan 2004 Realschule*. [http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents\\_E-1492751585/lbw/Bildungsplaene/Bildungsplaene-2004/Bildungsstandards/Realschule\\_Bildungsplan\\_Realschule\\_Gesamt.pdf](http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents_E-1492751585/lbw/Bildungsplaene/Bildungsplaene-2004/Bildungsstandards/Realschule_Bildungsplan_Realschule_Gesamt.pdf)

- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2011). *Kernlehrplan für die Realschule in Nordrhein-Westfalen Chemie*. [https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp\\_SI/RS/Chemie/KLP\\_RS\\_CH.pdf](https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SI/RS/Chemie/KLP_RS_CH.pdf)
- Mintzes, J. J., & Chiu, M.-H. (2004). Understanding and Conceptual Change in Science and Mathematics: An International Agenda within a Constructivist Framework. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 111–114. <https://doi.org/10.1007/s10763-004-7277-z>
- Modell. (2005). In G. Gabriel, M. Carrier, & J. Mittelstrass (Hrsg.), *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie* (2., neubearb. und wesentlich erg. Aufl, Bd. 5). J.B. Metzler.
- Möller, K. (2012). Konstruktion vs. Instruktion oder Konstruktion durch Instruktion? Konstruktionsfördernde Unterstützungsmaßnahmen im Sachunterricht. In H. Giest, E. Herandörr, & C. Archie (Hrsg.), *Lernen und Lehren im Sachunterricht: Zum Verhältnis von Konstruktion und Instruktion* (S. 37–50). Verlag Julius Klinkhardt.
- Möller, K. (2013). Lernen von Naturwissenschaft heisst: Konzepte verändern. In P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft: 1. - 9. Schuljahr* (2., korrig. Aufl, S. 57–72). Haupt.
- Möller, K. (2016). Bedingungen und Effekte qualitätvollen Unterrichts – ein Beitrag aus fachdidaktischer Perspektive. In N. McElvany, W. Bos, H. G. Holtappels, M. M. Gebauer, F. Schwabe, & H.-G. Holtappels (Hrsg.), *Bedingungen und Effekte guten Unterrichts* (S. 43–64). Waxmann.
- Moosbrugger, H., & Kelava, A. (2020). Qualitätsanforderungen an Tests und Fragebogen („Gütekriterien“). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 13–38). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-61532-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-662-61532-4_5)
- Neff, S., Engl, A., & Risch, B. (2023). Digitale Lernumgebungen zur Vor- und Nachbereitung realer Experimentiereinheiten. In J. Roth, M. Baum, K. Eilerts, G. Hornung, & T. Trefzger (Hrsg.), *Digitale Tools und Methoden für das Lehren und Lernen* (S. 17–34). Springer Spektrum.
- Nehring, A. (2014). *Wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Fach Chemie. Eine kompetenzorientierte Modell- und Testentwicklung für den Bereich der Erkenntnisgewinnung*.
- Nehring, A., Stiller, J., Nowak, K. H., Upmeyer zu Belzen, A., & Tiemann, R. (2016). Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Chemieunterricht – eine modellbasierte 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>

- Nentwig, P. M., Demuth, R., Parchmann, I., Ralle, B., & Gräsel, C. (2007). Chemie im Kontext: Situating Learning in Relevant Contexts while Systematically Developing Basic Chemical Concepts. *Journal of Chemical Education*, 84(9), 1439.  
<https://doi.org/10.1021/ed084p1439>
- Nerdel, C. (2017). *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik*. Springer Berlin Heidelberg.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-53158-7>
- Netz, G. (2014). Lehrer-online- Naturwissenschaften unterrichten mit digitalen Medien. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 287–293). Joachim Herz Stiftung Verlag. [https://fachportal.lernnetz.de/files/Inhalte%20der%20Unterrichtsfächer/Physik/Hauptseite%20Physik/Digitale%20Medien/03\\_Dig\\_Medien\\_im\\_natwiss\\_Unterr-1.pdf](https://fachportal.lernnetz.de/files/Inhalte%20der%20Unterrichtsfächer/Physik/Hauptseite%20Physik/Digitale%20Medien/03_Dig_Medien_im_natwiss_Unterr-1.pdf)
- Nicolaisen, T. (2016). Lerncoaching. In R. Wegener, S. Deplazes, M. Hasenbein, H. Künzli, A. Ryter, & B. Uebelhart (Hrsg.), *Coaching als individuelle Antwort auf gesellschaftliche Entwicklungen* (S. 111–120). Springer Fachmedien Wiesbaden.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-658-12854-8\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-658-12854-8_10)
- Nicoll, G. (2001). A report of undergraduates' bonding misconceptions. *International Journal of Science Education*, 23(7), 707–730. <https://doi.org/10.1080/09500690010025012>
- Niegemann, H. M., Domagk, S., Hessel, S., & Hein, A. (Hrsg.). (2008). *Kompodium multimediales Lernen*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-37226-4>
- Nitz, S., & Fechner, S. (2018). Mentale Modelle. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 69–86). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5>
- Oberländer, A. (2014). Schulkontext-Lebenswelt und Unterricht mobil verbinden. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 271–279). Joachim Herz Stiftung Verlag. [https://fachportal.lernnetz.de/files/Inhalte%20der%20Unterrichtsfächer/Physik/Hauptseite%20Physik/Digitale%20Medien/03\\_Dig\\_Medien\\_im\\_natwiss\\_Unterr-1.pdf](https://fachportal.lernnetz.de/files/Inhalte%20der%20Unterrichtsfächer/Physik/Hauptseite%20Physik/Digitale%20Medien/03_Dig_Medien_im_natwiss_Unterr-1.pdf)
- Obst, H., & Sommer, K. (2002). Konzeptionen für Chemieunterricht—Überblick. In P. Pfeifer, B. Lutz, & H. J. Bader (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (Neubearb., 3. Aufl., S. 155–167). Oldenbourg Schulbuchverl.
- Ortlieb, C. P., Dresky, C. von, Gasser, I., & Günzel, S. (Hrsg.). (2009). *Mathematische Modellierung: Eine Einführung in zwölf Fallstudien* (1. Aufl). Vieweg + Teubner.
- Pelosi, L. (2019). *Der Lernraum im Kontext reflexiver Lernprozesse. Eine philosophische, bildungstheoretische und erwachsenenbildungspraktische Betrachtung*.  
<https://doi.org/10.25656/01:16665>

- Petermann, K., Friedrich, J., & Oetken, M. (2008). „Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren“: Inhaltliche Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *CHEMKON*, 15(3), 110–118.  
<https://doi.org/10.1002/ckon.200810074>
- Petermann, K., Friedrich, J., & Oetken, M. (2009). Test zur Diagnose von Schülervorstellungen zum Teilchenkonzept. In *Praxis der Naturwissenschaften—Chemie in der Schule* (Bd. 58, Nummer 7, S. 41–43).
- Petko, D. (2019). Medien im Unterricht. In E. Kiel, B. Herzig, U. Maier, U. Sandfuchs, & J. Scharfenberg (Hrsg.), *Handbuch Unterrichten an allgemeinbildenden Schulen* (S. 249–256). Verlag Julius Klinkhardt.
- Petko, D. (2020). *Einführung in die Mediendidaktik: Lehren und Lernen mit digitalen Medien* (2. Auflage). Beltz.
- Pfeifer, P., Lutz, B., & Bader, H. J. (Hrsg.). (2002). *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (Neubearb., 3. Aufl.). Oldenbourg Schulbuchverl.
- Pöge, A. (2008). Persönliche Codes „reloaded“. *Methoden, Daten, Analysen (mda)*, 2(1), 59–70.
- Pöpping, W. (2002). Modellarbeit als Methodentraining und als Unterrichtsinhalt. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 13(67), 10–12.
- Pross, H. (1972). *Medienforschung: Film, Funk, Presse, Fernsehen*. Habel.
- Przywarra, T., & Risch, B. (2019). Modelleinsatz im Chemieunterricht—Illustrativ, haptisch-interaktiv oder digital erweitert. In C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018* (Bd. 39, S. 616).
- Puntambekar, S., & Hubscher, R. (2005). Tools for Scaffolding Students in a Complex Learning Environment: What Have We Gained and What Have We Missed? *Educational Psychologist*, 40(1), 1–12. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep4001\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4001_1)
- Quintana, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Krajcik, J., Fretz, E., Duncan, R. G., Kyza, E., Edelson, D., & Soloway, E. (2004). A Scaffolding Design Framework for Software to Support Science Inquiry. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 337–386.  
[https://doi.org/10.1207/s15327809jls1303\\_4](https://doi.org/10.1207/s15327809jls1303_4)
- Rammstedt, B. (2010). Reliabilität, Validität, Objektivität. In C. Wolf & H. Best (Hrsg.), *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse* (S. 239–258). VS Verlag für Sozialwissenschaften. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-92038-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-531-92038-2_11)
- Rautenstrauch, H., & Busker, M. (2016). Magnet-Modelle für den Anfangsunterricht. *CHEMKON*, 23(3), 120–124. <https://doi.org/10.1002/ckon.201610269>

- Reiners, C. S., & Saborowski, J. (2017). Auf dem Weg zum Chemieunterricht. In C. S. Reiners, *Chemie vermitteln* (S. 91–146). Springer Berlin Heidelberg.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-52647-7>
- Reiser, B. J. (2004). Scaffolding Complex Learning: The Mechanisms of Structuring and Problematising Student Work. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 273–304.  
[https://doi.org/10.1207/s15327809jls1303\\_2](https://doi.org/10.1207/s15327809jls1303_2)
- Reiser, B., Tabak, I., Sandoval, W., Smith, B., Steinmuller, F., & Leone, A. (2001). BGuILE: Strategic and conceptual scaffolds for scientific inquiry in biology classrooms. *Cognition and Instruction: Twenty-five Years of Progress*, 263–305.
- Reiss, K., Weis, M., Klieme, E., & Köller, O. (Hrsg.). (2019). *PISA 2018*. Waxmann Verlag GmbH. <https://doi.org/10.31244/9783830991007>
- Renkl, A. (2020). Wissenserwerb. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (3. Aufl., S. 3–24). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-61403-7>
- Richtberg, S., & Girwidz, R. (2014). Elektronen im elektrischen und magnetischen Feld: Eine digitale Lernumgebung. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 183–190). Joachim Herz Stiftung Verlag. [https://fachportal.lernnetz.de/files/Inhalte%20der%20Unterrichtsfächer/Physik/Hauptseite%20Physik/Digitale%20Medien/03\\_Dig\\_Medien\\_im\\_natwiss\\_Unterr-1.pdf](https://fachportal.lernnetz.de/files/Inhalte%20der%20Unterrichtsfächer/Physik/Hauptseite%20Physik/Digitale%20Medien/03_Dig_Medien_im_natwiss_Unterr-1.pdf)
- Rohrman, B. (1978). Empirische Studien zur Entwicklung von Antwortskalen für die sozialwissenschaftliche Forschung. *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, 9, 222–245.
- Rost, M., & Tiemann, R. (2016). Modellbildung als Mittel der Erkenntnisgewinnung – Eine Reviewstudie. In C. Maurer (Hrsg.), *Authentizität und Lernen—Das Fach in der Fachdidaktik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Berlin 2015*. (Bd. 36, S. 443). [https://www.gdcp.de/images/tagungsbaende/GDCP\\_Band36.pdf](https://www.gdcp.de/images/tagungsbaende/GDCP_Band36.pdf)
- Roth, G. (1994). *Das Gehirn und seine Wirklichkeit: Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen* (1. Aufl.). Suhrkamp.
- Roth, W.-M. (2008). The nature of scientific conceptions: A discursive psychological perspective. *Educational Research Review*, 3(1), 30–50.  
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2007.10.002>
- Saborowski, J. (2000). *Computervisualisierung und Modelldenken: Konzeptionelle Grundlagen und fachdidaktische Konsequenzen für den Chemieunterricht*. Saborowski.
- Saleh, M., Lazonder, A. W., & De Jong, T. (2005). Effects of within-class ability grouping on social interaction, achievement, and motivation. *Instructional Science*, 33(2), 105–119.  
<https://doi.org/10.1007/s11251-004-6405-z>

- Sarıtaş, D., Özcan, H., & Adúriz-Bravo, A. (2021). Observation and Inference in Chemistry Teaching: A Model-Based Approach to the Integration of the Macro and Submicro Levels. *Science & Education*, 30(5), 1289–1314. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00216-z>
- Saye, J. W., & Brush, T. (2002). Scaffolding critical reasoning about history and social issues in multimedia-supported learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 50(3), 77–96. <https://doi.org/10.1007/BF02505026>
- Schäfer, B. (2021). Ein gegenständliches Teilchenmodell der Luft – Zur Entwicklung, Anwendung und Erfahrung im Sachunterricht. *CHEMKON*, ckon.202000064. <https://doi.org/10.1002/ckon.202000064>
- Schecker, H., & Parchmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12(1), 45–66.
- Schermer, F. J. (2018). Modelllernen. In D. H. Rost, J. R. Sparfeldt, & S. Buch (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (5., überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 545–550). Beltz.
- Schiefele, U., & Schaffner, E. (2020). Motivation. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (3. Aufl., S. 163–185). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-61403-7>
- Schilling, S. R., Sparfeldt, J. R., Rost, D. H., & Nickels, G. (2005). Schulische Selbstkonzepte—Zur Validität einer erweiterten Version des Differentiellen Selbstkonzept Gitters (DISK-Gitter). *Diagnostica*, 51(1), 21–28. <https://doi.org/10.1026/0012-1924.51.1.21>
- Schmidt, H.-J. (1997). Students' misconceptions? Looking for a pattern. *Science Education*, 81(2), 123–135. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199704\)81:2<123::AID-SCE1>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199704)81:2<123::AID-SCE1>3.0.CO;2-H)
- Schorn, J. (2012). Methoden und Modelle. In J. Kranz & J. Schorn (Hrsg.), *Chemie-Methodik: Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (2. Auflage, S. 162–173). Cornelsen.
- Schukajlow, S., & Leiss, D. (2011). Selbstberichtete Strategienutzung und mathematische Modellierungskompetenz. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 32(1), 53–77. <https://doi.org/10.1007/s13138-010-0023-x>
- Schupp, H. (1988). Anwendungsorientierter Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I zwischen Tradition und neuen Impulsen. *Der Mathematikunterricht*, 34, 5–16.
- Schüßler, I. (2008). Reflexives Lernen in der Erwachsenenbildung—Zwischen Irritation und Kohärenz. *Bildungsforschung*, 5(2). <https://doi.org/10.25656/01:4595>
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (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>
- Seibert, J., Kay, C. W. M., & Huwer, J. (2019). EXPlainistry: Creating Documentation, Explanations, and Animated Visualizations of Chemistry Experiments Supported by Information and Communication Technology To Help School Students Understand Molecular-Level Interactions. *Journal of Chemical Education*, 96(11), 2503–2509. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00819>
- Seibert, J., Ollinger, F., Perels, F., Kay, C. W. M., & Huwer, J. (2020). Promoting Self-Regulation with a Multitouch Experiment Instruction on the Topic of Water Analysis. *International Journal of Physics & Chemistry Education*, 12(4), 75–88. <https://doi.org/10.51724/ijpce.v12i4.127>
- Seibert, J., Schmoll, I., Kay, C. W. M., & Huwer, J. (2020). Promoting Education for Sustainable Development with an Interactive Digital Learning Companion Students Use to Perform Collaborative Phosphorus Recovery Experiments and Reporting. *Journal of Chemical Education*, acs.jchemed.0c00408. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00408>
- Seibert, J.-N. (2021). *Interdisziplinärer und multiperspektivischer Ansatz zum Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht—Digitale Lernwerkzeuge und Lernbegleiter im Chemieunterricht* [Universität des Saarlandes]. <https://publikationen.sulb.uni-saarland.de/handle/20.500.11880/32214>
- Siebert, J., Heuser, K., Lang, V., Perels, F., Huwer, J., & Kay, C. W. M. (2020). Multitouch Experiment Instructions to promote self-regulation in inquiry-based learning in Schülerlabors. *The Royal Society of Chemistry*, 00, 1–8. <https://doi.org/DOI:10.1039/x0xx00000x>
- Sieve, B. F. (2020). Vorstellungen visualisieren und modellieren. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 177/178, 36–37.
- Sieve, B. F., & Koch, B. (2020). Experimente via Smartphone—Gummibärchenhülle und Papierchromatografie in Zeitlupe und Zeitraffer. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 31(177/178), 16–20.
- Sliwka, A. (2010). From homogeneity to diversity in German education. In T. Burns, Centre for Educational Research and Innovation, & OECD (Hrsg.), *Educating teachers for diversity: Meeting the challenge* (S. 205–217). OECD.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Springer.
- Stanat, P., Schipolowski, S., Mahler, N., Weirich, S., Henschel, S., & Waxmann Verlag. (2019). *IQB-Bildungstrend 2018 Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I im zweiten Ländervergleich*.

- Stäudel, L. (2009). Differenzieren im Chemieunterricht- Eine Herausforderung für Lehrkräfte, Lernende und das Selbstverständnis von Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 20(111/112), 8–11.
- Stäudel, L. (2011). Dipol Wasser- Eine Aufgabe mit gestuften Hilfen. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 2(11), 14–15.
- Stäudel, L. (2012). *Aufgaben mit gestuften Lernhilfen für den CHEMIE-Unterricht* (3. Aufl.). Friedrich Verlag.
- Stäudel, L., & Tiburski, J. (2014). Aufgaben via Tablet oder Smartphone. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 142, 42–48.
- Steinbuch, K. (1977). Denken in Modellen. In G. Schäfer, G. Trommer, & K. Wenk (Hrsg.), *Denken in Modellen* (S. 10–17). Westermann.
- Stephani, R. (Hrsg.). (2007). *Konkretisierung der Bildungsstandards und Kompetenzbereiche an Beispielen für den Chemieunterricht- Empfehlungen für die Umsetzung der KMK-Standards Chemie S I* (1. Aufl.). Seeberger. [https://www.mnu.de/images/PDF/fachbereiche/chemie/bildungsstandards\\_kompetenzbereiche\\_2006.pdf](https://www.mnu.de/images/PDF/fachbereiche/chemie/bildungsstandards_kompetenzbereiche_2006.pdf)
- Stephenson, P., & Warwick, P. (2002). Using concept cartoons to support progression in students' understanding of light. *Physics Education*, 37(2), 135. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/37/2/306>
- Straube, P. (2016). *Modellierung und Erfassung von Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bei (Lehramts-) Studierenden im Fach Physik*. Logos Verlag.
- Stuckey, M., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R., & Eilks, I. (2013). The meaning of 'relevance' in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education*, 49(1), 1–34. <https://doi.org/10.1080/03057267.2013.802463>
- Stuckey, M., Sperling, J. P., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R., & Eilks, I. (2014). Ein Beitrag zum Verständnis der Relevanz des Chemieunterrichts. *CHEMKON*, 21(4), 175–180. <https://doi.org/10.1002/ckon.201410227>
- Sumfleth, E. (1992). Schülervorstellungen im Chemieunterricht. *MNU*, 45(7), 410–414.
- Sumfleth, E., & Nakoinz, S. (2019). Chemie verstehen – beobachtbare makroskopische Phänomene auf submikroskopischer Ebene modellbasiert interpretieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25(1), 231–243. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00101-x>
- Suwelack, W. (2010). Lehren und Lernen im kompetenzorientierten Unterricht. *Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 63(3), 176.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295–312. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5)

- Teichrow, A., & Erb, R. (2020). Lernen mit Modellen und Experimenten- Von der Beobachtung zur Erkenntnis am Beispiel des Regenbogens. *MNU Journal*, 6, 481–486.
- Tempel, B. J., Randler, C., Rehm, M., & Wilhelm, M. (2018). Modellkompetenzen im Chemie- und Biologieunterricht—Welche Fähigkeiten brauchen Lehrkräfte? Ein systematisches Literaturreview. *Progress in Science Education (PriSE)*, Vol. 1 No. 1 (2018). <https://doi.org/10.25321/PRISE.2018.471>
- Tempel, B., Randler, C., Rehm, M., & Wilhelm, M. (2018). *Model competences in chemistry and biology lessons—What skills do teachers need? A systematic literature review; Modellkompetenzen im Chemie- und Biologieunterricht—Welche Fähigkeiten brauchen Lehrkräfte? Ein systematisches Literaturreview*. <https://doi.org/10.25321/prise.2018.471>
- ter Horst, N., & Wilke, T. (2022). Digital und differenziert im Schülerlabor—Das Konzept digitalchemlab. *CHEMKON*, 29(S1), 227–232. <https://doi.org/10.1002/ckon.202100095>
- Tinker, R. F., & Xie, Q. (2008). Applying Computational Science to Education: The Molecular Workbench Paradigm. *Computing in Science & Engineering*, 10(5), 24–27. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2008.108>
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357–368. <https://doi.org/10.1080/09500690110066485>
- Trockel, M. (2018). Die digitale Fragewand-Digitale Lernspiele mit Powerpoint erstellen. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 163, 12–17.
- Tulodziecki, G., Herzig, B., & Grafe, S. (2010). *Medienbildung in Schule und Unterricht: Grundlagen und Beispiele*. Klinkhardt.
- Ulrich, N. (2020). Stop-Motion- versus Legetechnik. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 177/178, 38–42.
- Unruh, T., & Petersen, S. (2007). *Guter Unterricht - Handwerkszeug für Unterrichts-Profis: Praxishandbuch ; für Lehrer aller Schulformen* (8. Aufl.). AOL-Verl.
- Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41–57.
- Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2019a). Modelle als methodische Werkzeuge begreifen und nutzen: Empirische Befunde und Empfehlungen für die Praxis. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann, & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 129–146). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_8)
- Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2019b). Ein Fall für Erkenntnisgewinnung- Biologische Beiträge zu einem Verständnis naturwissenschaftlichen Modellierens. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 30(171), 38–41.

- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141–1153.  
<https://doi.org/10.1080/095006999290110>
- Vygotskij, L. S., & Cole, M. (1981). *Mind in society: The development of higher psychological processes* (Nachdr.). Harvard Univ. Press.
- Wald, P. J., & Castleberry, M. S. (Hrsg.). (2000). *Educators as learners: Creating a professional learning community in your school*. Association for Supervision and Curriculum Development.
- Walpuski, M., Kauertz, A., Kampa, N., Fischer, H. E., Mayer, J., Sumfleth, E., & Wellnitz, N. (2010). ESNaS- Evaluation der Standards für die Naturwissenschaften in der Sekundarstufe I. In A. Gehrman, U. Hericks, & M. Lüders (Hrsg.), *Bildungsstandards und Kompetenzmodelle: Beiträge zu einer aktuellen Diskussion über Schule, Lehrerbildung und Unterricht* (S. 171–196). Verlag Julius Klinkhardt.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on Alternative Conceptions in Science. In D. Gabel & National Science Teachers Association (Hrsg.), *Handbook of research on science teaching and learning* (S. 177–210). Macmillan ; Maxwell Macmillan Canada ; Maxwell Macmillan International.
- Weinert, F. E., & Helmke, A. (1996). *Der gute Lehrer: Person, Funktion oder Fiktion?*  
<https://doi.org/10.25656/01:9799>
- Wellnitz, N., Fischer, H., Kauertz, A., Mayer, J., Neumann, I., Pant, A., Sumfleth, E., & Walpuski, M. (2012). Evaluation der Bildungsstandards: Eine fächerübergreifende Testkonzeption für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN ; Biologie, Chemie, Physik*, 18, 261–291.
- Wendt, H., Bos, W., Selzer, C., Köller, O., Schwippert, K., & Kasper, D. (Hrsg.). (2016). *TIMSS 2015: Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland im internationalen Vergleich* (1. Auflage, neue Ausgabe). Waxmann.
- Wilhelm, T. (2014). Externe Sensoren bei Smartphones und Tablets. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht* (S. 156-). Joachim Herz Stiftung Verlag. [https://fachportal.lernnetz.de/files/Inhalte%20der%20Unterrichtsfächer/Physik/Hauptseite%20Physik/Digitale%20Medien/03\\_Dig\\_Medien\\_im\\_natwiss\\_Unterr-1.pdf](https://fachportal.lernnetz.de/files/Inhalte%20der%20Unterrichtsfächer/Physik/Hauptseite%20Physik/Digitale%20Medien/03_Dig_Medien_im_natwiss_Unterr-1.pdf)
- Wolf, K. (2018). *Chemie im Übergang zwischen Schule und Hochschule: Entwicklung und Evaluation eines Chemiepropädeutikums für angehende Hauptfach- und Lehramtsstudierende der Universität Göttingen* [Georg-August-University Göttingen].  
<https://doi.org/10.53846/goediss-6950>

- Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89–100. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>
- Yeziarski, E. J., & Birk, J. P. (2006). Misconceptions about the Particulate Nature of Matter. Using Animations To Close the Gender Gap. *Journal of Chemical Education*, 83(6), 954. <https://doi.org/10.1021/ed083p954>
- Zander, S., & Heidig, S. (2019). Motivationsdesign bei der Konzeption multimedialer Lernumgebungen. In S. Kracht, A. Niedostadek, & P. Sensburg (Hrsg.), *Praxishandbuch Professionelle Mediation* (S. 1–23). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-54373-3\\_37-1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-54373-3_37-1)
- Ziegler, E., Neubauer, A., & Stern, E. (2012). Kompetenzen aus der Perspektive der Kognitionswissenschaften und der Lehr-Lernforschung. In M. Paechter, M. Stock, S. Schmörlzer-Eibinger, P. Slepcevic-Zach, & W. Weirer (Hrsg.), *Handbuch kompetenzorientierter Unterricht: Handlungskompetenz, Schülerorientierung, Bildungsstandards, Unterrichtsentwicklung* (S. 14–36). Beltz.
- Zoelch, C., Berner, V.-D., & Thomas, J. (2019). Gedächtnis und Wissenserwerb. In D. Urhahne, M. Dresel, & F. Fischer (Hrsg.), *Psychologie für den Lehrberuf* (S. 23–52). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-55754-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-55754-9_2)
- Zumbach, J. (2008). *Lernen mit neuen Medien: Instruktionspsychologische Grundlagen*. W. Kohlhammer.

# Anhang

## I. Anschreiben der Expertenbefragung

### Anschreiben bei Befragten ohne persönlichen Bezug:

**Von:** Vanessa Lang (Uni) [vanessa.lang@uni-saarland.de](mailto:vanessa.lang@uni-saarland.de)  
**Betreff:** Erhebung zu Erfahrungen mit der Modellkompetenz von Schüler/-innen  
**Datum:** 11. Juni 2021 um 13:15  
**An:** Vanessa Lang [vanessa.lang@uni-saarland.de](mailto:vanessa.lang@uni-saarland.de)  
**Kopie:** Johann Seibert [johann.seibert@uni-saarland.de](mailto:johann.seibert@uni-saarland.de)

---

Sehr geehrte Damen und Herren,  
liebe Kolleg/-innen,

Ich forsche zur Zeit im Rahmen meines Dissertationsvorhabens an der Universität des Saarlandes im Arbeitskreis um Prof. Dr. Christopher W. M. Kay zu Interventionsmöglichkeiten der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen im Anfangsunterricht des Fachs Chemie. Da Sie uns als Experte/Expertin für das Unterrichten im Fach Chemie bekannt sind, bitten wir Sie um Ihre professionelle Meinung zu der theoretischen Fundierung der Intervention. Ziel ist es, aufbauend auf Ihren Angaben die Intervention zu gestalten.

Wir würden uns daher freuen, wenn Sie sich die Zeit nehmen, den Fragebogen unter dem folgenden Link zu bearbeiten, und uns so bei der Weiterentwicklung unserer Ideen unterstützen!

[https://www3.unipark.de/uc/vlang\\_Universit\\_t\\_des\\_Saarlande/5be9/](https://www3.unipark.de/uc/vlang_Universit_t_des_Saarlande/5be9/)

Die Bearbeitung des Fragebogens wird circa 20 Minuten umfassen und ist bis einschließlich Sonntag, 04.07.2021, möglich. Die Auswertung erfolgt selbstverständlich anonym und es werden keine Rückschlüsse auf Personendaten gezogen.

Ich bedanke mich schon einmal herzlich für Ihre Teilnahme!

Wir würden uns außerdem sehr freuen, wenn Sie diese Umfrage/E-Mail an weitere Chemie-Lehrkräfte weiterleiten würden. Auch dafür bereits im Voraus vielen Dank :)

Mit freundlichen Grüßen

---

**Vanessa Lang**  
AK Prof. Dr. Christopher W. M. Kay

Universität des Saarlandes  
**Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie**

Campus B2 2, R.0.20  
D-66123 Saarbrücken

E-Mail: [vanessa.lang@uni-saarland.de](mailto:vanessa.lang@uni-saarland.de)  
Website: [www.nanobiolab.de](http://www.nanobiolab.de)  
<https://www.uni-saarland.de/lehrstuhl/kay/ag-didaktik.html>

Dienst.: +49 681 302 2474  
Sekretariat: +49 681 302 2473

---

## II. Anschreiben bei Befragten mit persönlichem Bezug:

**Von:** Vanessa Lang (Uni) [vanessa.lang@uni-saarland.de](mailto:vanessa.lang@uni-saarland.de)  
**Betreff:** Erhebung zu Erfahrungen mit der Modellkompetenz von Schüler/-innen  
**Datum:** 11. Juni 2021 um 12:21  
**An:** Vanessa Lang [vanessa.lang@uni-saarland.de](mailto:vanessa.lang@uni-saarland.de)  
**Kopie:**  
**Blindkopie:**

---

Hallo ihr lieben,

Ich schreibe euch diese E-Mail mit einem persönlichen Anliegen:

Ich forsche zur Zeit im Rahmen meines Dissertationsvorhabens an der Universität des Saarlandes im Arbeitskreis um Prof. Dr. Christopher W. M. Kay zu Interventionsmöglichkeiten der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen im Anfangsunterricht des Fachs Chemie. Da Ihr alle Experten/Expertinnen für das Unterrichten im Fach Chemie seid, möchte ich Euch um Eure professionelle Meinung zu der theoretischen Fundierung der Intervention bitte. Ziel ist es, aufbauend auf Euren Angaben die Intervention zu gestalten.

Ich würde mich daher sehr freuen, wenn Ihr Euch die Zeit nehmt, den Fragebogen unter dem folgenden Link zu bearbeiten, und Ihr mich so bei der Weiterentwicklung meiner Ideen unterstützt!

[https://ww3.unipark.de/uc/vlang\\_Universit\\_t\\_des\\_Saarlande/5be9/](https://ww3.unipark.de/uc/vlang_Universit_t_des_Saarlande/5be9/)

Die Bearbeitung des Fragebogens wird circa 20 Minuten umfassen und ist bis einschließlich Sonntag, 04.07.2021, möglich. Die Auswertung erfolgt selbstverständlich anonym und es werden keine Rückschlüsse auf Personendaten gezogen.

Ich bedanke mich schon einmal herzlich für Eure Teilnahme!

Außerdem wäre ich Euch super dankbar, wenn Ihr diese Umfrage/E-Mail an weitere Chemie-Lehrkräfte weiterleiten würdet. Je mehr Lehrkräfte teilnehmen, desto besser :)  
Auch dafür bereits im Voraus vielen Dank :)

Viele liebe Grüße  
Vanessa Lang

---

**Vanessa Lang**  
AK Prof. Dr. Christopher W. M. Kay

Universität des Saarlandes  
**Physikalische Chemie und Didaktik der Chemie**

Campus B2 2, R.0.20  
D-66123 Saarbrücken

E-Mail: [vanessa.lang@uni-saarland.de](mailto:vanessa.lang@uni-saarland.de)  
Website: [www.nanobiolab.de](http://www.nanobiolab.de)  
<https://www.uni-saarland.de/lehrstuhl/kay/ag-didaktik.html>  
Dienst.: +49 681 302 2474  
Sekretariat: +49 681 302 2473

### III. Fragebogen der Expertenbefragung

Schwarze Farbe: Texte und Fragen für alle Expert\*innen

Blaue Farbe: Texte und Fragen nur für Expert\*innen mit forschungsorientiertem Bezug zur Chemie

Rote Farbe: Texte und Fragen nur für Expert\*innen mit praxisorientiertem Bezug zur Chemie

#### Seite 1: Anschreiben

**Vielen Dank, dass Sie an dieser Befragung zur Modellkompetenz in der Chemie teilnehmen.**

Die Bearbeitung des Fragebogens wird ca. 20 Minuten beanspruchen. Die Befragung ist in mehrere Teile untergliedert:

- Im ersten Teil möchten wir wissen, inwiefern die Modellkompetenz in Ihrer Ausbildung und Ihrer fachdidaktischen Forschung/Ihrem Chemieunterricht eine Rolle gespielt hat und spielt.
- Im zweiten Teil möchten wir Sie um Ihre Meinung zur Anwendbarkeit von vorgestellten Dimensionen der Modellkompetenz auf die Chemie bitten.
- Im letzten Teil werden Ihnen zwei Modellierungsprozesse aus anderen Fächern vorgestellt, welche sich zur Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen eignen. Hier geht es um Ihre Einschätzung dazu, wie gut diese Prozesse auf die Chemie übertragen werden können.

In diesem Fragebogen sind Videos integriert, welche zum besseren Verständnis eine Audiospur enthalten. Bitte halten Sie dazu ggf. Kopfhörer bereit. Nochmals vielen Dank für Ihre Teilnahme! Wir wünschen Ihnen nun viel Spaß bei der Bearbeitung!

#### **In welcher Beziehung stehen Sie zur Chemie?**

Falls Sie beispielsweise als Professor/-in, Wissenschaftlicher Mitarbeiter/ Wissenschaftliche Mitarbeiterin o.Ä. an Universitäten, Hochschulen oder ähnlichen Einrichtungen zur chemischen Fachdidaktik forschen, wählen Sie bitte die **forschungsorientierte Beziehung** aus.

Falls Sie beispielsweise als Lehrkraft, Fachleiter/-in o.Ä. an Schulen, Lehrerbildungsstätten oder ähnlichen Einrichtungen Chemie unterrichten, wählen Sie bitte die **praxisorientierte Beziehung** aus.

- forschungsorientierte Beziehung
- praxisorientierte Beziehung

#### Seite 2: Person, Ausbildung, Berufserfahrung

**Füllen Sie bitte im Folgenden einige Informationen zu Ihrer Person, Ihrer Ausbildung und Ihrer Berufserfahrung aus:**

**Wählen Sie bitte Ihr Geschlecht aus.**

- männlich
- weiblich
- divers

**Tragen Sie in das nachfolgende Feld bitte Ihr Alter ein.**

**Wählen Sie bitte den Bereich aus, für welchen Sie eine Lehrbefähigung besitzen.**

- Lehramt für Primarstufe
- Lehramt für berufliche Schulen
- Lehramt für Sekundarstufe I + II
- Lehramt für Sekundarstufe I

- keine der hier angegebenen

**Wählen Sie bitte das Bundesland aus, in dem Sie studiert haben.**

- Baden-Württemberg
- Bayern
- Berlin
- Brandenburg
- Bremen
- Hamburg
- Hessen
- Mecklenburg-Vorpommern
- Niedersachsen
- Nordrhein-Westfalen
- Rheinland-Pfalz
- Saarland
- Sachsen
- Sachsen-Anhalt
- Schleswig-Holstein
- Thüringen
- anderes

**Geben Sie bitte weitere Unterrichtsfächer, neben dem Fach Chemie, an, für die Sie eine Lehrbefähigung besitzen.**

**Falls Sie aus den Fächern, für die Sie eine Lehrbefähigung besitzen, eine Präferenz auswählen müssten, welches Ihrer Fächer wäre das? Tragen Sie bitte Ihre Präferenz in das folgende Feld ein.**

**Tragen Sie in das nachfolgende Feld bitte die Anzahl Ihrer Berufsjahre nach Abschluss des Vorbereitungsdienstes ein. Runden Sie bitte auf ganze Jahre ab.**

**Tragen Sie in das nachfolgende Feld bitte die Anzahl Ihrer Berufsjahre insgesamt ein. (bei ggf. vor dem Referendariat ausgeübter Tätigkeit als Aushilfslehrkraft) Runden Sie bitte auf ganze Jahre ab.**

**Geben Sie bitte stichwortartig die Forschungsgebiete/ -schwerpunkte Ihrer Arbeitsgruppe an.**

**Geben Sie bitte stichwortartig Ihre eigenen fachdidaktischen Forschungsgebiete/ -schwerpunkte an.**

**Tragen Sie in das nachfolgende Feld bitte die Anzahl der Jahre ein, die Sie schon in der fachdidaktischen Forschung tätig sind.**

### Seite 3: Modelle in der Ausbildung

Bitte beantworten Sie nun einige Fragen zu Modellen in Ihrer Ausbildung.

**Haben Sie in Ihrer Ausbildung verschiedene Modelle (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modellexperimente) der Chemie kennengelernt?** Kreuzen Sie bitte alle zutreffenden Aspekte zu Ihrer Ausbildung an (Mehrfachantworten sind möglich).

- Nein, ich habe noch nie verschiedene Modelle der Chemie kennengelernt.
- Ja, während der universitären Ausbildungsphase.
- Ja, während der zweiten Ausbildungsphase (Vorbereitungsdienst).
- Ja, während berufsbegleitenden Fortbildungen und Seminare.
- Ja, im Zuge der folgenden Maßnahme:

**Wurden Sie in Ihrer Ausbildung bereits mit der Modellkompetenz von Schüler/-innen in der Chemie konfrontiert?** Kreuzen Sie bitte alle zutreffenden Aspekte zu Ihrer Ausbildung an (Mehrfachantworten sind möglich).

- Nein, ich habe noch nie von der Modellkompetenz gehört.
- Ja, während der universitären Ausbildungsphase.
- Ja, während der zweiten Ausbildungsphase (Vorbereitungsdienst).
- Ja, während berufsbegleitenden Fortbildungen und Seminare.
- Ja, im Zuge der folgenden Maßnahme:

**Haben Sie in Ihrer Ausbildung gelernt, die Modellkompetenz von Schüler/-innen in der Chemie aktiv zu fördern?** Kreuzen Sie bitte alle zutreffenden Aspekte zu Ihrer Ausbildung an (Mehrfachantworten sind möglich).

- Nein, ich habe noch nie von der Modellkompetenz gehört.
- Ja, während der universitären Ausbildungsphase.
- Ja, während der zweiten Ausbildungsphase (Vorbereitungsdienst).
- Ja, während berufsbegleitenden Fortbildungen und Seminare.
- Ja, im Zuge der folgenden Maßnahme:

### Seite 4.1: Modelle in der AG-Forschung

Bitte beantworten Sie nun einige Fragen zu der Forschung in Ihrer Arbeitsgruppe.

**Beschäftigt sich Ihre Arbeitsgruppe in der Forschung mit verschiedenen Modellen (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modellexperimente)?** Kreuzen Sie bitte alle zutreffenden Aspekte zu Ihrer Ausbildung an (Mehrfachantworten sind möglich).

- Nein, meine Arbeitsgruppe beschäftigt sich in ihrer Forschung nicht mit Modellen.
- Ja, meine Arbeitsgruppe beschäftigt sich in ihrer Forschung theoretisch mit verschiedenen Modellen.
- Ja, meine Arbeitsgruppe beschäftigt sich in ihrer Forschung praktisch mit dem Einsatz verschiedener Modelle, indem sie z.B. Einsatzmöglichkeiten für den Schulalltag entwickelt und erprobt.
- Ja, meine Arbeitsgruppe beschäftigt sich in ihrer Forschung in folgender Weise mit verschiedenen Modellen:

**Falls sich die Forschung in Ihrer Arbeitsgruppe mit verschiedenen Modellen beschäftigt, welche Aspekte werden dabei explizit beachtet?** Kreuzen Sie bitte alle zutreffenden Aspekte zu Ihrer Ausbildung an (Mehrfachantworten sind möglich).

- Die Eigenschaften von Modellen (Welche Beziehung besteht zwischen dem Modell und dem Original?)
- Alternative Modelle (Unterschiedliche Hypothesen bedürfen verschiedener Modelle)
- Der Zweck von Modellen (Modelle werden zur Beschreibung, Erklärung und Vorhersage von Phänomenen genutzt)
- Das Testen von Modellen (Abgleich von Modellaussagen mit Phänomenen)
- Ändern von Modellen (Wann kann das Modell nicht mehr verwendet werden? Wodurch müssen Modelle revidiert werden?)

**Beschäftigt sich Ihre Arbeitsgruppe in der Forschung mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen?** Kreuzen Sie bitte alle zutreffenden Aspekte zu Ihrer Ausbildung an (Mehrfachantworten sind möglich).

- Nein, meine Arbeitsgruppe beschäftigt sich in ihrer Forschung nicht mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen.
- Ja, meine Arbeitsgruppe beschäftigt sich in ihrer Forschung mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen, z.B. indem sie praktische Einsatzmöglichkeiten dazu erforscht.
- Ja, meine Arbeitsgruppe beschäftigt sich in ihrer Forschung theoretisch mit verschiedenen Modellen.
- Ja, meine Arbeitsgruppe beschäftigt sich in ihrer Forschung in folgender Weise mit verschiedenen Modellen:

#### Seite 4.2: Modelle in der eigenen Forschung

**Bitte beantworten Sie nun einige Fragen zu Modellen in Ihrer eigenen fachdidaktischen Forschung.**

**Beschäftigt Sie sich in ihrer eigenen Forschung mit verschiedenen Modellen (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modelleexperimente)?** Kreuzen Sie bitte alle zutreffenden Aspekte zu Ihrer Ausbildung an (Mehrfachantworten sind möglich).

- Nein, ich beschäftige mich nicht mit Modellen.
- Ja, ich beschäftige mich in meiner Forschung theoretisch mit verschiedenen Modellen.
- Ja, ich beschäftige mich in meiner Forschung praktisch mit dem Einsatz verschiedener Modelle, indem ich z.B. Einsatzmöglichkeiten für den Schulalltag entwickle und erprobe.
- Ja, ich beschäftige mich in meiner Forschung in folgender Weise mit verschiedenen Modellen:

**Falls Sie sich in Ihrer eigenen Forschung mit verschiedenen Modellen beschäftigen, welche Aspekte beachten Sie dabei explizit?** Kreuzen Sie bitte alle zutreffenden Aspekte zu Ihrer Ausbildung an (Mehrfachantworten sind möglich).

- Die Eigenschaften von Modellen (Welche Beziehung besteht zwischen dem Modell und dem Original?)
- Alternative Modelle (Unterschiedliche Hypothesen bedürfen verschiedener Modelle)
- Der Zweck von Modellen (Modelle werden zur Beschreibung, Erklärung und Vorhersage von Phänomenen genutzt)
- Das Testen von Modellen (Abgleich von Modellaussagen mit Phänomenen)
- Ändern von Modellen (Wann kann das Modell nicht mehr verwendet werden? Wodurch müssen Modelle revidiert werden?)

**Beschäftigt Sie sich in Ihrer eigenen Forschung mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen? Kreuzen Sie bitte alle zutreffenden Aspekte zu Ihrer Ausbildung an (Mehrfachantworten sind möglich).**

- Nein, ich beschäftige mich in meiner eigenen Forschung nicht mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen.
- Ja, ich beschäftige mich in meiner eigenen Forschung mit der Förderung der Modellkompetenz, indem ich theoretische Grundlagenforschung dazu betreibe.
- Ja, ich beschäftige mich in meiner eigenen Forschung mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen, indem ich praktische Einsatzmöglichkeiten dazu erforsche.
- Ja, in folgender Form:

### Seite 5: Modelle im eigenen Chemieunterricht

**Bitte beantworten Sie nun einige Fragen zu Modellen in Ihrem Chemieunterricht.**

**Setzen Sie selbst verschiedene Modelle (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modellexperimente) in Ihrem Chemieunterricht ein? Kreuzen Sie bitte alle zutreffenden Aspekte zu Ihrer Ausbildung an (Mehrfachantworten sind möglich).**

- Nein, ich setze keine Modelle in meinem Unterricht ein.
- Ja, ich setze theoretische Modelle im Unterricht ein (z.B. Teilchenmodelle).
- Ja, ich setze Anschauungsmodelle im Unterricht ein (z.B. Molekülbaukästen).
- Ja, ich setze Denkmodelle im Unterricht ein (z.B. gedankliche Vorstellungen zu chemischen Gesetzmäßigkeiten wie etwa dem Massenerhaltungssatz), um Vorhersagen zu treffen und zu überprüfen.
- Ja, ich setze Modellexperimente im Unterricht ein (z.B. Stechheber-Experiment).
- Ja, ich setze Modelle folgendermaßen in meinem Unterricht ein:

**Falls Sie Modelle in Ihrem Chemieunterricht einsetzen, auf welche Aspekte gehen Sie dabei explizit ein? Kreuzen Sie bitte alle zutreffenden Aspekte zu Ihrer Ausbildung an (Mehrfachantworten sind möglich).**

- Die Eigenschaften von Modellen (Welche Beziehung besteht zwischen dem Modell und dem Original?)
- Alternative Modelle (Unterschiedliche Hypothesen bedürfen verschiedener Modelle)
- Der Zweck von Modellen (Modelle werden zur Beschreibung, Erklärung und Vorhersage von Phänomenen genutzt)
- Das Testen von Modellen (Abgleich von Modellaussagen mit Phänomenen)
- Ändern von Modellen (Wann kann das Modell nicht mehr verwendet werden? Wodurch müssen Modelle revidiert werden?)

**Fördern Sie in Ihrem Chemieunterricht aktiv die Modellkompetenz von Schüler/-innen? Kreuzen Sie bitte alle zutreffenden Aspekte zu Ihrer Ausbildung an (Mehrfachantworten sind möglich).**

- Nein, ich fördere die Modellkompetenz der Schüler/-innen nicht aktiv in meinem Chemieunterricht.
- Ja, ich fördere die Modellkompetenz der Schüler/-innen zusammen mit chemischen Fachinhalten.
- Ja, ich fördere die Modellkompetenz der Schüler/-innen in einer Methodeneinheit losgelöst von der Vermittlung von Fachinhalten.
- Ja, in folgender Form:

### Seite 6: Assoziationen mit Modellkompetenz

Welche Aspekte assoziieren Sie mit einer ausgeprägten Modellkompetenz von Schüler/-innen in der Chemie? Tragen Sie bitte Ihre Assoziationen stichwortartig in das folgende Feld ein.

### Seite 7: Bewertung der Modellkompetenz

Im Folgenden geht es um Ihre persönliche Meinung zur Modellkompetenz in der Chemie.

Als Definition der Modellkompetenz dient hier die Definition von Modellkompetenz nach Upmeier zu Belzen und Krüger (2010):

*„Modellkompetenz umfasst die Fähigkeiten, mit Modellen zweckbezogen Erkenntnisse gewinnen zu können und über Modelle mit Bezug auf ihren Zweck urteilen zu können, die Fähigkeiten, über den Prozess der Erkenntnisgewinnung durch Modelle und Modellierungen [...] zu reflektieren sowie die Bereitschaft, diese Fähigkeiten in problemhaltigen Situationen anzuwenden.“*

(Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 16, 41–57. S. 49)

Bitte geben Sie an, wie sehr die folgenden Aussagen Ihrer Meinung nach zutreffen.

	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft zu
Für mich persönlich trifft diese Definition der Modellkompetenz genau so auch für die Chemie zu.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich persönlich sehe eine ausgeprägte Modellkompetenz der Schüler/-innen entsprechend der oben genannten Definition als sehr wichtig für die Chemie an.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Seite 8: Kompetenzdimensionen Modellkompetenz

#### Kompetenzdimensionen Modellkompetenz



Bewerten Sie nun bitte die Kompetenzdimensionen der Modellkompetenz für ihre Passung in der Chemie.

Welche der genannten Aspekte lassen sich Ihrer Meinung nach auf die Modellkompetenz in der Chemie anwenden? Notieren Sie Ihre Antwort bitte stichwortartig in das folgende Textfeld.

Welche Aspekte würden Sie für eine bessere Anwendbarkeit auf die Modellkompetenz in der Chemie abändern, ergänzen oder weglassen? Notieren Sie Ihre Antwort bitte stichwortartig in das folgende Textfeld.

### Seite 9: Assoziationen Modellierungskreisläufe

Modellierungskreisläufe bieten sich an, um die Modellkompetenz von Schüler/-innen zu fördern. Diese Kreisläufe unterscheiden sich von Fach zu Fach.

Welche Aspekte könnten Ihrer Meinung relevant sein für einen Modellierungskreislauf in der Chemie, um mit diesem Prozess die Modellkompetenz der Schüler/-innen zu fördern? Tragen Sie bitte Ihre Antwort stichwortartig in das folgende Feld ein.

### Seite 10: Modellierung: Übertragung von Bio und Ma

Bei Modellierungsprozessen handelt es sich um einen iterativen Kreislauf, der aus der Herstellung, Anwendung und Überprüfung eines Modells besteht.

Bitte geben Sie an, wie sehr die folgenden Aussagen Ihrer Meinung nach zutreffen.

	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft zu
Modellierungsprozesse aus der Biologie lassen sich meiner Meinung nach gut auf die Chemie übertragen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Modellierungsprozesse aus der Mathematik lassen sich meiner Meinung nach gut auf die Chemie übertragen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Seite 11: Modellierung Bio

#### Modellierungsprozess aus der Biologie



Bitte geben Sie an, wie sehr die folgende Aussage Ihrer Meinung nach zutrifft.

	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft zu
Der gezeigte Modellierungsprozess aus der Biologie lässt sich meiner Meinung nach auf die Chemie übertragen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Welche Aspekte des Modellierungsprozesses aus der Biologie... Tragen Sie bitte stichwortartig Ihre Antworten in die folgenden Felder ein.

... passen Ihrer Meinung nach gut und können für die Chemie übernommen werden?

... passen Ihrer Meinung nach nicht gut und sollten für die Chemie abgeändert oder weggelassen werden?

... müssten Ihrer Meinung nach ergänzt werden, damit das Schema einen Modellierungsprozess in der Chemie abbildet?

## Seite 12: Modellierung Ma

### Modellierungsprozess aus der Mathematik



Bitte geben Sie an, wie sehr die folgende Aussage Ihrer Meinung nach zutrifft.

trifft nicht zu    trifft eher nicht zu    trifft eher zu    trifft zu

Der gezeigte Modellierungsprozess aus der Mathematik lässt sich meiner Meinung nach auf die Chemie übertragen.

**Welche Aspekte des Modellierungsprozesses aus der Mathematik...** Tragen Sie bitte stichwortartig Ihre Antworten in die folgenden Felder ein.

... passen Ihrer Meinung nach gut und können für die Chemie übernommen werden?

... passen Ihrer Meinung nach nicht gut und sollten für die Chemie abgeändert oder weggelassen werden?

... müssten Ihrer Meinung nach ergänzt werden, damit das Schema einen Modellierungsprozess in der Chemie abbildet?

## Seite 13: Abschluss

**Haben Sie Anmerkungen oder Ideen zu dieser Befragung?** Tragen Sie diese bitte abschließend in das folgende Feld ein.

## Seite 14: Endseite

**Danke!**

**Vielen Dank, dass Sie als Experte/-in an dieser Befragung teilgenommen und mich in meiner Forschung zur Modellkompetenz von Schüler/-innen in der Chemie unterstützt haben.**

**Sie können den Tab nun schließen.**

**Falls Sie gerne über den weiteren Fortgang dieses Forschungsprojekts informiert werden möchten, senden Sie bitte eine E-Mail an [vanessa.lang@uni-saarland.de](mailto:vanessa.lang@uni-saarland.de).**

#### IV. Charakterisierung der Stichprobe bei der Expertenbefragung

##### Geschlecht

Charakterisierung der Stichprobe der Expertenbefragung nach dem Geschlecht, getrennt nach den unterschiedlichen Bezügen:

	Männlich	Weiblich	Divers	Fehlend	Gesamt
Forschungsbezug	31 (55.4 %)	23 (41.1 %)	0	2 (3.6 %)	56 (57.1 %)
Praxisbezug	21 (50 %)	21 (50 %)	0	0	42 (42.9 %)
Gesamt	52 (53.1 %)	44 (44.9 %)	0	2 (2 %)	98 (100 %)

##### Lehrbefähigung

Charakterisierung der Stichprobe der Expertenbefragung nach den Lehrbefähigungen, getrennt nach den unterschiedlichen Bezügen:

	LA PS	LA B	LA Sek I	LA Sek I&II	Nichts davon	Gesamt
Forschungsbezug	2 (3,6 %)	2 (3,6%)	4 (7,1 %)	43 (76,8 %)	5 (8,9 %)	56 (57,1 %)
Praxisbezug	2 (4,8 %)	0 (0 %)	2 (4,8 %)	35 (83,3 %)	3 (7,1%)	42 (42,9 %)
Gesamt	4 (4,1 %)	2 (2,0 %)	6 (6,1 %)	78 (79,6 %)	8 (8,2%)	98 (100 %)

## Ausbildungsort

Charakterisierung der Stichprobe der Expertenbefragung nach den Lehrbefähigungen, getrennt nach den unterschiedlichen Bezügen:

	Forschungsbezug	Praxisbezug	Gesamt
Baden-Württemberg	3 (5.1 %)	6 (14.3 %)	9 (9.2 %)
Bayern	9 (16.1 %)	2 (4.8 %)	11 (11.2 %)
Berlin	4 (7.1 %)	1 (2.4 %)	5 (5.1 %)
Brandenburg	-	1 (2.4 %)	1 (1.0 %)
Bremen	-	-	-
Hamburg	-	1 (2.4 %)	1 (1.0 %)
Hessen	4 (7.1 %)	1 (2.4 %)	5 (5.1 %)
Mecklenburg-Vorpommern	1 (1.8 %)	1 (2.4 %)	2 (2.0 %)
Niedersachsen	4 (7.1 %)	1 (2.4 %)	5 (5.1 %)
Nordrhein-Westfalen	15 (26.8 %)	5 (11.9 %)	20 (20.4 %)
Rheinland-Pfalz	3 (5.4 %)	2 (4.8 %)	5 (5.1 %)
Saarland	1 (1.8 %)	17 (40,5 %)	18 (18.4 %)
Sachsen	1 (1.8 %)	-	1 (1.0 %)
Sachsen-Anhalt	1 (1.8 %)	-	1 (1.0 %)
Schleswig-Holstein	3 (5.4 %)	1 (2.4 %)	4 (4.1 %)
Thüringen	3 (5.4 %)	-	3 (3.1 %)
anderes	2 (3.6 %)	1 (2.4 %)	3 (3.1 %)
Fehlend	2 (3.6 %)	2 (4.8 %)	4 (4.1 %)
Gesamt	56 (100 %)	42 (100 %)	98 (100 %)

Zusammenfassung der offenen Antworten unter „anderes“:

- Österreich (forschungsbezogen)
- Österreich (praxisbezogen)
- Schweiz (forschungsbezogen)

## Weitere Unterrichtsfächer, neben dem Fach Chemie

Charakterisierung der Stichprobe der Expertenbefragung nach den weiteren Unterrichtsfächern, getrennt nach den unterschiedlichen Bezügen:

	Forschungsbezug	Praxisbezug	Gesamt
Biologie	19 (30.2 %)	16 (28.6 %)	35 (29.4 %)
Deutsch	1 (1.6 %)	2 (3.6 %)	3 (2.5 %)
Englisch	3 (4.8 %)	3 (5.4 %)	6 (5.0 %)
Französisch	2 (3.2 %)	-	2 (1.7 %)
Geografie/ Erdkunde	5 (7.9 %)	2 (3.6 %)	7 (5.9 %)
Geschichte	1 (1.6 %)	1 (1.8 %)	2 (1.7 %)
Latein	2 (3.2 %)	-	2 (1.7 %)
Mathematik	8 (12.7 %)	10 (17.9 %)	18 (15.1 %)
Musik	-	2 (3.6 %)	2 (1.7 %)
Naturwissenschaften/ (Natur und) Technik	3 (4.8 %)	5 (8.9 %)	8 (6.7 %)
Pädagogik	1 (1.6 %)	-	1 (0.8 %)
Philosophie/ Ethik/ Religion/ Theologie	4 (6.3 %)	1 (1.8 %)	5 (4.2 %)
Physik	8 (12.7 %)	3 (5.4 %)	11 (9.2 %)
Politik/ Wirtschaft/ Sozialkunde	2 (3.2 %)	3 (5.4 %)	5 (4.2 %)
Psychologie	-	1 (1.8 %)	1 (0.8 %)
Sport	1 (1.6 %)	2 (3.6 %)	3 (2.5 %)
keins	-	3 (5.4 %)	3 (2.5 %)
Fehlend	3 (4.8 %)	2 (3.6 %)	5 (4.2 %)
Gesamt	56 (100 %)	42 (100 %)	98 (100 %)

### Lieblingsfach

Charakterisierung der Stichprobe der Expertenbefragung nach dem benannten Lieblingsfach, getrennt nach den unterschiedlichen Bezügen:

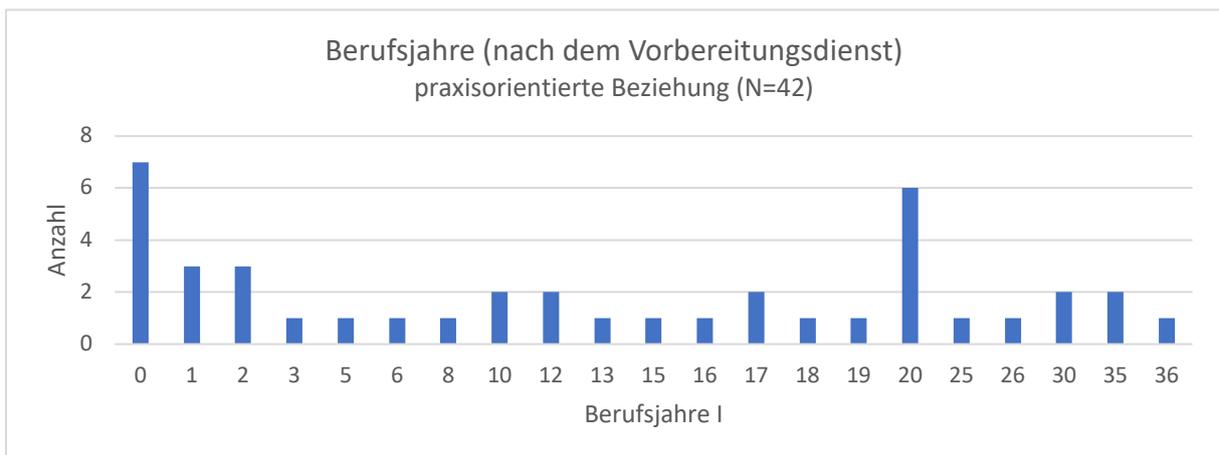
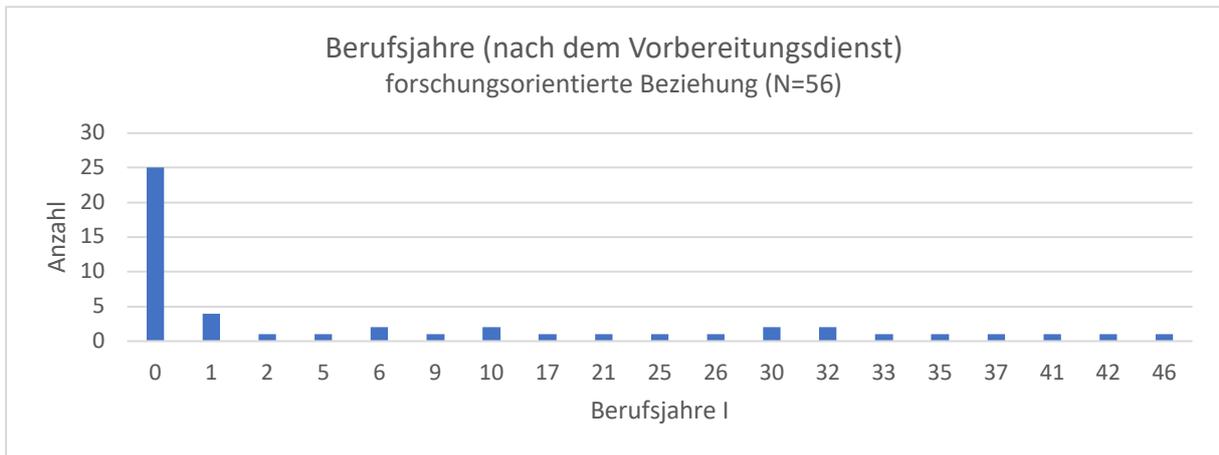
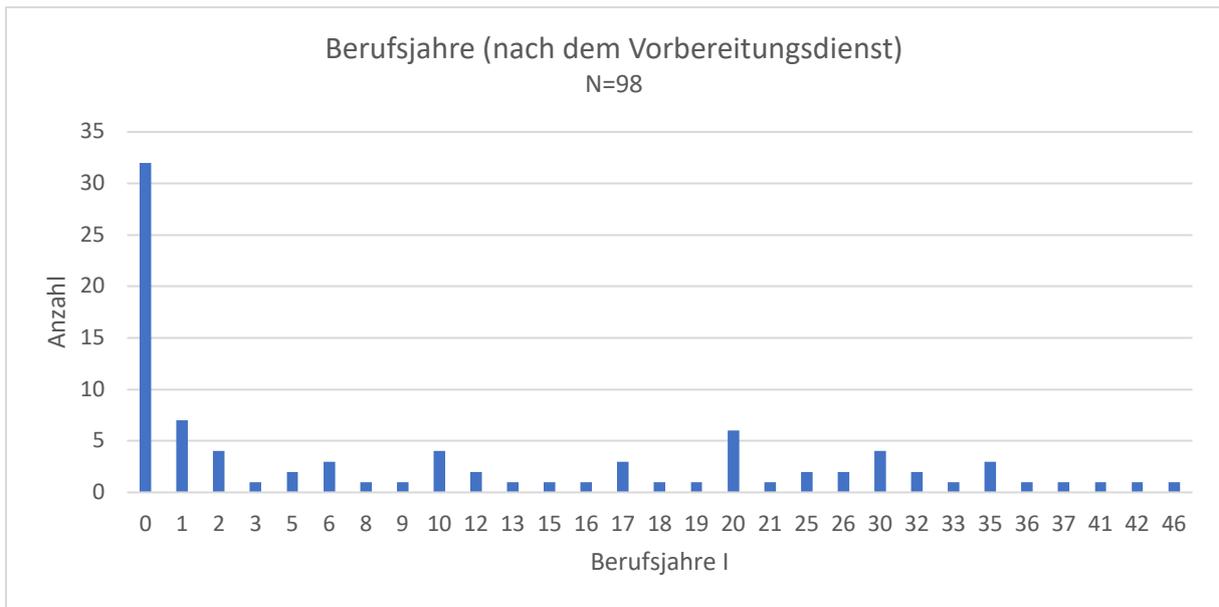
	Forschungsbezug	Praxisbezug	Gesamt
Biologie/ Neurobiologie	2 (3.6 %)	3 (9.1 %)	5 (6.1 %)
Chemie	41 (73.6 %)	27 (65.9 %)	68 (69.4 %)
Englisch	2 (3.6 %)	-	2 (2.0 %)
Latein	1 (1.8 %)	-	1 (1.0 %)
Mathematik	1 (1.8 %)	6 (14.3 %)	7 (7.1 %)
Physik	1 (1.8 %)	-	1 (1.0 %)
Psychologie	-	1 (2.0 %)	1 (1.0 %)
keins	1 (1.8 %)	1 (2.0 %)	2 (2.0 %)
Fehlend	7 (12.5 %)	3 (6.1 %)	10 (10.2 %)
Gesamt	56 (100 %)	42 (100 %)	98 (100 %)

### Berufsjahre nach Abschluss des Vorbereitungsdiensts

Charakterisierung der Stichprobe der Expertenbefragung nach den Berufsjahren nach Abschluss des Vorbereitungsdiensts, getrennt nach den unterschiedlichen Bezügen:

	Gültige Werte	Fehlend	Mittelwert	Std.-Abweichung	Varianz	Min	Max
Forschungsbezug	50	6	9.98	14.66	214.88	0	46
Praxisbezug	41	1	12.85	11.21	125.58	0	36
Gesamt	91	7	11.27	13.22	174.87	0	46

Grafiken über die Verteilung der Berufsjahre nach dem Vorbereitungsdienst:

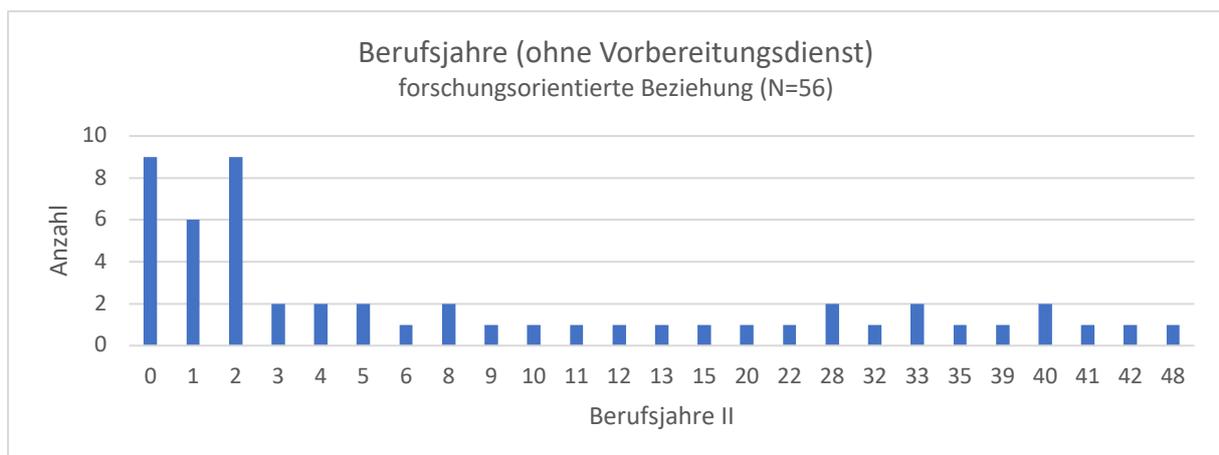
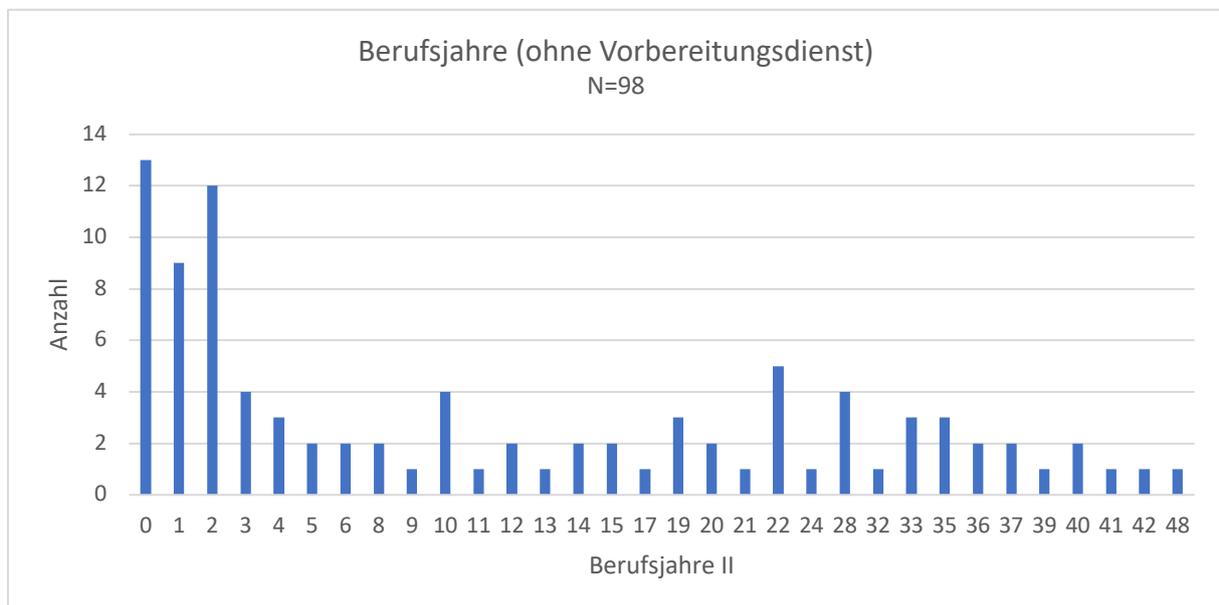


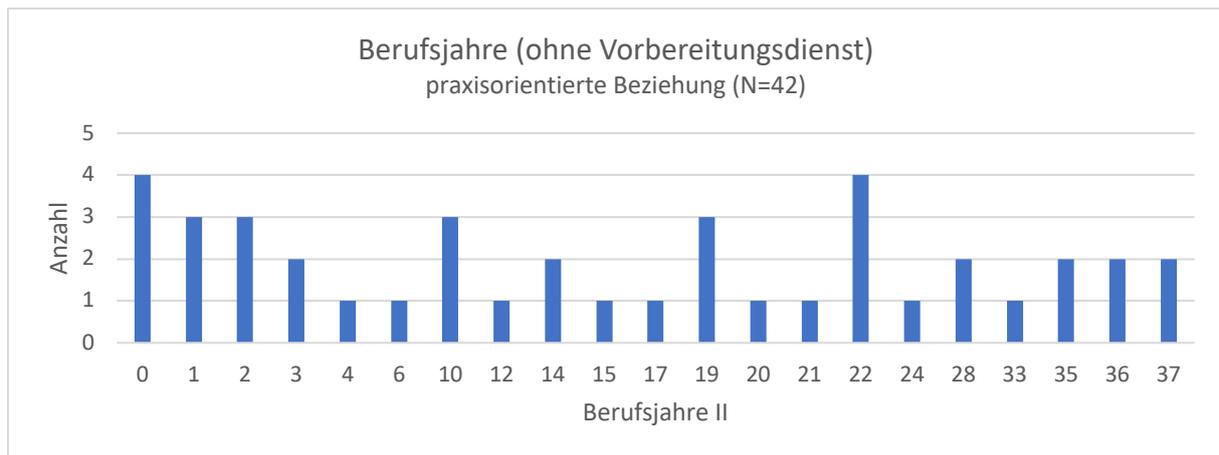
## Berufsjahre insgesamt

Charakterisierung der Stichprobe der Expertenbefragung nach den Berufsjahren insgesamt, getrennt nach den unterschiedlichen Bezügen:

	Gültige Werte	Fehlend	Mittelwert	Std.-Abweichung	Varianz	Min	Max
Forschungsbezug	53	3	11.72	14.69	215.75	0	48
Praxisbezug	41	1	15.66	12.51	156.38	0	37
Gesamt	94	4	13.44	13.85	191.75	0	48

Grafiken über die Verteilung der Berufsjahre insgesamt:





### Forschungsschwerpunkte der AG

Charakterisierung der Stichprobe der Expertenbefragung nach den Forschungsschwerpunkten der Arbeitsgruppe, kategorisiert nach induktiver Inhaltsanalyse:

	Forschungsbezug
Außerschulische Lernorte	7 (13.2 %)
BNE/ Natur und Chemie	6 (11.3 %)
Digitalisierung	20 (37.7 %)
Experiment	15 (28.3 %)
Lehr-Lern-Konzepte	15 (28.3 %)
Lehrerbildung/ Hochschuldidaktik	16 (30.2 %)
Modelle/ Repräsentationen	10 (18.9 %)
Nature of Science	5 (9.4 %)
Schülervorstellungen	4 (7.5 %)
Sprache	8 (15.1 %)

### Schwerpunkte der eigenen Forschung

Charakterisierung der Stichprobe der Expertenbefragung nach den Schwerpunkten der eigenen Forschung, kategorisiert nach induktiver Inhaltsanalyse:

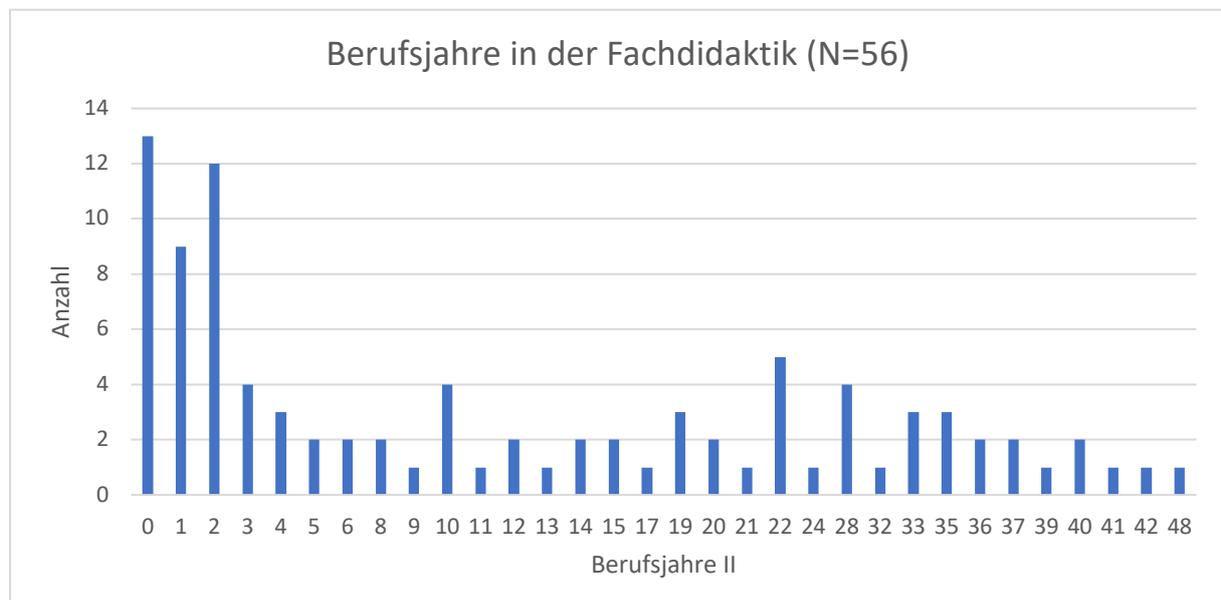
	Forschungsbezug
Außerschulische Lernorte	2 (3.8 %)
BNE/ Natur und Chemie	3 (5.8 %)
Digitalisierung	16 (30.8 %)
Experiment	10 (19.2 %)
Lehr-Lern-Konzepte	15 (28.8 %)
Lehrerbildung/ Hochschuldidaktik	10 (19.2 %)
Modelle/ Repräsentationen	10 (19.2 %)
Nature of Science	5 (9.6 %)
Schülervorstellungen	2 (3.8 %)
Sprache	5 (9.6 %)

### Berufsjahre in der Fachdidaktik

Charakterisierung der Stichprobe der Expertenbefragung nach den Berufsjahren in der Fachdidaktik:

	Gültige Werte	Fehlend	Mittelwert	Std.-Abweichung	Varianz	Min	Max
Forschungsbezug	53	45	8.32	10.77	115.95	0	42

Grafiken über die Verteilung der Berufsjahre in der Fachdidaktik:



## V. Ergebnisse der Expertenbefragung

### Modelle in der Ausbildung

#### **Haben Sie in Ihrer Ausbildung verschiedene Modelle (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modellexperimente) der Chemie kennengelernt?**

v\_13: „Nein, ich habe noch nie verschiedene Modelle der Chemie kennengelernt.“

v\_14: „Ja, während der universitären Ausbildungsphase.“

v\_15: „Ja, während der zweiten Ausbildungsphase (Vorbereitungsdienst).“

v\_16: „Ja, während berufsbegleitenden Fortbildungen oder Seminaren.“

v\_18: „Ja, im Zuge der folgenden Maßnahme.“

v\_19: offene Antworten

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf verschiedene Modelle in der Ausbildung, getrennt nach Bezügen:

	V_13	V_14	V_15	V_16	V_18
Forschungsbezug	0 (0 %)	46 (82.1 %)	17 (30.4 %)	7 (12.5 %)	7 (12.5 %)
Praxisbezug	0 (0 %)	26 (61.9 %)	31 (73.8 %)	22 (52.4 %)	5 (11.9 %)
Gesamt	<b>0 (0 %)</b>	<b>72 (73.5 %)</b>	<b>48 (49 %)</b>	<b>29 (29.6 %)</b>	<b>12 (12.2 %)</b>

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf verschiedene Modelle in der Ausbildung, getrennt nach dem Ausbildungsort:

	V_13	V_14	V_15	V_16	V_18
Nicht-Saarland	0 (0 %)	36 (78.8 %)	35 (43.8 %)	21 (26.3 %)	10 (12.5 %)
Saarland	0 (0 %)	9 (50 %)	13 (72.2 %)	8 (44.4 %)	2 (11.1 %)
Gesamt	<b>0 (0 %)</b>	<b>72 (73.5 %)</b>	<b>48 (49 %)</b>	<b>29 (29.6 %)</b>	<b>12 (12.2 %)</b>

offenen Antworten: (v\_19)

- meiner Arbeit als Uni-Dozent
- Selbststudium zu Forschungszwecken
- In der universitären Ausbildungsphase, aber auch schon im selbst genossenen Chemieunterricht an der Schule. Das ist streng genommen ja auch Ausbildung
- Eigene Recherchen im Rahmen der Lehrtätigkeit, Fachvorträge auf Tagungen
- in der Schule als Schüler
- auch in meiner Ausbildung zur chemisch-technischen Assistentin
- Schulische Ausbildung
- Unterricht (als Schüler)
- eigene Forschung; universitäre Lehre; als Lehrkraft an der Schule
- Eigenerfahrung
- Lehrauftrag Uni Kaiserslautern
- Literatur, Berufsalltag, eigene Vorlesung der Organischen Chemie und Physikalischen Chemie, Dissertation, Tätigkeit als Berufsschullehrer

Kategoriebildung zu den offenen Antworten (v\_19) nach induktiver Inhaltsanalyse:

- (schulische) Ausbildung: 5x
- Selbststudium: 4x
- Lehrtätigkeit: 3x

**Wurden Sie in Ihrer Ausbildung bereits mit der Modellkompetenz von Schüler/-innen in der Chemie konfrontiert?**

v\_20: „Nein, ich habe noch nie von der Modellkompetenz gehört.“

v\_21: „Ja, während der universitären Ausbildungsphase.“

v\_22: „Ja, während der zweiten Ausbildungsphase (Vorbereitungsdienst).“

v\_23: „Ja, während berufsbegleitenden Fortbildungen oder Seminaren.“

v\_24: „Ja, im Zuge der folgenden Maßnahme:“

v\_25: offene Antworten

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf die Modellkompetenz in der Ausbildung, getrennt nach Bezügen:

	V_20	V_21	V_22	V_23	V_24
Forschungsbezug	4 (7.1 %)	38 (67.9 %)	13 (23.2 %)	7 (12.5 %)	8 (14.3 %)
Praxisbezug	0 (0 %)	26 (35.7 %)	29 (69 %)	14 (33.3 %)	4 (9.5 %)
<b>Gesamt</b>	<b>4 (4.1 %)</b>	<b>53 (54.1 %)</b>	<b>42 (42.9 %)</b>	<b>21 (21.4 %)</b>	<b>12 (12.2 %)</b>

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf die Modellkompetenz in der Ausbildung, getrennt nach dem Ausbildungsort:

	V_20	V_21	V_22	V_23	V_24
Nicht-Saarland	4 (5 %)	46 (57.5 %)	30 (37.5 %)	17 (21.3 %)	11 (13.8 %)
Saarland	0 (0 %)	7 (38.9 %)	12 (66.7 %)	4 (22.2 %)	1 (5.6 %)
<b>Gesamt</b>	<b>4 (4.1 %)</b>	<b>53 (54.1 %)</b>	<b>42 (42.9 %)</b>	<b>21 (21.4 %)</b>	<b>12 (12.2 %)</b>

offenen Antworten: (v\_25)

- Selbststudium zu Forschungszwecken
- Eigene universitäre Lehre (Übernahme von Lehrtätigkeiten während der Promotion)
- AK Tiemann/HU
- über selbst gesuchte Fachliteratur
- eigene Lehrerfortbildungen der Gesellschaft Deutscher Chemiker GDCh zu Strukturmodellen im Chemieunterricht
- Vorbereitung auf erste Staatsprüfung
- Tätigkeit an der Universität
- eigene Forschung; universitäre Lehre
- Während meiner Tätigkeit als Dozent
- Eigenerfahrung
- Lehrauftrag Uni Kaiserslautern
- Tätigkeit am Institut für Didaktik der Chemie, Literatur, Dissertation, Tätigkeit als Berufsschullehrer

Kategoriebildung zu den offenen Antworten (v\_25) nach induktiver Inhaltsanalyse:

- Selbststudium: 5x
- Lehrtätigkeit: 7x

## Haben Sie in Ihrer Ausbildung gelernt, die Modellkompetenz von Schüler/-innen in der Chemie aktiv zu fördern?

v\_26: „Nein, ich habe keine Möglichkeiten kennengelernt, die Modellkompetenz der Schüler/-innen aktiv zu fördern.“

v\_27: „Ja, während der universitären Ausbildungsphase.“

v\_28: „Ja, während der zweiten Ausbildungsphase (Vorbereitungsdienst).“

v\_29: „Ja, während berufsbegleitenden Fortbildungen oder Seminaren.“

v\_30: „Ja, im Zuge der folgenden Maßnahme.“

v\_31: offene Antworten

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf die Förderung der Modellkompetenz in der Ausbildung, getrennt nach Bezügen:

	V_26	V_27	V_28	V_29	V_30
Forschungsbezug	15 (26.8 %)	23 (41.1 %)	16 (28.6 %)	3 (5.4 %)	7 (12.5 %)
Praxisbezug	6 (14.3 %)	12 (28.6 %)	26 (61.9 %)	14 (33.3 %)	3 (7.1 %)
<b>Gesamt</b>	<b>21 (21.4 %)</b>	<b>35 (35.7 %)</b>	<b>42 (42.9 %)</b>	<b>17 (17.3 %)</b>	<b>10 (10.2 %)</b>

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf die Förderung der Modellkompetenz in der Ausbildung, getrennt nach dem Ausbildungsort:

	V_26	V_27	V_28	V_29	V_30
Nicht-Saarland	17 (21.3 %)	31 (38.8 %)	32 (40 %)	12 (15 %)	10 (12.5 %)
Saarland	4 (22.2 %)	4 (22.2 %)	10 (55.6 %)	5 (27.8 %)	0 (0 %)
<b>Gesamt</b>	<b>21 (21.4 %)</b>	<b>35 (35.7 %)</b>	<b>42 (42.9 %)</b>	<b>17 (17.3 %)</b>	<b>10 (10.2 %)</b>

offenen Antworten: (v\_31)

- durch Eigenstudium
- Selbststudium zu Forschungszwecken
- Eigene universitäre Lehre (Übernahme von Lehrtätigkeiten während der Promotion)
- AK Tiemann, HU
- Eigene Recherchen & Fachvorträge
- selbst erstellte Materialien nach Recherchen in der Literatur
- Betreuung von Bachelor- bzw. Masterarbeiten und Promotionen im Bereich Chemiedidaktik
- Während meiner Tätigkeit als Dozent
- Lehrauftrag Uni Kaiserslautern
- Im Beruf, siehe oben (Tätigkeit am Institut für Didaktik der Chemie, Literatur, Dissertation, Tätigkeit als Berufsschullehrer)

Kategoriebildung zu den offenen Antworten (v\_31) nach induktiver Inhaltsanalyse:

- Selbststudium: 4x
- Lehrtätigkeit: 6x

## Modelle in der AG-Forschung

### **Beschäftigt sich Ihre Arbeitsgruppe in der Forschung mit verschiedenen Modellen (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modellexperimente)?**

v\_66: „Nein, meine Arbeitsgruppe beschäftigt sich in ihrer Forschung nicht mit Modellen.“

v\_67: „Ja, meine Arbeitsgruppe beschäftigt sich in ihrer Forschung theoretisch mit verschiedenen Modellen.“

v\_68: „Ja, meine Arbeitsgruppe beschäftigt sich in ihrer Forschung praktisch mit dem Einsatz verschiedener Modelle, indem sie z.B. Einsatzmöglichkeiten für den Schulalltag entwickelt und erprobt.“

v\_69: „Ja, meine Arbeitsgruppe beschäftigt sich in ihrer Forschung in folgender Weise mit verschiedenen Modellen.“

v\_70: offene Antworten

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf verschiedene Modelle in der AG-Forschung:

	V_66	V_67	V_68	V_69
Forschungsbezug	18 (32.1 %)	26 (46.4 %)	24 (42.9 %)	6 (10.7 %)

Zusammenfassung offenen Antworten: (v\_70)

- **Modellkonzept** zu zwischenmolekularen WW (Nr. 19)
- EIS-Spektroskopie: Randles Circuits, Elektrochemische Simulation (DigiElch)
- Teilweise in Masterarbeiten
- Seminare zu **konkreten und mentalen Modellen** im Chemieunterricht (Nr. 51)
- Wir forschen zu **Modellkompetenz** von Lehramtsstudierenden (Nr. 74)
- Wie angegeben keine eigene Arbeitsgruppe aber ja zu allen gefragten Modellen

### **Falls sich die Forschung in Ihrer Arbeitsgruppe mit verschiedenen Modellen beschäftigt, welche Aspekte werden dabei explizit beachtet?**

v\_71: „Die Eigenschaften von Modellen (Welche Beziehung besteht zwischen dem Modell und dem Original?)“

v\_72: „Alternative Modelle (Unterschiedliche Hypothesen bedürfen verschiedener Modelle)“

v\_73: „Der Zweck von Modellen (Modelle werden zur Beschreibung, Erklärung und Vorhersage von Phänomenen genutzt)“

v\_74: „Das Testen von Modellen (Abgleich von Modellaussagen mit Phänomenen)“

v\_75: „Ändern von Modellen (Wann kann das Modell nicht mehr verwendet werden? Wodurch müssen Modelle revidiert werden?)“

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf die Aspekte von Modellen in der AG-Forschung:

	V_71	V_72	V_73	V_74	V_75
Forschungsbezug	25 (44.6 %)	23 (41.1 %)	29 (51.8 %)	23 (41.1 %)	20 (35.7 %)

### **Beschäftigt sich Ihre Arbeitsgruppe in der Forschung mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen?**

v\_76: „Nein, meine Arbeitsgruppe beschäftigt sich in ihrer Forschung nicht mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen.“

v\_77: „Ja, meine Arbeitsgruppe beschäftigt sich in ihrer Forschung mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen, z.B. indem sie theoretische Grundlagenforschung dazu betreibt.“

v\_78: „Ja, meine Arbeitsgruppe beschäftigt sich in ihrer Forschung mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/innen, z.B. indem sie praktische Einsatzmöglichkeiten dazu erforscht.“

v\_79: „Ja, in folgender Form:“

v\_80: offene Antworten

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf die Förderung der Modellkompetenz in der AG-Forschung:

	V_76	V_77	V_78	V_79
Forschungsbezug	28 (50 %)	15 (26.8 %)	21 (37.5 %)	3 (5.4 %)

Zusammenfassung der offenen Antworten: (v\_80)

- wir diskutieren in Kursen und Seminaren die praktischen Einsatzmöglichkeiten
- Bachelor- bzw. Masterarbeiten, Dissertationen
- Modellreaktionen für Schule und Hochschule (didaktisch reduziert) und Fehlvorstellungen Studierender in der Organ. Chemie

### Modelle in der eigenen Forschung

### **Beschäftigen Sie sich in Ihrer eigenen fachdidaktischen Forschung mit verschiedenen Modellen (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modellexperimente)?**

v\_32: „Nein, ich beschäftige mich nicht mit Modellen.“

v\_33: „Ja, ich beschäftige mich in meiner Forschung theoretisch mit verschiedenen Modellen.“

v\_34: „Ja, ich beschäftige mich in meiner Forschung praktisch mit dem Einsatz verschiedener Modelle, indem ich z.B. Einsatzmöglichkeiten für den Schulalltag entwickle und erprobe.“

v\_36: „Ja, ich beschäftige mich in meiner Forschung in folgender Weise mit verschiedenen Modellen:“

v\_37: offene Antworten

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf die Verankerung verschiedener Modelle in der eigenen Forschung:

	V_32	V_33	V_34	V_36
Forschungsbezug	23 (41.1 %)	17 (30.4 %)	21 (37.5 %)	11 (19.6 %)

Zusammenfassung der offenen Antworten: (v\_37)

- Entwicklung eines Messinstruments zur Bewertung der Qualität von Anschauungsmodellen (Nr. 9)
- Modellkonzept zu zwischenmolekularen WW (Nr. 19)
- s.o. elektrochemische Modelle (Nr. 20)
- in meinen Kursen und Seminaren versuche ich das Thema Modelle vielschichtig und soweit es möglich und sinnvoll ist einzubauen (Nr. 23)
- Diagnose von Fehlvorstellungen im Bereich chemischer Modelle (Nr. 35)
- Untersuchung, wie diesbezüglich Gespräche von Lehrpersonen und Schüler\*innen ablaufen
- Bau von Kugelpackungen und Raumgittern zu Metall- und Salzstrukturen
- Druck von Molekülmodellen im Schülerexperiment (Nr. 66)
- Ich beschäftige mich mit den mentalen Modellen, die SuS während eines Problemlöseprozesses entwickeln. (Nr. 73)
- Wir forschen zur Modellkompetenz von Lehrpersonen (Nr. 74)
- Förderung der Ausbildung von Abstraktionsleistungen mit Hilfe von Modellen (Nr. 84)

**Falls Sie sich in Ihrer eigenen Forschung mit verschiedenen Modellen beschäftigen, welche Aspekte beachten Sie dabei explizit?**

v\_38: „Die Eigenschaften von Modellen (Welche Beziehung besteht zwischen dem Modell und dem Original?)“

v\_39: „Alternative Modelle (Unterschiedliche Hypothesen bedürfen verschiedener Modelle)“

v\_40: „Der Zweck von Modellen (Modelle werden zur Beschreibung, Erklärung und Vorhersage von Phänomenen genutzt)“

v\_41: „Das Testen von Modellen (Abgleich von Modellaussagen mit Phänomenen)“

v\_50: „Ändern von Modellen (Wann kann das Modell nicht mehr verwendet werden? Wodurch müssen Modelle revidiert werden?)“

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf die Aspekte von Modellen in der eigenen Forschung:

	V_38	V_39	V_40	V_41	V_50
Forschungsbezug	24 (42.9 %)	17 (30.4 %)	26 (46.4 %)	18 (32.1 %)	16 (28.6 %)

## Beschäftigen Sie sich in Ihrer eigenen Forschung mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen?

v\_44: „Nein, ich beschäftige mich in meiner eigenen Forschung nicht mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen.“

v\_45: „Ja, ich beschäftige mich in meiner eigenen Forschung mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen, indem ich theoretische Grundlagenforschung dazu betreibe.“

v\_46: „Ja, ich beschäftige mich in meiner eigenen Forschung mit der Förderung der Modellkompetenz von Schüler/-innen, indem ich praktische Einsatzmöglichkeiten dazu erforsche.“

v\_48: „Ja, in folgender Form:“

v\_49: offene Antworten

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf die Förderung der Modellkompetenz in der eigenen Forschung:

	V_44	V_45	V_46	V_48
Forschungsbezug	33 (58.9 %)	9 (16.1 %)	16 (28.6 %)	4 (7.1 %)

Zusammenfassung der offenen Antworten: (v\_49)

- im Rahmen der Hochschuldidaktik (Modellvorstellungen bei Studierenden)
- Untersuchung, wie diesbezüglich Gespräche von Lehrpersonen und Schüler\*innen ablaufen
- Interpretation chemischer Reaktionssymbole auf der Teilchenebene (Submicro level nach Johnstone)
- siehe vorherige Seite???

## Modelle im eigenen Chemieunterricht

### Setzen Sie selbst verschiedene Modelle (z.B. Teilchenmodelle, Molekülbaukästen, Modellexperimente) in Ihrem Chemieunterricht ein?

v\_108: „Nein, ich setze keine Modelle in meinem Unterricht ein.“

v\_109: „Ja, ich setze theoretische Modelle im Unterricht ein (z.B. Teilchenmodelle).“

v\_110: „Ja, ich setze Anschauungsmodelle im Unterricht ein (z.B. Molekülbaukästen).“

v\_124: „Ja, ich setze Denkmodelle im Unterricht ein (z.B. gedankliche Vorstellungen zu chemischen Gesetzmäßigkeiten wie etwa dem Massenerhaltungssatz), um Vorhersagen zu treffen und zu überprüfen.“

v\_123: „Ja, ich setze Modellexperimente im Unterricht ein (z.B. Stechheber-Experiment).“

v\_111: „Ja, ich setze Modelle folgendermaßen in meinem Unterricht ein:“

v\_112: offene Antworten

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf die Verankerung verschiedener Modelle im Chemieunterricht:

	V_108	V_109	V_110	V_124	V_123	V_111
Praxisbezug	0 (0 %)	40 (95.2 %)	40 (95.2 %)	36 (85.7 %)	34 (81 %)	10 (23.8 %)

## Zusammenfassung der offenen Antworten: (v\_112)

- 3D-Modelle zu Reaktionsprozessen oder zur Verdeutlichung chemischer Konzepte
- Zum Lernen über Modelle, nicht nur mit Modellen
- Blackbox-Modell zur Herleitung des Modellbegriffs
- Digitale Modelle
- Theaterpädagogik, z.B. bei Aggregatzustandsänderungen Klasse 8 (SuS selbst als Teilchen und Klasse als Stoff)
- Bezugnehmend auf Alltagserfahrungen, die als Modell dienen können.
- Stop Motion, Video...
- Digitale Animationen z. B. 3D Kugelwolkenmodell
- Computersimulation Odyssey
- Im Sinne der Erkenntnisgewinnung: auf der Grundlage der auf Stoffebene beobachtbaren Phänomene sollen die SuS eine Modellvorstellung (Modellebene) entwickeln, die wo immer möglich mit haptischen oder Denkmodellen gestützt wird

## Falls Sie Modelle in Ihrem Chemieunterricht einsetzen, auf welche Aspekte gehen Sie dabei explizit ein?

v\_113: „Die Eigenschaften von Modellen (Welche Beziehung besteht zwischen dem Modell und dem Original?)“

v\_114: „Alternative Modelle (Unterschiedliche Hypothesen bedürfen verschiedener Modelle)“

v\_115: „Der Zweck von Modellen (Modelle werden zur Beschreibung, Erklärung und Vorhersage von Phänomenen genutzt)“

v\_116: „Das Testen von Modellen (Abgleich von Modellaussagen mit Phänomenen)“

v\_117: „Ändern von Modellen (Wann kann das Modell nicht mehr verwendet werden? Wodurch müssen Modelle revidiert werden?)“

## Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf die Aspekte von Modellen im Chemieunterricht:

	V_113	V_114	V_115	V_116	V_117
Praxisbezug	37 (88.1 %)	21 (50 %)	40 (95.2 %)	30 (71.4 %)	29 (69 %)

## Fördern Sie in Ihrem Chemieunterricht aktiv die Modellkompetenz von Schüler/-innen?

v\_118: „Nein, ich fördere die Modellkompetenz der Schüler/-innen nicht aktiv in meinem Chemieunterricht.“

v\_119: „Ja, ich fördere die Modellkompetenz der Schüler/-innen zusammen mit chemischen Fachinhalten.“

v\_120: „Ja, ich fördere die Modellkompetenz der Schüler/-innen in einer Methodeneinheit losgelöst von der Vermittlung von Fachinhalten.“

v\_121: „Ja, in folgender Form:“

v\_122: offene Antworten

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf die Verankerung verschiedener Modelle im Chemieunterricht:

	V_118	V_119	V_120	V_124	V_121
Praxisbezug	2 (4.8 %)	39 (92.9 %)	8 (19 %)	1 (2.4 %)	2 (4.8 %)

Zusammenfassung der offenen Antworten: (v\_122)

- **3D-Modelle** zu Reaktionsprozessen oder zur Verdeutlichung chemischer Konzepte (Nr. 6)
- Zum Lernen über Modelle, nicht nur mit Modellen (Nr. 37)
- **Blackbox-Modell** zur Herleitung des Modellbegriffs (Nr. 54)
- Digitale Modelle (Nr. 58)
- Theaterpädagogik, z.B. bei Aggregatzustandsänderungen Klasse 8 (SuS selbst als Teilchen und Klasse als Stoff)
- Bezugnehmend auf Alltagserfahrungen, die als Modell dienen können.
- Stop Motion, Video...
- Digitale Animationen z. B. 3D Kugelwolkenmodell
- Computersimulation Odyssey
- Im Sinne der Erkenntnisgewinnung: auf der Grundlage der auf Stoffebene beobachtbaren Phänomene sollen die SuS eine **Modellvorstellung** (Modellebene) entwickeln, die wo immer möglich mit haptischen oder Denkmodellen gestützt wird (Nr. 99)

## Assoziationen mit der Modellkompetenz

### **Welche Aspekte assoziieren Sie mit einer ausgeprägten Modellkompetenz von Schüler/-innen in der Chemie?**

Auswertung: Zusammenfassung der offenen Antworten (v\_81)

Forschungsorientierte Beziehung	Praxisorientierte Beziehung
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelle als Werkzeug für die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung und zur Erklärung von Phänomenen nutzen</li> <li>- Reflexion/Beurteilung von Modellen (z.B. welche Einschränkungen weist ein Modell auf?)</li> <li>- Modelle entwerfen/weiterentwickeln und testen</li> <li>- Verständnis zu Potentialen und Grenzen verschiedener Modelle; sichere Nutzung verschiedener Modelle zur Erklärung von Phänomenen/Experimenten etc.; Entwurf eigener Modelle/Modellvorstellung; kritische Modellbetrachtung; Übertragung verschiedener Aspekte von Modellen</li> <li>- Transfer von Erkenntnissen vom Modell zum Phänomen (und umgekehrt). Modellkritik (Umgang mit Fehlvorstellungen, Limitierungen etc.), Bau von Modellen, Kenntnisse über die Arten von Modellen (siehe Gropengießer et al. 2020: Fachdidaktik Biologie)</li> <li>- ausgeprägtes Modellverständnis = Modelle nicht als Kopie der Wirklichkeit, sondern als konstruiertes Element zur Erkenntnisgewinnung, das bestimmte Aspekte fokussiert</li> <li>- bewusster und aktiver Wechsel zwischen Modellebene, makroskopischer Ebene und Symbolebene</li> <li>- Kenntnis verschiedener Modelle und Grenzen von den jeweiligen Modellen --&gt; zielgerichtete Auswahl des richtigen Modells zur Erklärung eines Sachverhalts</li> <li>- Mittel der Erkenntnisgewinnung Eigenschaften von Modellen, Grenzen und Alternativen Modellbildung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wissen, dass Modelle Repräsentationen der Wirklichkeit sind, die immer nur ausgewählte Merkmale repräsentieren. Wissen, dass Modelle im Zuge neuer Fragestellungen vielfach der Veränderung, Verfeinerung bedürfen</li> <li>- Wissen, dass wir alle je nach Situation im Alltag und im beruflichem Kontext Modelle unterschiedlichster Komplexität nutzen, z.T. für dasselbe makroskopische Phänomen</li> <li>- Teilchenmodelle Veranschaulichung durch Argumentationen auf Teilchenebene Modellkritik</li> <li>- Erklärungen Beschreibungen Analogien</li> <li>- Vereinfachung Faktoren, Stellgrößen Anschaulichkeit Grenzen</li> <li>- Vereinfachung Faktoren, Stellgrößen Anschaulichkeit Grenzen</li> <li>- Definition eines Modells und begrenzter Bezug zur Realität. Vergleichen von Modellen.</li> <li>- Anwendung Verständnis Erkenntnisgewinnung</li> <li>- -kritische Reflexion - Grenzen des Modells</li> <li>- Plastische Vorstellung von molekularen Mechanismen Modellare Erklärung bestimmter Phänomene bei grosstecischen synthesen im industriellen Massstab</li> <li>- tieferes Verständnis, Anschaulichkeit, Nature of science, Wissenschaftspropädeutik</li> <li>- Schüler/- innen sollen im Fachchemie Modelle anwenden, reflektieren, selbst herstellen und erläutern können</li> <li>- Definition des Begriffs Modells, Anwenden von Modellen, Grenzen von Modellen</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modellverständnis: Definitionen des Modellbegriffs (wissenschaftlich, naturwissenschaftlich, alltäglich), tentativer Charakter von Modellen, Zweck von Modellen, Alternative Modelle, Grenzen von Modellen: zwischen Realität und Modell sowie zwischen Anschauungsmodell und Theorie Modellwissen: Wissen über spezifische Modelle und ihre Eigenschaften, deklaratives Wissen Modellarbeit: Anwenden des Modells „Modellmethode“, Modellbildung, Modellierung (Nr. 9)</li> <li>- Abstraktionsfähigkeit Grenzen eines Modells kennen Erweiterbarkeit der Modelle Wechsel zwischen Modellen</li> <li>- Die SuS kennen Grenzen der Modelle. Die SuS nutzen Modelle, um Phänomene zu erläutern.</li> <li>- visuelles Vorstellungsvermögen, Verständnis des Teilchenkonzepts, Verständnis der submikroskopischen Ebene</li> <li>- Differenzierung und kritisches Denken in Bezug mit Modellen, Vorteile und Nachteile von Modellen abschätzen etc., Nutzen von Modellen, Erstellen von Modellen, Verschriftsprachlichen von Modellen, Wechsel der Darstellungsformen</li> <li>- Erklärungen als hypothetisches Menschenwerk zu durchschauen</li> <li>- Modelle als vom Menschen erdachtes Werkzeug verstehen und nutzen können Modellentwicklung verstehen und nutzen können (auch im historischen Kontext) Divergenzen einordnen können (Vor- und Nachteile coexistierender Modelle) Unterscheidung von Beobachtung und Schlussfolgerung (Nr. 18)</li> <li>- Herstellungs- und Anwendungsperspektive Modellkompetenzteilkompetenzen (Die 5, die Sie zuvor als Aspekte abgefragt haben.)</li> <li>- Nature of science Dient dem wissenschaftlicher Erkenntnisprozess Modellvorstellungen als Ausprägungen/Abstufungen Übergeordnete Konzepte verstehen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- - SuS erkennen, dass Modelle Vorstellungen von realen Erscheinungen repräsentieren und die als relevant eingestuft Kriterien/Merkmale in einer angenommenen Relation zueinander zeigen - SuS können Modellkritik üben (Grenzen/Vorzeigen/Nachteile etc. des Modells aufweisen) - SuS entwickeln eigenständig Modelle bzw. erweitern bestehende Modelle</li> <li>- richtige Anwendung von Modellen Bewusstsein, dass Modelle nicht der Realität entsprechen</li> <li>- Fähigkeit Analogien zu bilden; Modelle zu nutzen, um Fragestellungen zu beantworten, Wissen zu erweitern, Zusammenhänge zu bilden und daraus weitere Theorien ableiten</li> <li>- Modellwissen Modellarbeit Modellverständnis</li> <li>- - selbstständiges Problemlösen mit Hilfe von Modellen - Erklären von Phänomenen bei Reaktionen</li> <li>- Fähigkeit, Modelle zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn nutzen Fähigkeit, Modelle auf verschiedene Phänomene/Sachverhalte anzuwenden und eigene Modellvorstellungen zu entwickeln Fähigkeit, Zweck-/Sinnhaftigkeit von Modellen zu reflektieren/beurteilen</li> <li>- Kritikfähigkeit bestehender Modelle und (Modell)experimente Kennenlernen möglichst vieler unterschiedlicher Modelle und Modellstufen Entwicklungsstufe und Modellprogression Einsatz zwei- und dreidimensionaler Modelle</li> <li>- Kenntnis der Ähnlichkeitsrelation zwischen Modell und Objekt, Modellvorstellung anhand von Experimentdeutungen, Revision bzw. Modifikation der Modellvorstellung,</li> <li>- Flexibilität im Denken, Kritikfähigkeit, Erkennen der Grenzen von Aussagen, Fortschritt/Veränderung in den Naturwissenschaften</li> </ul>
---	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abstraktion von Inhalten</li> <li>- bildliches Vorstellungsvermögen gute Anwendungsfähigkeiten sprachliches Asu-drucksvermögen</li> <li>- 99: Ausgeprägte Modellkompetenz ist (na-türlich) nicht vorhanden, muss schrittweise erworben werden, muss immer wieder the-matisiert werden, sonst werden die Vorteile der Modellmethode vergessen und diese Methode zur Erkenntnisgewinnung nicht mehr gewinnbringend genutzt; bei langer Abstinenz auch wachsende Gefahr von Fehlvorstellungen (z.B.: Natriumatome sind rot - die Kugeln des Packungsmodells sind ja schließlich auch rot gewesen).</li> <li>- besseres Verstehen verschiedener Sachver-halte Schüler*innen können Lösungen bzw. Lösungsansätze in verschiedenen Situ-ationen generieren</li> <li>- Leistungen und Grenzen von Modellen</li> <li>- -99: Entwicklung der Modellkompetenz über die Jahrgangsstufen hinweg (von einfa-chen Teilchenmodellen bis hin zu komple-xeren Modellen, z.B. Kern-Hülle-Modellen) Fehlvorstellungen der SuS zu Modellen: Die Modelle, die SuS während der Unterrichts-jahre kennenlernen, werden i.d.R. sukzes-sive erweitert - es besteht allerdings die Ge-fahr, dass SuS diese Modelle nicht erwei-tern, sondern Hybridvorstellungen zweier Modelle entwickeln oder zwei unterschiedli-che Modelle nicht voneinander trennen kön-nen.</li> <li>- Verstehen und differenziertes Anwenden von chemietyptischen Modellen. Bspw. sprachliche Trennung / Differenzierung der Repräsentationsebenen, wie z.B. phäno-menologische Beobachtung und Betrachtung auf Teilchen- /Modellebene. Potentiale aber insbesondere die Grenzen des Modells sollten bekannt sein, also das Modelle eine rekonstruierte Repräsentation eines nicht wahrnehmbaren Prozesses sind. (Nr. 31)</li> <li>- Bewusstheit von Grenzen und Limitationen von Modellen Bewusstheit über Wandel-barkeit von Modellen Bewusstheit bei der Wahl bzw. Anwendung von Modellen zur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modellelemente erkennen und benennen/be-schreiben, Analogiebildung (Modell <math>\leftrightarrow</math> Rea-lität), Modelle/Modellvorstellungen für Fra-gstellungen nutzen, Weiterentwicklung von Modellvorstellungen (z.B. durch Aufzeigen von Modellgrenzen), Stärken und Schwächen von Modellvorstellungen nennen und erläu-tern, Modelle/Modellvorstellungen klassifi-zieren/ einordnen</li> <li>- . Abstraktion bildliche Vorstellungskraft</li> <li>- - Anwendung auf bestimmte Sachverhalte - Grenzen von Modellen - Denkhilfen/Vorstel-lungshilfen - Vermittlung spezifischer Fachinformationen - Grenzen und Weiterver-arbeitung</li> <li>- Die SuS sind in der Lage, je nach Zusammen-hang das richtige Atommodell zu verwenden (Dalton, Bohr, ...) Die SuS sind in der Lage, Grenzen eines Modells zu erkennen und zu erklären. Die SuS sind ind der Lage, für ge-gebene Sachverhalte Modelle zu entwickeln und/oder anzuwenden</li> <li>- Verständnisförderung, Veranschaulichung, er-höhtes Abstraktionsvermögen, Weiterent-wicklungsmöglichkeit</li> <li>- Modellexperimente entwerfen, auf Basis von Hypothesen Struktur-Eigenschaftsbeziehun-gen erkennen oder ableiten Sachgerechter Umgang mit Teilchenmodellen Kompetenter Umgang mit Sachmodellen, z.B. erkennen, dass farbliche Kennzeichnungen keine Dar-stellung der Realität sind ... etc.</li> <li>- - Weckung von Interesse, Bezügen zur All-tagswelt und deshalb auch Wichtigkeit chemi-scher Fragestellungen. - Schaffung von Selbstvertrauen (Ach, das kenne ich ja schon so/so ähnlich von ...) - Kritischer Vergleich (War es wirklich genau wie ...? Welche As-pekte stimmen nicht?)</li> <li>- Grenzen von Modellen, Leistungen eines be-stimmten Modells, klare Trennung von Stoff- und Teilchenebene</li> <li>- Veranschaulichung Verständnis Basis für ei-gene Hypothesen</li> <li>- Vorstellungskraft Erklären auf der Teilchen-ebene spielerisches Entdecken (Molekülbau-kasten)</li> </ul>
---	--

<p>Erklärung von Sachverhalten / Phänomenen (Nr. 32)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- können Modelle von Theorien und Gesetzen/Regeln unterscheiden - kennen verschiedene Modelle und deren (historische) Entstehungsbedingungen - haben Meta-Wissen über Modelle (z.B. ikonische vs. haptische oder simulations- vs. erklärungs-Modelle) - denken kritisch über die Realismus-Frage nach (Nr. 33)</li> <li>- Erklärung/Erläuterung von Phänomenen unter Rückgriff auf etablierte Modelle Modelle beschreiben, Modelle vergleichen, Modelle kritisch diskutieren, passendes Modell zum Phänomen auswählen Modellierungs-bezogene Kompetenzen: Grenzen, Einsatzmöglichkeiten, Abgrenzung verschiedener Modelle</li> <li>- Beziehung Modell - Realität beschreiben können Modelle für Erklärungen nutzen können Modelle für Vorhersagen nutzen können Eingeschränkte Anwendbarkeit und Grenzen der Modelle kennen einfache Modelle selbst entwickeln, diskutieren, vergleichen können</li> <li>- Verständnis und Vorstellung von chemischen Vorgängen und Zusammenhängen</li> <li>- - Wissen um verschiedene Modelle - Abwägung, welches Modell am besten zum Abstrahieren geeignet ist - Selbstständige Anwendung der Modelle</li> <li>- -hohes Selbstwertgefühl der Lernenden, um ggf. als Minderheit die Aussage vor der Mehrheit zu treffen, dass ein Modell mit Blick auf dessen Absicht nicht aussagekräftig ist. -Reflexionsvermögen von Modellen mit Blick auf die Realität - Modell ungleich Realität</li> <li>- Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Stoffen herleiten können</li> <li>- -99: Kognitive Schwierigkeiten, Sprachschwierigkeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grenzen von Modellen erkennen</li> <li>- Hypothesenbildung, Theorieentwicklung, Kontext</li> <li>- - Wissen, was Modelle sind - Modelle zielgerichtet herstellen (bspw. auf Grundlage eines Originals) - Modelle zielgerichtet nutzen (Erkenntnisgewinn) - Grenzen von Modellen bewerten können</li> <li>- Fähigkeit eigene Modellvorstellungen zu entwickeln, Grenzen von Modellen erkennen, Modelle bilden nicht die Realität ab, Verstehen des Stoffteilchenmodells (Bildungsplan BW) als Basis für das Verständnis der Chemie</li> </ul>
---	---

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfolgreiche Entwicklung mentaler Modelle aus gezeigten oder selbst gebauten Modellen zur Struktur der Materie Erfolgreiche Interpretation chemischer Reaktionen auf der Teilchenebene (Beteiligung von Atomen, Ionen oder Molekülen) Erkennen und Korrigieren von Laborjargon-Aussagen (Nr. 51)</li> <li>- Johnstone Triangle Modellkritik Modellierung Die Anpassung von Modellen an die Forschungsaktualität; Modellgrenzen, Artefakte.</li> <li>- Die Schüler/-innen sind in der Lage, naturwissenschaftliche Phänomene unter der Nutzung adäquater Modelle zu erläutern und den Modelleinsatz kritisch zu reflektieren (Grenzen, etc.).</li> <li>- SuS kennen Modellkritik Modell ist Abbild der Realität oder eines gedanklichen Konstrukts mit dem Zweck etwas darüber in Erfahrung zu bringen Modelle haben Grenzen und können nicht alles erklären</li> <li>- SuS nutzen Modelle zur Erklärung von Beobachtungen oder zur Hypothesenbildung SuS kennen die Grenzen der verwendeten Modelle SuS wissen, wann sie mit einem Modell arbeiten, welches ggf. in der Zukunft revidiert oder erweitert werden kann (Nr. 64)</li> <li>- Wissen über Modelle und Ihren Einsatz in den Naturwissenschaften Wissen über die Geschichte zur Entstehung der Modellvorstellung Wissen über die Kritik bzw. Grenzen von Modellen Wissen über Fehlvorstellungen von Modellen Wissen über Visualisierung von Modellen</li> <li>- Nutzung von verschiedenen Modellen zu unterschiedlichen Zwecken Modellkritik (Nr. 66)</li> <li>- wissen, was für was steht wissen, wo die Grenzen des Modells sind wissen, wie man das Modell anwenden kann</li> <li>- Wechsel zwischen Darstellungsebenen Bewertung von Modellen Wechsel zwischen Modellen, je nach Anwendungssituation</li> </ul>	
---	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>- - Unterscheidung zwischen sichtbarem Phänomen und der Beschreibung mithilfe eines Modells - Unterscheidung zwischen Anschauungsmodellen (Molekülbaukästen usw.) und theoretischen (Denk-)Modellen (Atommodell usw.) - Verständnis des Modells als vereinfachte Abbildung der Realität - Verständnis für die Notwendigkeit/Vorhandensein verschiedener Modelle (je nach Einsatzzweck und wissenschaftlichem Kenntnisstand) - Grenzen von Modellen beschreiben können - Vor- und Nachteile verschiedener Modelle in Bezug auf einen bestimmten Einsatzzweck beurteilen/diskutieren können</li> <li>- Kompetenz zur Auseinandersetzung mit Frage von Modell und Wirklichkeit Kompetenz zur Klärung der Möglichkeiten und Grenzen verschiedener Modelle (vom Denkmodell zum Realmodell) Kompetenz zur Nutzung jeweils geeigneter Modelle zum Klären unterschiedlicher Problemstellungen (Nr. 74)</li> <li>- Fähigkeit zwischen verschiedenen Modellen zu wechseln Übertragung von Eigenschaften/Beschaffenheit von Molekülen etc. auf Teilchenebene</li> <li>- - Fragenbildung und -orientierung - Rückkopplung von Daten und Modellrevision - Prädiktion von Sachverhalten - mechanistische/kausale Erklärungen (Nr. 78)</li> <li>- Modelle dienen der Kommunikation über das nicht Sichtbare. Sie erfordern eine ausgeprägte Abstraktionsfähigkeit, räumliches Vorstellungsvermögen und eine sichere Einstellung gegenüber der Begrenztheit von Modellen per se. (Nr.84)</li> <li>- Grenzen von Modellen (Kritische Reflexion von Modellen), Erkenntnisgewinnung durch Modelle, Nutzung von eingeführten Modellen, Erstellung eigener Modelle</li> <li>- Begründung von Hypothesen anhand von geeigneten Modellen</li> </ul>	
---	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>- von Phänomenbeobachtungen Modelle selbst entwickeln, verschiedene Modelle mit anderen Schüler/innen diskutieren, Stärken und Schwächen aufzeigen, Modelle nutzen um Voraussagen/ Hypothesen aufzustellen, zwischen verschiedenen Modellen effektiv auswählen um Phänomene zu erklären, Modelle intuitiv nutzen aber auch Grenzen diskutieren und kritisch hinterfragen, offen für selbst entwickelte Modelle anderer Schüler/innen sein und diese mit Hinsicht ihrer Stärken nachvollziehen</li> <li>- Fachwissen, Visualisierung</li> <li>- Erkennen von Eigenschaften, Zweck, Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen von Modellen sowie die Wahl geeigneter Modelle zur Klärung von Fragen und Problemen im chemischen Kontext und die Kompetenz geeignete Erkenntnisse aus den Modell abzuleiten.</li> <li>- Reflektionsfähigkeit, das Kennen von Grenzen aber auch stärken verschiedener Modelle Bewusstsein der Vorläufigkeit wissenschaftlicher Erkenntnis Modelle als Teil des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges</li> <li>- Die Relative Darstellungskraft von Modellen, Kontextabhängigkeit und Veränderbarkeit</li> </ul>	
--	--

## Bewertung der Modellkompetenz

**Bitte geben Sie an, wie sehr die folgenden Aussagen Ihrer Meinung nach zutreffen.**

v\_82: „Für mich persönlich trifft diese Definition der Modellkompetenz genau so auch für die Chemie zu.“

v\_83: „Ich persönlich sehe eine ausgeprägte Modellkompetenz der Schüler/-innen entsprechend der oben genannten Definition als sehr wichtig für die Chemie an.“

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf die Bewertung der Modellkompetenz, getrennt nach den unterschiedlichen Bezügen:

	Gültige Werte	Fehlend	Mittelwert	Std.-Abweichung	Varianz	Min	Max
<i>„Für mich persönlich trifft diese Definition der Modellkompetenz genau so auch für die Chemie zu.“</i>							
Forschungsbezug	56	0	3.21	.89	.79	0	4
Praxisbezug	42	0	3.57	.74	.54	0	4
Gesamt	98	0	3.37	.84	.71	0	4
<i>„Ich persönlich sehe eine ausgeprägte Modellkompetenz der Schüler/-innen entsprechend der oben genannten Definition als sehr wichtig für die Chemie an.“</i>							
Forschungsbezug	56	0	3.30	.91	.83	0	4
Praxisbezug	42	0	3.52	.83	.70	0	4
Gesamt	98	0	3.40	.88	.78	0	4

## Kompetenzdimensionen der Modellkompetenz

### **Welche der genannten Aspekte lassen sich Ihrer Meinung nach auf die Modellkompetenz in der Chemie anwenden?**

Zusammenfassung der offenen Antworten (v\_140)

Forschungsorientierte Beziehung	Praxisorientierte Beziehung
<ul style="list-style-type: none"><li>- Im Prinzip lassen sich alle genannten Aspekte auf die Modellkompetenz in der Chemie anwenden.</li><li>- Alle</li><li>- Alle (Nr. 9)</li><li>- - Alternative Modelle - Zweck von Modellen - Ändern von Modellen</li><li>- alle Aspekte können auf die Modellkompetenz der Chemie angewendet werden Testen von Modellen in der Schule schwierig</li><li>- alle</li><li>- Kenntnisse über Modelle: Verständnis und Unterscheidung verschiedener Atommodelle Modellbildung: Wissen darüber, welches Phänomen ein Modell abbildet/wofür das Modell steht und auch, wo die Grenzen des Modells sind. Damit zusammenhängend Kenntnis über ergänzende Modelle oder über mögliche Veränderungen des Modells</li><li>- alle genannten Aspekte</li><li>- Alle lassen sich anwenden (und sind wichtig). Einschränkung: Das Original ist nicht direkt beobachtbar (Nr. 18)</li><li>- alle aus dem Video</li><li>- Die Kenntnisse über Modelle sollten auch in der Modellkompetenz der Chemie angewendet werden. Bei der Modellbildung ist es bis zu einer gewissen Klassenstufe vielleicht auch noch sinnvoll den Zweck von Modellen zu kennen und anzuwenden. Jedoch halte ich das Testen und Ändern von Modellen für sehr weitgehend.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- alle konzeptuellen und prozeduralen Aspekte der Definition lassen sich auf die Chemie sehr gut anwenden</li><li>- Alle</li><li>- - Eigenschaften - Alternativen - Zweck - Testen - Ändern</li><li>- Zweck von Modellen Ändern von Modellen Alternative von Modellen</li><li>- bis auf Ändern von Modellen, alle</li><li>- Modelle aus verschiedenen Perspektiven untersuchen Überprüfung von Hypothesen Abgleich von realer Wirklichkeit und Modell</li><li>- Eigenschaften, Alternativen,</li><li>- Alle Aspekte lassen sich in der Chemie anwenden</li><li>- im Prinzip alle genannten Aspekte - je nach Thema in der Chemie mit unterschiedlichem Schwerpunkt (z. B. Atommodell: alternative Modelle)</li><li>- Alle Aspekte lassen sich auf die Chemie Übertragen. Das Testen von Modellen ist allerdings eher zweitrangig, da meist keine eigenen Modelle gebildet werden.</li><li>- Alle Aspekte, die zu Kenntnissen über Modelle gehören und auch zur Modellbildung</li><li>- Weiterentwicklung von Modellen (vgl. Atombau) Modellierungszyklus (z.B. Modellexperimente) Zweck von Modellen (z.B. submikroskopische Teilchenebene)</li><li>- - Zweck von Modellen - Testen von Modellen</li><li>- Alle prozeduralen Kompetenzen, im Wesentlichen auch (da allgemein gehalten) auch die konzeptuellen Kompetenzen.</li></ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eigenschaften von Modellen, Testen von Modellen,</li> <li>- Alle, da Modellkenntnis grundlegend für die Arbeit mit Modellen ist und Modellbildung eine besonders hohe Form der Kompetenzbildung ist, für die das sichere Anwenden von Modellen grundlegend ist.</li> <li>- Zum Erkenntnisgewinn sind Modelle unbedingt nötig und nützlich (z.B. Atommodelle, Modelle technologischer Apparaturen usw.). Es bedarf unbedingt mehrerer Modelle, um verschiedene Seiten einer Erscheinung darstellen zu können. Die Weiterentwicklung von Modellen ist zwar nötig, wird aber nur historisch gesehen (z.B. Entwicklung des Atommodells), Modelle werden aber SELBER nicht weiterentwickelt.</li> <li>- Zweck von Modellen Testen von Modellen Ändern von Modellen (Nr. 25)</li> <li>- 1-4 für Chemie, in der Schule spielt das Ändern von Modellen praktisch keine Rolle.</li> <li>- Kenntnisse über Modelle sehr wichtig, um auch Modelle voneinander und von der Realität unterscheiden zu können. Modellbildung i.S. eines zyklischen Prozesses ist evtl. weniger wichtig für die Chemie, da SuS i.d.R. vorgefertigte Modelle nutzen, als diese selbst zu entwickeln. Für einen historisch-problemorientierten Chemieunterricht können allerdings auch dort Modellvorstellungen von den SuS selbst im Sinne eines Zyklus entwickelt werden, wird m. E. allerdings eher selten gemacht</li> <li>- Je nach Argumentation können und werden bestimmte Aspekte bereits häufig im Chemieunterricht angewendet. (Nr. 31)</li> <li>- In meinen Augen lassen sich alle genannten Aspekte auch in der Chemie anwenden bzw. thematisieren. (Nr. 32)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ich persönlich finde, dass alle Aspekte verwendet werden und auch werden müssen. Vor allem durch den spiralcurricularen Aufbau des Bildungsplans wird die prozedurale Modellbildung gefördert und gefordert, dies sieht man am Teilchenmodell (Konkretisierung der Teilchen in Ionengruppen, Moleküle, Salze etc.) und auch im Atombau (Rosenkuchenmodell, Bohr und im LK das Orbitalmodell).</li> <li>- Ich verstehe die Frage nicht. Es gibt sehr viele Aspekte, aber welche sind gemeint? Ich habe das Video zweimal angesehen, es wurden viele Dinge gesagt, aber es fand keine Einteilung in Aspekte statt... Es wäre hilfreich, die angedachten Aspekte explizit zu nennen, denn sonst sind wir bei dem Spiel Wer errät meine Gedanken?</li> <li>- Eigenschaften von Modellen, Zweck von Modellen, Testen von Modellen, Ändern von Modellen</li> <li>- Prinzipiell erst einmal alle, allerdings mit Ergänzungen.</li> <li>- Grundsätzlich alle. Es ist nur die Frage, inwieweit man sie alle mit Schüler*innen ausarbeiten kann.</li> <li>- Bis auf den Abgleich zwischen Modell und Wirklichkeit (Eigenschaften von Modellen) lassen sich alle Aspekte auch gute in der Chemie anwenden.</li> <li>- Alle, kommt auf die Klassenstufe an, im Anfangsunterricht konzeptionelle Modelle bis hin zu alternativen Modellen mit zunehmender Klassenstufe etwa ab 7 auch die prozedurale Modellbildung - das Ändern von Modellen etwa ab kl 10</li> <li>- Gründe für die Veränderung von Modellen (z. B. hist. Entwicklung der Atomvorstellung) Kenntnisse über Modelle (Fachwissen) Auswertung von Experimenten (z. B. Volumenverminderung bei EtOH / Wasser - Gemisch)</li> <li>- Eigenschaften von Modellen Testen von Modellen</li> <li>- Kenntnisse über Modelle Eigenschaften von Modellen, Zweck von Modellen, Überprüfung von Hypothesen,</li> </ul>
--	---

<ul style="list-style-type: none"> <li>- - Eigenschaften von Modellen kommt vor, wenn über Farben von Atomen und Ionen, haptische Stäbe in einem Salzmodell etc. reflektiert wird - Alternative Modelle werden m.M.n. viel zu wenig diskutiert; der Durchlauf der Atommodelle findet sich schon in jedem Buch, aber warum die Verfeinerungen nötig sind, wird kaum vermittelt (ist mein Eindruck) - in der Chemie geht es kaum um Kausalzusammenhänge! (Zweck), auch werden in Experimenten wohl kaum Modelle getestet oder konstruiert... - das Testen weist in die gleiche Richtung -&gt; wie soll das Atommodell getestet werden im Unterricht? es wäre denkbar zwei alternative Reaktionsverläufe zu testen - aber eine Strukturaufklärung der Produkte an der Schule auch nicht leistbar... - Ändern von Modellen geht in Richtung meines Kommentar zu den Alternativen (Nr. 33)</li> <li>- Alle fünf im Sinne einer ganzheitlichen Modell- und Modellierungskompetenz.</li> <li>- - Eigenschaften von Modellen - Auswahl von Modellen - Zweck von Modellen</li> <li>- Alle fünf Aspekte.</li> <li>- Zustimmung zu den genannten Aussagen auch für das Fach Chemie (Nr. 51)</li> <li>- Eigenschaften von Modellen Alternative Modelle (hier aber stark Themenabhängig) Zweck von Modellen Testen von Modellen Ändern von Modellen</li> <li>- Eigenschaften von Modellen Alternative Modelle Zweck von Modellen Ändern von Modellen</li> <li>- Alle Aspekte (gewisse Einschränkungen, siehe nächste Frage *) (Nr. 64)</li> <li>- Erkenntnisgewinnung Generieren von Hypothesen Ändern von Modellen</li> <li>- Eigenschaften von Modellen Alternative Modelle Zweck von Modellen Ändern von Modellen (Nr. 66)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- - Eigenschaften von Modellen - Alternative Modelle - Zweck von Modellen - Testen von Modellen - Ändern von Modellen</li> <li>- konzeptuelle Modellbildung muss im Anfangsunterricht angelegt werden (Basis); prozedurale Modellbildungskompetenzen sind unabdingbar notwendig (von Beginn an fördern)</li> </ul>
---	---

- Prinzipiell natürlich alle. Doch ich möchte den Blick auf die wichtigste Modellierung der Chemie richten: die Chemiker\*innen springen ständig auf die submikroskopische Ebene und damit zu Objekten, die unseren Sinnen nicht zugänglich sind. (Seitenbemerkung: Achtung, Sie haben einen Tippfehler im Video: Unzugänglichkeiten statt Unzulänglichkeiten.) Die unzugänglichen Ausgangsobjekte, die Sie hier unbeabsichtigt hineinziehen, sind in der Chemie so bedeutungsvoll. Durch das chemische Dreieck verbunden sind die beobachtbare Welt der Phänomene und die submikroskopische Welt der Atome, die zur Deutung der Phänomene herangezogen wird (irgendwie schon Modellbildung erster Art, wenn man Atome als reines Modell betrachtet, das für Weltbeschreibung nützlich ist, und sie nicht als reale Objekte sieht). Die Elemente der submikroskopischen Welt, Atome, Ionen, Moleküle, Elektronen, Elektronenpaare, ... werden wiederum durch Modelle beschrieben. Allerdings fehlt hier die Möglichkeit, das Modell mit dem Objekt zu vergleichen, da wir bisher maximal die Daltonschen Kugeln in Spezialmikroskopen sehen können. Wir können allerdings die Fähigkeit der Modelle vergleichen, valide Vorhersagen zu ermöglichen bzw. Phänomene zu erklären. Damit ist fraglich, wie die Schüler\*innen für den wichtigen Fall Atommodelle ein gutes Verständnis für den Zusammenhang von Modellen mit den realen Objekten erwerben können (von Atommodellen mit Atomen? Oder doch von Atommodellen mit beobachtbaren Stoffen oder gar chemischen Reaktionen? Aber versuchen Sie das durchzuziehen ...). Bei den einfachen Modellen für chemische Bindungen mit farbigen Kugeln und Stäbchen, mit Legosteinen, usw. ist für die Lehrperson wichtig, die Grenzen zu kennen, vermitteln zu können, dass es hier um die Anordnung der Teilchen zueinander geht und nicht um die Eigenschaften der Teilchen selbst.

-

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kenntnisse über Modelle ist ganz wichtig -&gt; Eigenschaften von Modellen, Alternative Modelle Auch Zweck von Modellen ist wichtig (z.B. Modellexperimente), Testen und Ändern von Modellen finde ich auch wichtig -&gt; eigentlich alles</li> <li>- Die beschriebenen Kompetenzdimensionen würden sich so wie dargestellt auch in Bezug auf die Modellkompetenz in der Chemie anwenden lassen.</li> <li>- Im Grundsatz können alle Aspekte auf die Chemie angewendet werden, sofern nicht mehr von einem Ausgangsobjekt gesprochen wird. Diese Einschränkung hat aber weitreichende Folgen, die ja nach Auslegung dazu führt, dass der Ansatz grundsätzlich hinterfragt werden muss. (Nr. 74)</li> <li>- Eigenschaften von Modellen Alternative Modelle Zweck von Modellen Ändern von Modellen</li> <li>- Die prozedurale Facette lässt sich vergleichsweise gut in der Chemie anwenden. (Nr. 78)</li> <li>- Eigenschaften von Modellen, Grenzen der Modelle und Modellwechsel</li> <li>- Es herrscht hohe Übereinstimmung. Allerdings ist der Modellbegriff und die Modellierung in der Biologie nicht unbedingt dasselbe wie in der Chemie. Modelle in der Biologie beziehen sich auch auf die Darstellung von durchaus auch sichtbaren Gegebenheiten (Modell zum Blütendiagramm, M. zur Darstellung des Bestäubungsmechanismus) (Nr. 84)</li> <li>- Gerade in Bezug auf die Entwicklung vom Teilchenmodell bis hin zum Orbitalmodell ist die prozedurale Modellentwicklung relevant. Hier sollte auch thematisiert werden, wieso verschiedene Modelle verworfen werden.</li> <li>- Meiner Meinung nach sind alle genannten Aspekte auch relevant für die Chemie.</li> <li>- Alle eignen sich</li> </ul>	<p style="text-align: center;">-</p>
--	--------------------------------------

### Kategoriebildung zu den offenen Antworten (v\_140) nach deduktiver Inhaltsanalyse:

	Eigen- schaften von Modellen	Alternative Modelle	Zweck von Modellen	Testen von Modellen	Ändern von Modellen	alle	fehlend
Forschungs- bezug	9 (16.1 %)	10 (17.9 %)	10 (17.9 %)	7 (12.5 %)	9 (16.1 %)	36 (64.3 %)	4
Praxisbezug	5 (11.9 %)	5 (11.9 %)	5 (11.9 %)	5 (11.9 %)	3 (7.1 %)	22 (52.4 %)	9
Gesamt	<b>14</b> <b>(14.3 %)</b>	<b>15</b> <b>(15.3 %)</b>	<b>15</b> <b>(15.3 %)</b>	<b>12</b> <b>(12.3 %)</b>	<b>12</b> <b>(12.3 %)</b>	<b>58</b> <b>(59.2 %)</b>	<b>13</b>

### Welche Aspekte würden Sie für eine bessere Anwendbarkeit auf die Modellkompetenz in der Chemie abändern, ergänzen oder weglassen?

#### Zusammenfassung der offenen Antworten (v\_141)

Forschungsorientierte Beziehung	Praxisorientierte Beziehung
<ul style="list-style-type: none"> <li>- keinen; aber Fokus auf Grenzen von Modellen (z.B. verschiedene Teilchenmodelle) in der Chemie besonders wichtig, da diese sub-mikroskopische Ebene für SuS kaum fassbar ist</li> <li>- Erweiterung: Modellkritik (was können Modelle abbilden, was nicht? Wozu dienen Modelle konkret? Verknüpfung mit Sachverhalten.)</li> <li>- Grad der Ähnlichkeit zwischen Ausgangsobjekt und Modell: In der Chemie sind Modelle zu Phänomenen anders zu betrachten als in der Biologie. In der Biologie hat man nahezu immer Modelle von etwas real existierendem. In der Chemie stellen Modelle Erklärungsansätze dar, um Phänomene für die entsprechende Zielgruppe logisch greifbar zu machen. Zweck von Modellen: Es fehlt der Punkt der Kommunikation von wissenschaftlichen Erkenntnissen in der Community (betrifft vorwiegend Denkmodelle) (Nr. 9)</li> <li>- - Testen von Modellen nur begrenzt möglich - je nach Modell (weglassen) - Eigenschaften von Modellen (schwer zu definieren, auch wieder je nach Modell)</li> <li>- In der Chemie erfolgt das Testen von Modellen auch mit fragen an die Natur. Für</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Testen von Modellen weglassen</li> <li>- Ändern von Modellen</li> <li>- Für eine gute Modellkompetenz müssen die SuS meiner Meinung alle Aspekte kennen und anwenden können.</li> <li>- Ich würde das Testen von Modellen weglassen und die alternativen Modelle eher in eine Rangfolge bzgl. der Ausführlichkeit der verschiedenen Modelle bringen und damit nicht generell alternative Modelle unterscheiden, sondern die benötigte Ausführlichkeit der verschiedenen Modelle.</li> <li>- Den Aspekt Ändern von Modellen würde ich in eine Erweiterung der Modelle abändern, da Modelle in der Chemie nicht verändert werden, sondern lediglich erweitert. Durch eine Veränderung würden die SuS denken, dass es das ursprüngliche Modell in seiner alten Form nicht mehr gibt, wenn man sagt dass es verändert wurde.</li> <li>- alle Aspekte sind wichtig Modellkompetenz sollte spiralcurricular angebahnt werden</li> <li>- - alternative Modelle: zu viele Modellen verwirren SuS -&gt; Weglassen - Ändern von Modellen: Gut als Differenzierung für stärkere SuS geeignet</li> <li>- alternative Modelle eher im Hintergrund, ansonsten stärker Reflexions- und</li> </ul>

<p>spezifische Zwecke gibt es eigene Modelle, die andere Aspekte, die zur Zeit nicht wichtig sind, didaktisch vereinfachen. Modelle sollten immer möglichst fachlich korrekt sein, so dass auch beim Modellwechsel Überschneidungen zu einem alten Modell existieren. Das Modell wird entweder in den unpassenden Aspekten geändert/erweitert oder der Fokus wird verschoben.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grenzen der eignen Wahrnehmung konstruktivistisch thematisieren (erkenntnistheoretischer Fokus)</li> </ul> <p>Rolle von Messinstrumenten für die Übersetzungsleistung (von nicht wahrnehmbar zu wahrnehmbar) häufiger thematisieren (Nr. 18)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alternative Modelle, Zweck von Modellen, Gründe von Modellen</li> <li>- weglassen keines, aber in Stufen aufteilen. Modellkenntnis ist die Grundlage und muss thematisiert sein. Modellbildung kann schrittweise eingesstreut werden.</li> <li>- grundsätzlich gar keine</li> <li>- Eigenschaften von Modellen Alternative Modelle</li> <li>- Ändern von Modellen streichen</li> <li>- Kenntnis über Modelle: hinzugefügt werden kann dass es verschiedene Typen von Modellen gibt (z.B. Unterscheidung theoretisch vs. gegenständliche Modelle)</li> <li>- es fehlt als Übertrag aus dem schriftlichen Zitat die Bereitschaft, also motivationale Aspekte -&gt; diese finde ich aber sinnvoll weggelassen, sehe ich eher als ein allgemeines Thema für den CU, das sich nicht speziell auf Modelle beziehen lässt - meiner Meinung nach sollte das chemiespezifische - und also von Physik und Biologie unterscheidende - stärker herausgearbeitet werden (die Autor*innen kommen ja aus der Biologie...) -&gt;&gt; das könnte z.B. sein, dass im CU vor allem der erklärende Zweck eingesetzt wird. (Nr. 33)</li> <li>- Bezüge zur Begriffsbildung bzw. naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung</li> <li>- Eine Einführung in die Atommodelle in der Sekundarstufe II kann und soll alle diese</li> </ul>	<p>Problemlösestrategien in prozedurale Kompetenzen einfließen lassen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Testen ist wichtig, aber schwierig (sehr umfangreich) zu realisieren</li> <li>- Ich würde sie lediglich auf den Chemieunterricht konkretisieren und durch Anwendung mathematischer Modelle in anschaulicher Form (etwa Orbitalmodell und dergleichen) ergänzen. Hier ist es besonders wichtig Herauszuarbeiten, dass solche Modelle nicht die Wirklichkeit selbst wiedergeben.</li> <li>- Mehr Fokus auf die prozedurale Modellbildung --&gt; aber hier dann wirklich spiralcurricular und Rückgriff (bewusst) auf die vorherigen Modelle, wo liegen die Grenzen - was kann ich nicht mehr erklären etc. Gerade bei Atommodellen hilft es die Chemie an sich zu begreifen.</li> <li>- Ich kann die Frage nicht beantworten, da ich nicht weiß, welche Aspekte gemeint sind.</li> <li>- Der Grad der Ähnlichkeit von Modell und Realität sollte weniger im Mittelpunkt stehen, wenn die Unterschiede offensichtlich sind. Ansonsten sollte er verstärkt angesprochen werden.</li> <li>- Im Zusammenhang mit der Kenntnisse über Modelle würde ich den Begriff der alternativen Modellen im chemischen Kontext mit dem Begriff des erweiterten Modells ergänzen, bzw. den Gültigkeitsbereich einer Modellvorstellung/eines Modells thematisieren: So sind z.B. die Säure-Base-Konzepte von Arrhenius, Brönsted und Lewis in der Reihenfolge als erweiterte Modelle zu betrachten Im Zusammenhang mit einer Modellbildung (prozedural) halte ich den Aspekt der modellhaften Fokussierung auf wesentliche Merkmale/Aspekte eines Sachverhalts für wesentlich.</li> <li>- Wie gesagt, meistens gebe ich Modelle vor und lasse die Schüler*innen am Ende nur die vor- und Nachteile solcher Modelle diskutieren.</li> <li>- Abgleich zwischen Modell und Wirklichkeit (Eigenschaften von Modellen)</li> <li>- konzeptionale Modelle könnte man auch ganz weglassen</li> </ul>
--	---

<p>Aspekte umfassen. Was überhaupt ein Modell ist, wie es sich zu einem Ausgangsobjekt verhält (wobei hier betont werden sollte, dass die Ausgangsobjekte für uns nicht greifbar sind), wie die Forscher*innen auf die Modelle gekommen sind, wozu sie jeweils nützlich sind, wo Grenzen sind, was mit welchem Atommodell gut beschreibbar und vorhersagbar ist. Das kann auch geübt, an Beispielen demonstriert und auch abgeprüft werden. Schwierig ist, die Schüler*innen an Hand von Atommodellen selbst zu Modellbildungen hinzuführen, das kann ich mir dabei nicht gut vorstellen. Da dies aber auch wichtig ist, könnten von Schülergruppen in anderen, leichter zugänglichen Bereichen Modelle selbst gebildet/gebaut werden: Ein Modell für das System Sonne-Erde-Mond, mit dem man die Mondphasen erklären kann (ist halt Physik, führt aber zu interessanten Schülermodellen und Diskussionen). Ein Modell eines Wassermoleküls, mit dem erklärbar ist, dass das Wassermolekül sich wie ein Dipol verhält. Das Modell eines Moleküls eines Emulgators, mit dem erklärbar ist, dass dieser Stoff dabei hilft, dass feine Öltröpfchen im Wasser emulgiert bleiben.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diese Frage überfordert mich etwas :)</li> <li>- ändern nicht so wichtig</li> <li>- Ergänzen: Strukturmodelle zum Verständnis der Chemie nicht nur zeigen, sondern eigenständig von Lernenden bauen lassen. (Nr. 51)</li> <li>- Es fehlen die irrelevanten Zutaten beim Bau von Modellen, z.B. Stützstäbe in einem Ionen-gitter.</li> <li>- Die Eigenschaften von Modellen sind nur schwierig zu fassen, da für viele Phänomene eben kein Realbild existiert (z. B. ist die echte Natur von Atome nicht bekannt). Dementsprechend kann das in der Chemie nur im reduzierten Blickwinkel thematisiert werden. Die Verwendbarkeit von alternativen Modellen eröffnet in der Chemie insbesondere die Fragestellung Wie mächtig muss das Atommodell sein, um Phänomen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prinzipiell passen die Dimensionen so wie sie sind, ihre Anwendbarkeit hängt meiner Meinung nach von der angestrebten Schwerpunktsetzung im Unterricht ab (abhängig von Lerngruppe und Lernstand, gesetzte Ziele, usw.).</li> <li>- Ändern von Modellen</li> <li>- stärkerer Fokus auf die Kompetenz der Entwicklung eigener Modellvorstellungen (Individualisierung notwendig)</li> <li>-</li> </ul>
--	--

<p>XY zu erklären? , was immer wieder die Möglichkeit bietet Modelle im CU zu thematisieren. (Nr. 64)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine i.O</li> <li>- Testen von Modellen (Nr. 66)</li> <li>- Testen von Modellen finde ich nicht ganz so wichtig Unterteilung von Modellen in z.B. haptische Modelle, gedankliche Modelle, aber auch Teilchenmodelle, Modellexperiment</li> <li>- Die Beschreibung betrachtet nicht die unbewusste Bildung mentaler Modelle beim Betrachten eines Phänomens oder der Auseinandersetzung mit einer Problemsituation. Dies wird, meiner Erinnerung nach, im Arbeitskreis von Prof. Upmeyer zu Belzen als mentale Repräsentation bezeichnet.</li> <li>- In der Chemie (und je nach Bereich auch in der Biologie) ist der Begriff des Ausgangsobjektes, der dem Modell gegenübergestellt wird nicht zulässig. In der Chemie ist auf atomarer Ebene das Ausgangsobjekt nicht bekannt. Wir kennen nur Modelle der Atome. (Nr. 74)</li> <li>- Die Facette Wissen über Modelle ist erkenntnistheoretisch schwierig für die Arbeit mit kleinsten Teilchen zu rechtfertigen und bedarf einer Überarbeitung für die Chemie. - &gt; In der Chemie gibt es kein Original (im Sinne von Atomen und Molekülen), das zum Vergleich neben das Modell auf den Tisch gelegt werden kann. (Nr. 78)</li> <li>- Modellwechsel, Fehlvorstellungen von SuS zum Modell</li> <li>- Alternative Modelle sollten nur angeführt werden, wenn sie genutzt und in einem Sachverhalt angewendet werden.</li> <li>- Die Abgleichung von Modell zu Original scheint mir gerade bei Atomodellen nicht so relevant, da es ja das Original so gesehen kaum gibt, sondern zweckgebunden und zwangsläufig immer nur ein Aspekt beleuchtet wird. Dementsprechend würde ich mich in der Chemie stärker auf die Zweckgebundenheit, aber dann auch die ganz praktische Arbeit mit Modellen zur Erkenntnisgewinnung und Verbesserung des</li> </ul>	
--	--

Verständnisses der Prozesse auf molekularer Ebene konzentrieren. - Ändern/Anpassen von Modellen -	
---	--

Kategoriebildung der offenen Antworten (v\_141) zum Ändern der Kompetenzdimensionen, nach induktiver Inhaltsanalyse:

	Eigen-schaften von Modellen	Alternative Modelle	Zweck von Modellen	Testen von Modellen	Ändern von Modellen	keine	fehlend
Forschungs-bezug	11 (19.6 %)	5 (8.9 %)	3 (5.4 %)	6 (10.7 %)	3 (5.4 %)	18 (32.1 %)	4
Praxisbezug	3 (7.1 %)	3 (7.1 %)	0	1 (2.4 %)	4 (9.5 %)	16 (38.1 %)	9
<b>Gesamt</b>	<b>14 (14.3 %)</b>	<b>8 (8.2 %)</b>	<b>3 (3.1 %)</b>	<b>7 (7.1 %)</b>	<b>7 (7.1 %)</b>	<b>34 (34.7 %)</b>	<b>13</b>

Kategoriebildung der offenen Antworten (v\_141) zum Weglassen der Kompetenzdimensionen, nach deduktiver Inhaltsanalyse:

	Eigen-schaften von Modellen	Alternative Modelle	Zweck von Modellen	Testen von Modellen	Ändern von Modellen	keine	fehlend
Forschungs-bezug	0	0	0	0	1 (1.8 %)	18 (32.1 %)	4
Praxisbezug	1 (2.4 %)	2 (4.8 %)	0	2 (4.8 %)	0	16 (38.1 %)	9
<b>Gesamt</b>	<b>1 (1.0 %)</b>	<b>2 (2.0 %)</b>	<b>0</b>	<b>2 (2.0 %)</b>	<b>1 (1.0 %)</b>	<b>34 (34.7 %)</b>	<b>13</b>

Kategorien der weiteren offenen Antworten (v\_141) zum Weglassen der Kompetenzdimensionen, nach induktiver Inhaltsanalyse:

Forschungsorientierte Beziehung	Praxisorientierte Beziehung
<ul style="list-style-type: none"> <li>- + Modellkritik</li> <li>- + Zweck: Kommunikation in der Community</li> <li>- + Grenzen der Wahrnehmung, Rolle von Messinstrumenten</li> <li>- + Kenntnis: Typen von Modellen (2x)</li> <li>- Chemiespezifisches</li> <li>- Bezüge zur Begriffsbildung</li> <li>- Eigenständigkeit der SuS bei der Modellbildung</li> <li>- Eigenschaften: irrelevante Eigenschaften des Modells</li> <li>- Alternativen: Modellwechsel</li> <li>- Fehlvorstellungen</li> <li>- Ausgangsobjekt in der Chemie unbekannt (6x)</li> <li>- Beachten mentaler Repräsentationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- - Alternativen weniger wichtig</li> <li>- Ändern von Modellen zu Erweitern von Modellen umbenennen (2x)</li> <li>- Ändern als Differenzierungsmöglichkeit</li> <li>- + mathematische Modelle</li> <li>- Entwicklung eigener Modellvorstellungen fokussieren</li> </ul>

## Assoziationen mit Modellierungsprozessen

**Modellierungskreisläufe bieten sich an, um die Modellkompetenz von Schüler/-innen zu fördern. Diese Kreisläufe unterscheiden sich von Fach zu Fach. Welche Aspekte könnten Ihrer Meinung relevant sein für einen Modellierungskreislauf in der Chemie, um mit diesem Prozess die Modellkompetenz der Schüler/-innen zu fördern?**

Zusammenfassung der offenen Antworten (v\_90)

Forschungsorientierte Beziehung	Praxisorientierte Beziehung
<ul style="list-style-type: none"> <li>- - Abstraktion aus der Realität (relevante Elemente erkennen, Anforderungen an das Modell stellen) - Erstellung eines Modells - Testen des Modells und Ziehen von Schlussfolgerungen (d.h. in Hinblick auf Änderungen des Modells, je nach Passung)</li> <li>- 1. Eigenschaften von Modellen kennen lernen 2. Anwendbarkeit/Nutzen von Modellen erproben 3. Modellvergleiche durchführen 4. Notwendige Anpassungen erkennen und umsetzen 5. weiter mit 1. usw.</li> <li>- Im Modellierungskreislauf sollte auf jedenfall (aber nicht nur) enthalten sein: Reflexionsphase/Kritik, Überarbeitungsphase/Bau, Anwendung auf das Phänomen (Erkenntnisgewinnung), Recherche/Theorie</li> <li>- Phänomen-Beobachtung, Hypothesenbildung, (experimentelle) Überprüfung der Hypothesen (auch am Modell), Modellkritik: Abwägen von Grenzen, Abstraktionsgrad, redundanten Informationen des Modells, Anpassung der Hypothesen/des Modells, Aufzeigen alternativer Modelle, erneute Überprüfung des neu gewonnenen Modells etc. (Nr. 9)</li> <li>- - universelle Anwendbarkeit - Skalierbarkeit der Komplexität (z.B. Mittelstufe - Oberstufe)</li> <li>- Im Laufe des Chemieunterrichts werden häufig Modelle eingesetzt und deren Unzulänglichkeiten werden oft auch experimentell vorgeführt, was zu einer Anpassung / Änderung des Modells führt. In der Chemie sind vor allem die praktischen Aspekte besonders wichtig/besonders wertvoll.</li> <li>- Fragen zu Grenzen des Modells und Alternativen zum Modell</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ich würde es als wichtig erachten, Lernumgebungen zu gestalten, in denen sich ein Modell im ersten Schritt zur Deutung eines fachlichen Gegenstands eignet. Daran sollte sich ein zweiter fachlicher Gegenstand (z.B. ein Experiment) anschließen, der mit dem ersten Modell nicht erklärt werden kann, so dass Bedarf nach einem neuen Modell entsteht, das dann eingeführt wird und sich in einem weiteren Fall bewährt .</li> <li>- Immer sollte erkennbar sein, dass die Modelle in Chemie überwiegend nicht Abbilder der Realität sind. Bewertung von Modellen sollte in jeder Jahrgangsstufe an einigen Beispielen stattfinden können.</li> <li>- Übertragung Beobachtung und Modellvorstellung Grenzen des Modells erkennen Funktion des Modells klären</li> <li>- 1. Vorstellungen nennen/skizzieren lassen. 2. Vorstellungen und Nennungen diskutieren 3. pro contra identifizieren 4. Modelle vergleichen 5. Modelle gemäß neuer Beobachtungen ändern</li> <li>- Überblick schaffen Was soll modelliert werde Modellieren Modell prüfen</li> <li>- Untersuchung von real auftretenden Phänomenen und deren modellkompetenztechnische Herleitung/Untersuchung</li> <li>- alle verwendeten Modelle sollten anschlussfähig sein, kein Modell sollte komplett verworfen werden müssen, es erfolgen stetig Erweiterungsschritte wenn neue Phänomene nicht mehr erklärt werden können. die einfach Anfangsmodelle sollten auch später</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bedienung der unterschiedlichen Ebenen nach Johnstone</li> <li>- (erkenntnistheoretische) Reflexionsphasen häufiger einschleiben Historische Modellentwicklung als konkrete Beispiele thematisieren und reflektieren (Vorbeugung von Fehlkonzepten) und Modellierungskreisläufe damit konkretisieren (Nr. 18)</li> <li>- - und Herstellungsperspektive hin und zurück (Steinbuch) - Darstellen alternativer Modelle</li> <li>- kenne keine Modellierungskreisläufe</li> <li>- Immer wieder die gemachten Schritte zu reflektieren Mit Beispielen/Problemen aus der Schülerwelt arbeiten und diese dann auf die Theorie anwenden</li> <li>- Reales Modell, Vereinfachung, Erfassung des chemischen Modell, Lösen des chemischen Modells, Interpretation</li> <li>- Anwendbarkeit Lehrplanthema</li> <li>- Vom Original zum Modell zum Original zum Modell zum Original evtl. zum Modell 2 ...</li> <li>- - Verstehen des Sachverhalts - Strukturieren/ Vereinfachen - Vermutungen aufstellen - Untersuchen/Bauen/graphische Darstellung/Experimentieren - Ergebnisse interpretieren/ Verstehen (Nr. 25)</li> <li>- It. Chemie im Kontext, Interdependenzen zw. Kontexten, Fachkompetenzen und Basiskonzepten. Klare Gegenüberstellung von Phänomen und künstlichem Modell.</li> <li>- Die historische Einbettung, wie diese Modelle entwickelt wurden: Dies gibt den SuS tiefen Einblick, wie man früher schrittweise und mühsam Modelle (z.B. Teilchenmodelle) entwickelt hat, die den SuS nun einfach präsentiert werden. Dies zeigt den SuS auf, wie schwierig der Weg der Erkenntnisgewinnung war und zeigt außerdem, wie Forscher (früher wie heute) vorgehen, um Modelle zu entwickeln.</li> <li>- Die Lernenden können und sollten das Modell aktiv auf eine Situation zur Erklärung Modellierung eines Phänomens anwenden, bspw. beim Experimentieren. Im Nachgang ist das Modell in einer neuen Situation zu</li> </ul>	<p>immernoch eingesetzt werden, wenn sie mit ihren einfachen Annahmen ausreichend sind um Sachverhalte zu erklären oder Vorhersagen zu machen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vergleich Modell -Wirklich</li> <li>- ich bezweifle, dass bei ernsthafter fachlicher Betrachtung auch nur ein Modell wirklich für SuS verständlich ist - im Sinne von Zurückführung auf erste Prinzipien</li> <li>- Grundsätzlich ist ein stufenweises Erlernen und Vertiefung von Kompetenzen immer sinnvoll. Dies entspricht auch den drei Anforderungsniveaus der Bildungsstandards und muss stetig überprüft werden. Es ist aber beispielsweise schwierig den ersten Anforderungsbereich festzulegen. Welche Vorkenntnisse sind notwendig um den ersten Anforderungsbereich wirklich zu erreichen? Und wie kann mit einer größtmöglichen Validität überprüft werden, ob die Kompetenz nachhaltig erworben wurde?</li> <li>- Modell entwickeln zu einer Fragestellung <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modell auf Eignung überprüfen</li> <li>- aus Modell Vorhersagen ableiten</li> </ul> </li> <li>- Prozess modellieren; Atommodell wählen, das ausreicht für die Begründung; Begründung; Validierung, ob Begründung mit Hilfe des Atommodells ausreichend ist, ggf. Atommodell erweitern</li> <li>- Die generelle Darstellung der Verbindung der verschiedenen Modelle, der Zusammenhänge, um somit den SuS zu verdeutlichen, dass diese nicht unabhängig voneinander sind und dabei dann die verschiedenen Erweiterungen der Modelle betonen, ohne zu sagen, dass es ein Modell durch eine Ablösung durch ein weiteres nicht mehr gibt. Nur so kann ein Modellierungskreislauf dargestellt werden.</li> <li>- Generieren einer Forschungsfrage <ul style="list-style-type: none"> <li>Aufstellen einer modellgestützten Hypothese</li> <li>Experiment</li> <li>Beurteilung der Hypothese</li> <li>ggf. Revision</li> </ul> </li> <li>- - Von der Stoffebene auf die Teilchenebene wechseln -&gt; Kontinuität bei Versuchen</li> </ul>
--	--

<p>erproben. Abschließend ist der Modelleinsatz zu Reflektieren. Chemie bietet hier über viele Experimente die Möglichkeit die Modellkompetenz durch den aktiven Einsatz von Denk- und Arbeitsweisen zu fördern und den Bezugsbildung zwischen Realobjekt und Modell zu fördern. Alternativmodelle werden mit Einführung weiterer Atommodelle obligat (Nr. 31)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Historische Aspekte Blick auf technologische Entwicklungen, die neuartige Erkenntnisse über Teilchen, Stoffe, Reaktionen etc. ermöglichen Testen von (selbst entwickelten) Modellen mit Blick auf deren Funktionalität (Erklären und/oder Voraussagen von Phänomenen) (Nr. 32)</li> <li>- s. Kommentar zu vorherige Frage. ich versuche mal weiter meine Gedanken auszudrücken: es ist gut vorstellbar, dass so ein Kreislauf mit einem Atombaukasten oder ikonischen Modellen vollzogen wird. Ich frage mich aber, ob das nicht zu kurz greift und gewissermaßen auch ein falsches Metawissen aufbaut. Wenn die S*S diese Modelle entwickeln sollen, ist schon etwas gewonnen, also sie lernen etwas. Aber das wirklich spannende wäre doch, das Atommodell an sich, die Teilchenvorstellung als Modellvorstellung in einem Kreislauf verständlich zu machen. Dazu würde halt eine Kenntniss historischer Diskurse gehören. (Nr. 33)</li> <li>- In anlehnung an mathematischen Modellierungskreislauf nach Blum/Leiß: Übersetzung von Realsituation in Situationsmodell Vereinfachung/Strukturierung des Situationsmodells in ein reales Modell Darstellungswechsel/Übersetzungsprozesse zwischen Ebenen: Makroskopisch &lt;-&gt; Submikroskopisch &lt;-&gt; Symbolische Ebene &lt;-&gt; Makroskopische Ebene (vgl. Johnstone) Bewusstmachung von Prozessen innerhalb einer Darstellungsebene Validierung von Modellinterpretationen anhand der Realsituation bzw. des Situationsmodells</li> <li>- Der aus der Mathematik bekannte Modellierungskreislauf bietet sich in der Chemie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enaktive Etablierung des Modells (Molekülbaukasten, Kugeln oä)</li> <li>- Schüler eigene Vergleiche ziehen lassen --&gt; eigene Modellbildung</li> <li>- 1. Problem/Fragestellung/Phänomen</li> <li>2. Feststellen, dass Erklärung fehlt</li> <li>3. Idee zur Entwicklung eines Modells</li> <li>4. Aufbau des Modells</li> <li>5. Erklärung des Sachverhalts anhand des Modells</li> <li>6. Weiterentwicklung des Modells und wiederholtes Durchlaufen des Kreislaufs</li> <li>- Testen von Modellen mit SchülerInnen</li> <li>- Experiment zur Erkenntnisgewinnung, Modellvorstellung anhand von Experimentdeutungen, Revision bzw. Modifikation der Modellvorstellung</li> <li>- wissenschaftlicher Erkenntnisweg</li> <li>- Eigenschaften Zweck Ändern</li> <li>- - Atommodelle - Teilchenmodell</li> <li>- Ich kenne zwar viele Kreisläufe (Stickstoffkreislauf, Kohlenstoffkreislauf, ), aber was ist hier gemeint? Vielleicht so etwas: Problem - Modellfindung - Modellanwendung - Modellergebnis- Modellüberprüfung? Hier wäre eine exakte Fragestellung hilfreich, denn sonst sind wir bei einem Ratespiel...</li> <li>- Hypothesenbildung, eigene Modellentwicklung und Überprüfung, Übertragung auf die ursprüngliche Hypothese und Änderung dieser</li> <li>- Für die SuS erkennbar die Grenzen (der Anwendbarkeit) einer Modellierung aufzeigen bzw. mit den SuS erarbeiten. Beispiel: Salzsäure und Natriumchloridlösungen zeigen beide elektrische Leitfähigkeit, dennoch unterscheiden sich die Feststoffe HCl und NaCl in ihrem Aufbau (Molülgitter vs. Ionen-gitter) Bezüge von Fragestellungen und Modell deutlich aufzeigen. Stets anschlussfähige Modellvorstellungen diskutieren, um Paradigmenwechsel zu vermeiden.</li> <li>- Phänomen beobachten beschreiben - Vereinfachen, Fragestellung formulieren - Abstrahieren - bekannte Modelle auf Passung untersuchen - Regelmäßigkeiten / Zusammenhänge beschreiben - Phänomen erklären</li> </ul>
--	---

<p>meines Erachtens nicht als mögliche Hilfe an. Dazu sind die relevanten Modelle mit mathematischen Methoden aus der Schule nicht beherrschbar. Es geht eher um die Schritte: Frage klären, was das Modell können soll. Modell erstellen. Testen, ob das Modell die geforderte Erklärung/Vorhersage erbringen kann und keine Widersprüche auftreten. Verschiedene Modelle miteinander vergleichen. Modell annehmen oder weiterentwickeln. usw.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- -99: Ich verstehe die Frage nicht. :/</li> <li>- Modellgrenzen</li> <li>- Erkenntniswege</li> <li>- Interpretation chemischer Reaktionen durch Modelle zur Umgruppierung/Änderung von beteiligten Atomen, Ionen und Molekülen. (Nr. 51)</li> <li>- Grad der Abstraktion Anwendbarkeit bzw. Funktionalität Korrektur / Adaptation der Passung des Modells</li> <li>- Iteration.</li> <li>- Analyse von schülerbezogenen Präkonzepten zu bestimmten Modellvorstellungen (z.B. Teilchenmodell) stetige Erweiterung von bestehenden Modellvorstellungen, ohne die vorhergehenden komplett zu revidieren</li> <li>- Der kritische Punkt ist hier die Anleitung bzw. die Hilfestellungen für die SuS. Die Modellentwicklung ist ein schwieriger Prozess, der je nach Thema und Lernenden unterschiedlich stark angeleitet werden muss. Hier ist die Schwierigkeit vor allem eine gute Balance zu finden. (Nr. 64)</li> <li>- Prozess der Erkenntnisgewinnung</li> <li>- Ähnlich dem Forschungszyklus sollte ein Modell Aufgestellt, überprüft und bei Bedarf geändert werden. (Nr. 66)</li> <li>- Modell bilden, Modell anwenden, Modell ggf. ändern, Unzulänglichkeiten des Modells beschreiben</li> <li>- insbesondere die bewusste Reflexion des Modellierens, um den Prozess/Kreislauf und die Funktion seiner Schritte zu verstehen</li> <li>- Klare Unterscheidung zwischen Stoff- und Teilchenebene. Wobei Phänomene und</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modellentwurf --&gt; Modellbau--&gt; Test des Modells --&gt; Überarbeitung des Modells</li> <li>- Modell Atomaufbau- zunächst allgemein unterschiedliche Ladungen erklären - mögliche Anordnungen durchspielen Informationen über Anziehungs -Abstoßungskräfte - führen zur Bildung eines neuen Modells Wachsende Anzahl von Ladungen - neues Modell usw</li> <li>- systematisches Experimentieren - Beobachten von Gemeinsamkeiten - Regelformulierung / Modellbildung - mithilfe des Modells Hypothesen formulieren - Modell überprüfen - Modell ändern - wo es nicht mehr zutreffend ist</li> <li>- Johnstone Dreieck beachten</li> <li>- Testen der Grenzen von Modellen</li> <li>- - chemisches originales Phänomen und Modell: Wie komme ich zum Modell? - Was kann ich vom Modell auf das chemische originale Phänomen übertragen?</li> </ul> <p>umfassende und je nach Fragestellung fokussierte Beobachtung auf Stoffebene; Freiraum schaffen für eigene Denkmodelle, die den Zugang zur Erklärung des Phänomens auf Teilchenebene ermöglichen (Anlegen von tiefem Verständnis) - hier müssen individualisierte Unterstützungsmaßnahmen ergriffen werden, um jedem SuS die Überprüfung und Änderung des Denkmodells oder haptischen Modells zu ermöglichen</p>
---	--

<p>Beobachtungen auf der Stoffebene stattfinden, die Erklärungen aber häufig auf der Teilchenebene gemacht werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterscheiden sich Modellierungskreisläufe wirklich von Fach zu Fach? Unterscheiden sie sich nicht vielmehr von Lerngegenstand zu Lerngegenstand. Die Modellierungskompetenz zur Vorstellung von Atomen ist eine andere als z.B. die Modellierungskompetenz zum Verständnis von Emulsionen oder zum Prozess des Schlüssel-Schlossprinzips von Proteinen auf Zelloberflächen. Deshalb kann ich die Frage so nicht beantworten. (Nr. 74)</li> <li>- Die Übertragung von der Realität in das Modell.</li> <li>- Die zyklische Rückbindung an die zugrunde liegende Fragestellung scheint mir der wichtigste Aspekt bei Modellierungskreisläufen zu sein. (Nr. 78)</li> <li>- Eine möglichst kleinschrittige (Small Step-Teaching, SST) Kopplung von Phänomenbeschreibung und abstrakter Einzelteilbetrachtung. Wichtig ist auch die Einsicht in die Begrenztheit eines jeweiligen Modells. Ziel sollte es sein, in der Chemie, möglichst viele Modellvorstellungen zu beherrschen, die dann sinngemäß und anspruchsgerecht einzusetzen sind. Dabei spielt eine sichere Modellkritik eine unverzichtbare Rolle. (Nr. 84)</li> <li>- Idealisierung der realen Situation durch ein Modell --&gt; Testung des Modells --&gt; (ggf. Optimierung) des Modells --&gt; Prüfung des Zusammenhangs (der Passung) von Modell und Wirklichkeit</li> <li>- Rückbezug auf alte Modelle zur Überprüfung ob neues Modell geeignet</li> <li>- Phänomen beobachten --&gt; Modell entwickeln --&gt; Modell nutzen um Voraussage über neues Phänomen zu treffen --&gt; Experiment durchführen --&gt; Modell verifizieren oder falsifizieren --&gt; Modell verändern (wenn nötig) Wichtig ist, dass der Prozess für verschiedene Schülerinnen und Schüler nicht unbedingt in dieser linearen Art und Weise abläuft. Zum Beispiel können Schülerinnen und Schüler schon beim voraussagen</li> </ul>	
--	--

<p>eines neuen Phänomens erkennen, dass ihr Modell verändert werden muss. Ich sehe Reflexion bezüglich des Prozesses und Diskussion verschiedener Modelle von verschiedenen Schülern als sehr wichtig an.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erarbeitung und Definition eines Modells Definition der Grenzen Testen anhand der Vorhersagbarkeit experimenteller Beobachtungen Kritisches Hinterfragen und ggf. Erweitern des Modells</li> <li>- Zweck --&gt; Auswahl --&gt; Testen --&gt; Eigenschaften --&gt; Ändern --&gt; Reflexion zu Alternativen</li> <li>- Wie bereits eben erwähnt fließen neue Aspekte in Bezug auf Atome und den atomaren Aufbau von Klassenstufe zu Klassenstufe mehr ein. Durch dieses spiralcurriculare Vorgehen lässt sich auch die Modellkompetenz immer weiter erweitern und fördern, da die Modellierungen auch zunehmend komplexer werden und auf Grenzen stoßen.</li> <li>- Eigenschaft von Modellen</li> </ul>	
--	--

Kategoriebildung der offenen Antworten (v\_90) zu den Assoziationen zu Modellierungskreisläufen, nach deduktiver Inhaltsanalyse:

	Alle wichtigen Aspekte der Definition benannt	Einige wichtign Aspekte der Definition benannt	keine oder unwichtige Aspekte benannt	Andere wichtige Aspekte benannt	fehlend
Forschungsbezug	2 (3.6 %)	16 (28.6 %)	6 (10.7 %)	21 (37.5 %)	10
Praxisbezug	1 (2.3 %)	12 (28.6 %)	8 (19.4 %)	11 (26.2 %)	10
<b>Gesamt</b>	<b>3</b> <b>(3.1 %)</b>	<b>28</b> <b>(28.6 %)</b>	<b>14</b> <b>(14.3 %)</b>	<b>32</b> <b>(32.7 %)</b>	<b>20</b>

## Übertragung von Modellierungen aus Bio und Ma (allgemein)

**Bei Modellierungsprozessen handelt es sich um einen iterativen Kreislauf, der aus der Herstellung, Anwendung und Überprüfung eines Modells besteht.**

*v\_91: „Modellierungsprozesse aus der Biologie lassen sich meiner Meinung nach gut auf die Chemie übertragen.“*

*v\_92: „Modellierungsprozesse aus der Mathematik lassen sich meiner Meinung nach gut auf die Chemie übertragen.“*

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf die Bewertung der Modellkompetenz, getrennt nach den unterschiedlichen Bezügen:

	Gültige Werte	Fehlend	Mittelwert	Std.-Abweichung	Varianz	Min	Max
<i>„Modellierungsprozesse aus der Biologie lassen sich meiner Meinung nach gut auf die Chemie übertragen.“</i>							
Forschungsbezug	56	0	2.79	1.07	1.15	0	4
Praxisbezug	42	0	2.93	.95	.89	0	4
Gesamt	98	0	2.85	1.02	1.04	0	4
<i>„Modellierungsprozesse aus der Mathematik lassen sich meiner Meinung nach gut auf die Chemie übertragen.“</i>							
Forschungsbezug	56	0	2.43	1.11	1.23	0	4
Praxisbezug	42	0	2.79	.95	.90	0	4
Gesamt	98	0	2.58	1.05	1.11	0	4

## Modellierung aus der Bio (speziell)

**Der gezeigte Modellierungsprozess aus der Biologie lässt sich meiner Meinung nach auf die Chemie übertragen.**

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf den Modellierungsprozess aus der Biologie, getrennt nach den unterschiedlichen Bezügen:

	Gültige Werte	Fehlend	Mittelwert	Std.-Abweichung	Varianz	Min	Max
Forschungsbezug	56	0	3.36	1.01	1.03	0	4
Praxisbezug	42	0	3.14	1.20	1.44	0	4
Gesamt	98	0	3.27	1.10	1.21	0	4

## Welche Aspekte des Modellierungsprozesses aus der Biologie...

v\_98: ... *passen Ihrer Meinung nach gut und können für die Chemie übernommen werden?*

Zusammenfassung der offenen Antworten (v\_98)

Forschungsorientierte Beziehung	Praxisorientierte Beziehung
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Experiment/Beobachtung, Phänomen/Daten, Vorüberlegungen, Modell, Hypothese</li> <li>- Orientierung an einem Experiment</li> <li>- Alle aus einer naturwissenschaftlichen Perspektive</li> <li>- Experiment --&gt; Ideen / Modelle</li> <li>- Für die meisten Inhalte in der Sek. 1 Chemie passt der Modellierungsprozess</li> <li>- Daten, Hypothese, stützen/falsifizieren, Vorüberlegung</li> <li>- Hypothesenbildung</li> <li>- Spiralkreislauf der Kenntnisentwicklung vom Original zum Modell zum Original zum Modell2...</li> <li>- Experiment/ Beobachtung, Phänomen/ Daten, Vorüberlegungen, Modell, Hypothese (Nr. 25)</li> <li>- Vom Modell auf Hypothese zu Daten</li> <li>- Der Ablauf. Vor allem auch der Ausgangspunkt. das Experiment.</li> <li>- Erkenntnisprozess ausgehend vom Phänomen zum Modell</li> <li>- -99</li> <li>- Modellbildung zur Genese und Überprüfung von Modellen (Nr. 51)</li> <li>- Experiment/Beobachtung, Phänomen/Daten, Modell, Hypothese</li> <li>- Experimentbasierte Datenerhebung und Überprüfung der Hypothese (Nr. 64)</li> <li>- Hypothesen</li> <li>- vom Experiment ausgehend ein Modell entwickeln</li> <li>- Da es nicht den Modellierungsprozess der Chemie gibt, kann dies so nicht beantwortet werden. Es gibt Fälle die 1:1 übertragbar sind. (74)</li> <li>- Fragestellung und Hypothesenbildung (Nr. 84)</li> <li>- alles außer unten stehendes</li> <li>- Hypothese durch Daten (Experimente) stützen oder falsifizieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Experiment/Beobachtung/Phänomen</li> <li>- Modelle zur Enzymatik, Reaktionsgeschwindigkeit, Le Chatelier</li> <li>- Modell entwickeln, um Hypothesen zu überprüfen</li> <li>- Experiment, Daten, Vorüberlegung, Hypothese</li> <li>- experimentelle Überprüfung einer modellgestützten Hypothese</li> <li>- Hypothesen stützen</li> <li>- Experiment und Phänomen, Vorüberlegungen, Bilden eines Modell, Verifikation/Falsifikation einer Hypothese</li> <li>- Kreislauf der Modellierung, Problem- und Hypothesenorientierung</li> <li>- Experiment, Hypothese</li> <li>- Der abgebildeten Prozess kann in einigen Punkten exakt so angewendet werden (z.B. Einführung Kern-Hülle-Modell)</li> <li>- Hypothesenüberprüfung</li> <li>- ich weiß immer noch nicht welche Aspekte gemeint sind. Aspekt der Beobachtung?</li> <li>- Experiment, Phänomen, Modell, Hypothesen, Vorüberlegungen</li> <li>- Experiment/Beobachtung liefert Daten/Phänomen</li> <li>- Verifizierung/Falsifizierung durch das Daten/Experiment</li> <li>- stützen oder falsifizieren von Hypothesen</li> <li>- wenn es ein geeignetes Experiment gibt passt da</li> <li>- Ausgangspunkt Experiment, Ableitung von Hypothesen, neues Experiment</li>   <li>- Alle: der oben gezeigte Modellierungsprozess ist nicht nur für die Biologie (!) - er stammte auch aus der Chemiedidaktik - aus diesem Grund ist diese Frage irrelevant . Der oben beschriebene Prozess geht auch ein Konzept von natural science</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- so wie gezeigt im Prinzip alle - es hängt aber ggf. vom konkreten Lerninhalt ab</li> <li>- Grundschemata okay, aber sollten ergänzt werden</li> <li>- Experiment, Daten, Hypothese, Modell</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Der gesamte Kreislauf, da dies wissenschaftliches Arbeiten bedeutet und ein Kernpunkt, wenn nicht der Hauptaspekt von naturwissenschaftlichem Unterricht ist.</li> <li>- Alle, das Vorgehen entspricht dem naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg, er bildet die Grundlage für die Aufklärung biologischer und chemischer Prozesse sowie für den Modellierungsprozess in beiden Naturwissenschaften</li> </ul>
--	--

Kategoriebildung der offenen Antworten (v\_98) zu passenden Aspekten aus dem Modellierungsprozess der Biologie, nach induktiver Inhaltsanalyse:

	Experiment	Hypothese	Kreislauf	Alle	fehlend
Forschungsbezug	6 (10.7 %)	6 (10.7 %)	3 (5.4 %)	33 (58.9 %)	9
Praxisbezug	8 (19.0 %)	5 (11.9 %)	4 (9.5 %)	14 (33.3 %)	12
Gesamt	14 (14.3 %)	11 (11.2 %)	7 (7.1 %)	47 (48.0 %)	21

## Welche Aspekte des Modellierungsprozesses aus der Biologie...

*v\_99: ... passen Ihrer Meinung nach nicht gut und sollten für die Chemie abgeändert oder weggelassen werden?*

Zusammenfassung der offenen Antworten (v\_99)

Forschungsorientierte Beziehung	Praxisorientierte Beziehung
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kreisschluss zwischen Hypothese und Daten sollte besser zwischen Hypothese und Experiment geschehen</li> <li>- Explizite Unterscheidung von Beobachtung und Schlussfolgerung, das Phänomen explizit benennen und in Beziehung zum Untersuchungsobjekt setzen (Nr. 18)</li> <li>- Es lässt sich nicht immer eine Beobachtung oder ein Experiment als Ausgangspunkt nutzen</li> <li>- kreative Entwicklung, Beeinflussung</li> <li>- Vorüberlegungen tauschen in Experiment</li> <li>- das wäre abhängig vom konkreten Beispiel</li> <li>- Echte Modellierungsprozesse finden in der Chemie im Unterricht kaum statt. Vgl. Bildungspläne, Rahmenlehrpläne, Bildungsstandards Chemie MSA</li> <li>- Kreative Entwicklung des Modells muss / sollte angeleitet und begleitet werden durch Hilfestellung (Nr. 31)</li> <li>- diesen Kreislauf finde ich sehr fragwürdig. ein Experiment/Beobachtung einfach an den Anfang zu setzen (- und was genau ist der Unterschied zum nächsten Kästchen?) -&gt; eine Vorannahme (Hypothese) muss an den Anfang, und dann gehen schon viele Theorien ein. (Nr. 33)</li> <li>- Die Vorüberlegungeb sollten schon früher passieren</li> <li>- Während der kreativen Entwicklung können weitere Aspekte ( untersch. Materialien etc.) hinzugenommen werden oder es müssen für die Absicht des Modells irrelevante Aspekte der Realität eliminiert werden.</li> <li>- Hypothese hat schon mit EXperiment zu tun</li> <li>- In der Biologie werden Modelle etwa von Auge und Ohr von sichtbaren Originalen entworfen - in der Chemie haben wir es mit unsichtbaren chemischen Strukturen zu tun. (Nr. 51)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- eventuell braucht es nicht immer ein Experiment</li> <li>- Vorüberlegungen (was ist das genau?)</li> <li>- der oben gezeigte Modellierungsprozess ist nicht nur für die Biologie (!) - er stammte auch aus der Chemiedidaktik - aus diesem Grund ist diese Frage irrelevant . Der oben beschriebene Prozess geht auch ein Konzept von natural science</li> <li>- evtl. wird nicht immer zuerst ein Experiment oder Phänomen benötigt</li> <li>- Differenzierung zwischen induktiver und deduktiver Vorgehensweise</li> <li>- Hypothesen falsifizieren: Eher in die Vorüberlegung reinpacken. Mit Modell nur belegen</li> <li>- in der Chemie sind die Modelle primär Experimente</li> <li>- kreative Entwicklung</li> <li>- Es gibt durchaus Fälle, wo aus dem Modell ein Verständnis eines chemischen Vorgangs abgeleitet wird (Stechheber) - dort funktioniert der dargestellte Prozess weniger</li> <li>- kreative Vorüberlegung</li> <li>- ich weiß immer noch nicht welche Aspekte gemeint sind. Aspekt der Beobachtung?</li> <li>- Vorüberlegung-&gt;Modell-&gt;Hypothese</li> <li>- Wie schon angedeutet würde ich die Verifizierung/Falsifizierung auf das Experiment, nicht auf die Daten beziehen.</li> <li>- Hypothesen sollten vor der Modellentwicklung stehen</li> <li>- nicht immer kann man in bestimmten Bereichen experimentieren</li> </ul> <p>11x keiner von 42 (42,3 %; gültige), 16 fehlende</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorüberlegungen</li> <li>- eigenständige Entwicklung eines Modells anhand der Vorüberlegungen (Nr. 64)</li> <li>- Modell kann auch schon bestehen und zur Erklärung eines beobachteten Phänomens genutzt werden</li> <li>- fortgesetzte Modelländerung (Nr. 84)</li> <li>- kreative Eigenentwicklung</li> <li>- Modelle an anderen Stelle zusätzlich ergänzen</li> <li>- ungewohnt sind die Vorüberlegungen, aber diese sind hilfreich.</li> </ul>	
---	--

Kategoriebildung der offenen Antworten (v\_99) zu unpassenden Aspekten aus dem Modellierungsprozess der Biologie, nach induktiver Inhaltsanalyse:

	Experiment	Hypothese	Vorüberlegungen	Kreative Entwicklung	Modelle	keiner	fehlend
Forschungsbezug	3 (5.4 %)	1 (1.8 %)	4 (7.1 %)	4 (7.1 %)	3 (5.4 %)	17 (30.4 %)	17
Praxisbezug	4 (9.5 %)	1 (2.4 %)	2 (4.8 %)	2 (4.8 %)	0	11 (26.2 %)	16
<b>Gesamt</b>	<b>7</b> <b>(7.1 %)</b>	<b>11</b> <b>(2.0 %)</b>	<b>6</b> <b>(6.1 %)</b>	<b>6</b> <b>(6.1 %)</b>	<b>3</b> <b>(3.1 %)</b>	<b>28</b> <b>(28.6 %)</b>	<b>21</b>

## Welche Aspekte des Modellierungsprozesses aus der Biologie...

*v\_100: ... müssten Ihrer Meinung nach ergänzt werden, damit das Schema einen Modellierungsprozess in der Chemie abbildet?*

Zusammenfassung der offenen Antworten (v\_100)

Forschungsorientierte Beziehung	Praxisorientierte Beziehung
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reflexion/Modellkritik (um Fehlvorstellungen entgegen zu wirken)</li> <li>- Wechsel zwischen den Darstellungsebenen bewusst machen</li> <li>- Modellkritik, Abgleich mit alternativen Modellen (Nr. 9)</li> <li>- Teilweise muss das Phänomen auf die Teilchenebene übertragen werden.</li> <li>- Johnstone Ebenen, Reproduzierbarkeit der Ergebnisse</li> <li>- erkenntnistheoretische Reflexionsphasen; den obigen Prozess explizit als Induktion benennen und in Beziehung zur Deduktion setzen --&gt; hier Induktionsproblem thematisieren (Nr. 18)</li> <li>- Mathematische Modelle / Physikalische Modelle (Randles Circuits), aber dasd ich nicht für die Schul- sondern die Hochschulausbildung wichtig. Letztere fällt in der Befragung unter den Tisch</li> <li>- Mathematische Inhalte</li> <li>- chemisches Phänomen, Modelle (reales Modell, chemisches Modell)</li> <li>- Experimentelle Phase</li> <li>- das wäre abhängig vom konkreten Beispiel</li> <li>- Wechsel zwischen einzelnen Darstellungsebenen (makro/submikro/symbolisch). In diesem Zug immer auch bewusstmachen, wann das Modell verlassen/betreten wird.</li> <li>- Bedeutung der submikroskopischen Ebene für Erklärungen und Vorhersagen in der Chemie</li> <li>- Erst nach Kenntnis chemischer Strukturen sind Lernende in der Lage, Hypothesen zu Modellen von chemischen Reaktionen zu entwerfen und Hypothesen zu prüfen (Nr. 51)</li> <li>- Anwendung sehr reduziert dargestellt, auf ikonische Modelle schlecht anwendbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- da die moderne Biologie sehr chemisch ist, vermutlich kein Aspekt. In der traditionellen Biologie gibt es die nicht wie in der Chemie die submikroskopische Ebene, insofern bestehen in der Chemie Modelle für Entitäten, die man nicht sieht.</li> <li>- Einbezug der Teilchen- und Stoffebene</li> <li>- Betrachtung auf Teilchenebene</li> <li>- Abgleich mit anderen bekannten Phänomenen der Physik/Chemie</li> <li>- im Schaubild klar machen, dass kein komplett neues Modell benötigt wird, sondern häufig nur eine Erweiterung um neue Aspekte</li> <li>- der oben gezeigte Modellierungsprozess ist nicht nur für die Biologie (!) - er stammte auch aus der Chemiedidaktik - aus diesem Grund ist diese Frage irrelevant . Der oben beschriebene Prozess geht auch ein Konzept von natural science</li> <li>- Ableiten von weiteren Hypothesen und gg.falls Weiterentwicklung des Modells (Modellkritik)</li> <li>- Begründung der Hypothese</li> <li>- Abgleich mit bereits vorhandenen Modellen, Theorien usw.</li> <li>- Einbindung in problemorientiertes Vorgehen (Experimentelle Methode, forschend-entwickelndes Unterrichtsverfahren)</li> <li>- ggf. genauere Anweisungen für ein Experiment</li> <li>- historischer Bestand an Modellen</li> <li>- kommt auf das Experiment an, evtl. noch Fehlerquellen etc.</li> <li>- das ist mir zu unklar. ich verstehe nicht, worauf die Frage hinausläuft...</li> <li>- Auf Basis eines grundlegenden Teilchenmodells werden Hypothesen abgeleitet, die zu einem erweiterten Modell führen</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Während der kreativen Entwicklung können weitere Aspekte ( untersch. Materialien etc.) hinzugenommen werden oder es müssen für die Absicht des Modells irrelevante Aspekte der Realität eliminiert werden.</li> <li>- Experiment</li> <li>- Bildung von Theorien</li> <li>- Die praktische Überprüfung mit Hilfe eines/mehrerer Experiments/e zwischen Modell und Hypothese (Nr. 66)</li> <li>- Vergleich von Modellen/Reflexion von Modellen</li> <li>- Mathematische Modelle wie Reaktionsgleichungen starten oft nicht mit einem Phänomen, sondern sind in erster Linie Gedankenexperimente, die in Gedankenmodelle überführt werden. (Nr. 74)</li> <li>- Nicht nur für die Chemie: Der Übergang von Vorüberlegungen zu Modell ist für die Chemie noch deutlicher auszuarbeiten. (Nr. 78)</li> <li>- Rolle des Experiments (Nr. 84)</li> <li>- Modelle können in der Chemie auch den Ausgangspunkt bieten oder zur Überprüfung von Hypothesen beitragen</li> <li>- Experimentelles Überprüfen/erweitern des Modells</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wie schon angedeutet würde ich die Verifizierung/Falsifizierung auf das Experiment, nicht auf die Daten beziehen.</li> <li>- chemische Modelle sind deutlich komplexer als biologische</li> <li>- physikalische Daten oder Gesetze sollten gegebenenf das Experiment ersetzen</li> <li>- die Falsifizierung / Bestätigung müsste wieder über ein Experiment laufen</li> <li>- Verschiedene Betrachtungsebenen (makroskopisch, submikroskopisch)</li> <li>- Problematik der Teilchenebene muss besonders getützt werden; Schritt auf die Teilchenebene</li> </ul>
--	---

Kategoriebildung der offenen Antworten (v\_100) zu Ergänzungen am Modellierungsprozess der Biologie, nach induktiver Inhaltsanalyse:

	Modellkritik	Darstellungsebenen	Mathematische Modelle	Experiment	Einbezug von Gesetzen	keine	fehlend
Forschungsbezug	2 (3.6 %)	5 (8.9 %)	3 (3.6 %)	5 (8.9 %)	0	10 (17.9 %)	21
Praxisbezug	1 (2.4 %)	5 (11.9 %)	0	2 (4.8 %)	3 (7.2 %)	4 (9.5 %)	17
<b>Gesamt</b>	<b>3 (3.1 %)</b>	<b>10 (10.2 %)</b>	<b>5 (5.1 %)</b>	<b>7 (7.1 %)</b>	<b>3 (3.1 %)</b>	<b>14 (14.3 %)</b>	<b>38</b>

## Modellierung aus der Ma (speziell)

### **Der gezeigte Modellierungsprozess aus der Mathematik lässt sich meiner Meinung nach auf die Chemie übertragen.**

Übersicht über die Ergebnisse der Expertenbefragung in Bezug auf den Modellierungsprozess aus der Mathematik, getrennt nach den unterschiedlichen Bezügen:

	Gültige Werte	Fehlend	Mittelwert	Std.-Abweichung	Varianz	Min	Max
Forschungsbezug	56	0	2.45	1.08	1.16	0	4
Praxisbezug	42	0	2.48	1.11	1.23	0	4
Gesamt	98	0	32.46	1.09	1.18	0	4

### **Welche Aspekte des Modellierungsprozesses aus der Mathematik...**

*v\_102: ... passen Ihrer Meinung nach gut und können für die Chemie übernommen werden?*

Zusammenfassung der offenen Antworten (v\_102)

Forschungsorientierte Beziehung	Praxisorientierte Beziehung
<ul style="list-style-type: none"> <li>- im Prinzip lassen sich auch hier allgemein alle vier Aspekte auf die Chemie übertragen.</li> <li>- Unterschied Welt/Mathematik --&gt; entspricht Phänomen/Submikroskopische Ebene !!!!</li> <li>- Modell als Problemlöseprozess</li> <li>- Modellierung, Deduktion, Validierung (Nr. 9)</li> <li>- Situation-Modell</li> <li>- Ausgehend von einem natürlichen Phänomen erfolgt eine Modellierung, etc.</li> <li>- Kreislauf, Rückbezug des Modells auf die Ausgangssituation</li> <li>- Kontextorientierung, Reduzierung</li> <li>- Verhältnis Welt und Modell, Aspekt von Problem und Lösung (Zweckgebundenheit wird deutlich), Modell als gedankliches Konstrukt (Nr. 18)</li> <li>- Simulationen aufgrund von Modellannahmen etwa zur Elektrochemie</li> <li>- Für eher mathematische und komplexe Inhalte der Chemie gut geeignet</li> <li>- hängt vom konkreten Beispiel ab: Je höher der Abstraktionsgrad, desto engere Bezüge zur mathematischen Modellierung (Atombau, Gleichung einer stehenden Welle ...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- der Aspekt, ein Modell zu schaffen, das etwas real existierendes erklärt</li> <li>- mathematisierung</li> <li>- Modell deduzieren, Konsequenzen</li> <li>- alle bis auf Konsequenzen</li> <li>- Situation/Modell</li> <li>- modellieren und validieren</li> <li>- Kinetik, Nernst-Gleichung</li> <li>- genauso wie zuvor - die Konzepte dieser Modellierungsprozess ist nicht ausschließlich der Mathematik zu verordnen. Die Ursprünge dieser Konzepte passieren auf einer Grundbildung der Naturwissenschaften . In der englischen Literatur gibt es dort zahlreiche</li> <li>- Kurvendiskussion, Logarithmus, E-Funktion</li> <li>- ableiten von Ergebnissen durch Interpretation der mathematischen Ergebnisse</li> <li>- Modell, Konsequenzen</li> <li>- Situationen aus der Welt regen an, um Naturphänomene zu erforschen</li> <li>- deduktiv-problemorientierter Ansatz</li> <li>- modellieren und deduzieren; interpretieren</li> <li>- alle, vor allem Validierung und Rückübertragung auf Ausgangsphänomen</li> <li>- Kreisprozess der Modellierung</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Situation (Welt), Konsequenzen (Mathematik) (Nr. 25)</li> <li>- Welt/Alltagsbezug</li> <li>- Der Kreislauf passt gut zu mathematisierten Aspekten wie Reaktionsgleichungen (Nr. 31)</li> <li>- der zweifache Durchtritt durch die Welt-Modell-Grenze stimmt (vgl. Saborowski unter Reiners in Köln) (Nr. 33)</li> <li>- Darstellungswechsel Welt &lt;-&gt; Mathematik, Validieren von Ergebnissen vor dem Hintergrund der Situation</li> <li>- Die Unterscheidung zwischen zwei Welten ist interessant. Könnte auf das chemische Dreieck übertragen werden !!!</li> <li>- Passen dahingehen, dass das Modell eine Zweck hat.</li> <li>- Quantitative Auswertungen von Messergebnissen zu umgesetzten Massen und Volumina (stöchiometrie) oder von beobachteten elektrischen Leitfähigkeiten (Konduktometrie) (Nr. 51)</li> <li>- Situation = Phänomen; Modell; Ergebnis, welches bewertet werden muss</li> <li>- Grundsätzlich alle, aber ergänzt durch Kreativität.</li> <li>- Situation, Modell, Ergebnisse</li> <li>- Modellierung einer Situation, Interpretation der Konsequenzen in Bezug auf das Ausgangsobjekt</li> <li>- Problemorientierung, Induktiv, Deduktiv</li> <li>- dass aus einer tatsächlichen Situation heraus (z.B. Versuchsbeobachtung) ein Modell entwickelt wird</li> <li>- ggf. der Abgleich Realität und Modell</li> <li>- Bei Modellen der Chemie, bei denen der Schritt von Kontinuum zum Diskontinuum nachvollzogen wird, eignet sich der Modellierungsprozess aus der Mathematik (Nr. 74)</li> <li>- Modellierung</li> <li>- Die Deduktion von Modell zur Problemlösung passt gut, ebenso die Interpretation (Nr. 78)</li> <li>- Modellkritik (Nr. 84)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konsequenzen</li> <li>- Bezug Welt, Fachwissenschaft/ Verifizierung, Falsifizierung, Lösung</li> <li>- analoge Antwort wie bei biologischem Modell</li> <li>- Deduktion</li> <li>- Ableitungen für den Alltag, Wasser nur mit Deckel kochen lassen, Salz erst später ins Nudelwasser geben</li> <li>- ich habe immer noch Probleme mit dem Wort Aspekte und weiß nicht was gemeint ist</li> <li>- Modell, Konsequenzen, Ergebnisse</li> <li>- Situation -&gt; Modell -&gt;deduzieren -&gt;Konsequenzen</li> <li>- Grundsätzlich gibt es auch in der Chemie eine praktische Ebene und eine abstrahierte Beschreibungsebene, aber bei weitem nicht so stark getrennt.</li> <li>- Ebenfalls alle, es entspricht einem induktiven Vorgehen, das auch bei der Lösung chemischer Probleme angewendet werden kann.</li> <li>- Phänomen wird mathematisch erklärt</li> <li>- Chemie wie die Mathematik zum Finden von Lösungen echter Probleme (z. B. Umwelt), Lösungen erst im Labor in kleinem Maßstab erarbeitet, dann versucht draußen umzusetzen</li> <li>- Situation -&gt; Modell, Ergebnis -&gt; Situation</li> <li>- Situation und Modellbildung</li> </ul>
--	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>- eignet sich für die Modellierung von mathematisch geprägten Prozessen (z. B. in der PC)</li> <li>- Anhand eines Modells Konsequenzen abzuleiten</li> <li>- modelliert=Phänomen zu Symboleben (Johston), validiert=Symbolsprache nutzen um Phänomen vorauszusagen</li> <li>- Grundschemata ist so okay</li> <li>- Welt- und Modelltrennung, Rückschluss auf die Lebensweltssituation</li> <li>- sehr kurz gedacht und daher nicht so passend</li> </ul>	
---	--

Kategoriebildung der offenen Antworten (v\_102) zu passenden Aspekten aus dem Modellierungsprozess der Mathematik, nach induktiver Inhaltsanalyse:

	Forschungsbezug	Praxisbezug	Gesamt
deduzieren	3 (5.4 %)	4 (9.5 %)	7 (7.1 %)
Ergebnis	2 (3.6 %)	3 (7.1 %)	5 (5.1 %)
interpretieren	2 (3.6 %)	2 (4.8 %)	4 (4.1 %)
Konsequenz	-	6 (14.3 %)	6 (6.1 %)
Kontextorientierung	3 (5.4 %)	4 (9.5 %)	9 (9.2 %)
Mathematik	4 (7.1 %)	1 (2.4 %)	5 (5.1 %)
Modell	3 (5.4 %)	5 (11.9 %)	8 (8.2 %)
Modell-Welt-Gegenüberstellung	10 (17.9 %)	2 (4.8 %)	12 (12.2 %)
modellieren	5 (8.9 %)	4 (9.5 %)	9 (9.2 %)
Modellieren als Problemlösen	2 (3.6 %)	-	2 (2.0 %)
Modellieren ist zweckorientiert	2 (3.6 %)	-	2 (2.0 %)
Situation	3 (5.4 %)	4 (9.5 %)	7 (7.1 %)
validieren	7 (12.5 %)	3 (7.1 %)	10 (10.2 %)
alle	6 (10.7 %)	2 (4.8 %)	8 (8.2 %)
fehlende	14	14	28

## Welche Aspekte des Modellierungsprozesses aus der Mathematik...

*v\_99: ... passen Ihrer Meinung nach nicht gut und sollten für die Mathematik abgeändert oder weggelassen werden?*

Zusammenfassung der offenen Antworten (v\_103)

Forschungsorientierte Beziehung	Praxisorientierte Beziehung
<ul style="list-style-type: none"> <li>- der Aspekt der Deduktion kann nicht 1:1 auf die Chemie übertragen werden</li> <li>- Ergebnisse</li> <li>- Die Mathematisierung</li> <li>- Interpretation (Nr. 9)</li> <li>- Konsequenzen-Ergebnisse</li> <li>- Unterscheidung zwischen Welt und Mathematik (Chemie)</li> <li>- Induktion und Deduktion (Nr. 18)</li> <li>- Der Begriff der Mathematisierung sollte weiter gefasst werden.</li> <li>- Alltagschemie (z.B. Säuren und Basen) braucht so nicht abgebildet zu werden</li> <li>- hängt vom Beispiel und von der Abstraktionsstufe ab. Hohe Abstraktionen setzen ein breites Kenntnisniveau voraus.</li> <li>- Situation modelliert, mathematisiert Modell, Konsequenzen interpretiert Ergebnisse (Nr. 25)</li> <li>- siehe Biologie, der kreative Prozess des Modellierns findet in der Chemie kaum statt. Es wird eher eine Auswahl vorhandener Modell zur Diskussion gestellt.</li> <li>- Schritt von Problem --&gt; Deduktion --&gt; Lösung: Am Anfang steht meist noch gar kein Modell</li> <li>- mathematisierung trifft nicht oft zu. vereinzelt schon (z.B. bei der nernst-gleichung), aber das wesentliche in der chemie ist nicht quantitativ sondern ein qualitatives Atommodell (Nr. 33)</li> <li>- Reine Deduktion ist für Mathematik zutreffend, kann bei Transfer auf Chemie aber zu Schwierigkeiten im Bereich der Erkenntnisgewinnung auf Seiten der S*S führen.</li> <li>- Welt der Mathematik ist eine Geisteswissenschaft im Gegensatz zur Welt der Chemie . Hier gilt es, die submikroskopische Welt einzubinden, die aber nicht in dem Sinne logisch wie die mathematische Welt ist</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- das Ziel einer quantitativen Aussage durch die mathematische Modellierung ist weniger Chemie-typisch</li> <li>- Das Experiment fehlt. Viele Fragestellungen in der Schule können nicht mathematisiert werden. Häufig fehlt das mathematische Vorwissen, um chemische Zusammenhänge mathematisch herleiten zu können.</li> <li>- Situation</li> <li>- Reihenfolge</li> <li>- Deduzieren</li> <li>- Beispiele. Diese Konzepte werden in der deutschen Fachdidaktik dann nur einem Fach zugeordnet. Sie stehen aber per se jedem Fach zugute. So wird dieses Modell</li> <li>- Situation zu Experiment abändern, Konsequenz und Ergebnis können zusammengefasst werden</li> <li>- Aus Ergebnissen werden Konsequenzen abgeleitet; und Modelle werden genutzt, um Ergebnisse zu erklären und stattdessen Experimente durchgeführt, um Situationen zu erforschen.</li> <li>- Unterscheidung zwischen Modelldimension und Realität anstatt zwischen Welt und Chemie</li> <li>- validieren</li> <li>- Konsequenzen entsprechen Bildung von Hypothesen</li> <li>- Deduktives Vorgehen ist nicht der naturwissenschaftliche Erkenntnisweg (Induktion)</li> <li>- Trennung Welt/Modell, deduzieren</li> <li>- zu ungenau, Schritte weggelassen</li> <li>- alltägliche Phänomene = Experimente, so groß sehe ich den Unterschied nicht zu den biologischen Modellen, nur andere Bezeichnungen</li> <li>- Ich finde es merkwürdig, dass zwischen Welt und Mathematik unterschieden wird. Ich will doch gerade das Gegenteil</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Der ganze Modellierungsprozess erscheint mir unpassend</li> <li>- Da Ableiten von Konsequenzen wird hier im Prozess explizit aufgeführt und zeigt die hohe Bedeutung, während im Prozess aus der Chemie dies nicht oft explizit angesprochen wird, so meine Ansicht, womit ich falsch liegen könnte</li> <li>- Energie- und Entropie-Betrachtungen können nur mit einem begleitenden Physikunterricht vorgenommen werden. (Nr. 51)</li> <li>- Konsequenzen</li> <li>- strikte Trennung zwischen Welt und Fachwissenschaft</li> <li>- Mathematisierung passt nicht immer in der Chemie, hier müsste es allgemeiner sein: eine Übertragung situationsspezifischer Eigenschaften auf ein Modell</li> <li>- ggf. muss der Übergang von Situation zu Modell etwas präzisiert werden (Nr. 64)</li> <li>- Mathematisierung spielt nicht immer eine Rolle</li> <li>- Aspekt des Duduzierens</li> <li>- Interpretation</li> <li>- frühe Mathematisierung (Nr. 84)</li> <li>- weniger geeignet für die Umgang zum Beispiel mit Atommodellen, Bindungsmodelle etc.</li> <li>- Unterschied Welt und Mathematik (hier Chemie) weniger stark differenzieren</li> <li>- Unterschied zwischen deduziert und interpretiert eher ein Denken mit chemischen Modell</li> <li>- Modellierung sollte ausführlicher gezeigt werden</li> <li>- Die Modellierungsarbeit in der Mathematik und das Konsequenzen ziehen ist ein grundlegend anderer Prozess, als die Bildung eines mentalen oder haptischen Modells in der Nawi</li> <li>- sehr kurz gedacht und daher nicht so passend</li> </ul>	<p>erreichen, nämlich dass die SuS Übereinstimmungen finden....</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Konsequenzen-&gt;interpretieren-&gt;Ergebnisse -&gt;validieren-&gt;Situation</li> <li>- Grundsätzlich gibt es auch in der Chemie eine praktische Ebene und eine abstrahierte Beschreibungsebene, aber bei weitem nicht so stark getrennt.</li> <li>- Die Reduktion auf mathematische Modelle, die Modelle können in der Chemie ganz unterschiedlich gestaltet sein.</li> <li>- manchmal auch Auswertung von Daten, Experimenten</li> <li>- Mathematisierung einer Situation - Überführung in Modell, mathematische Deduktion</li> <li>- Deduktion ist möglich, aber schränkt die Vielfalt ein</li> <li>- Mathematisierung maximal für Oberstufe</li> </ul>
--	---

Kategoriebildung der offenen Antworten (v\_103) zu unpassenden Aspekten aus dem Modellierungsprozess der Mathematik, nach induktiver Inhaltsanalyse:

	Forschungsbezug	Praxisbezug	Gesamt
deduzieren	5 (8.9 %)	4 (9.5 %)	9 (9.2 %)
Ergebnis	3 (5.4 %)	2 (4.8 %)	5 (5.1 %)
interpretieren	5 (8.9 %)	1 (2.4 %)	6 (6.1 %)
Konsequenz	4 (7.1 %)	3 (7.1 %)	7 (7.1 %)
mathematisieren	7 (12.5 %)	4 (9.5 %)	11 (11.2 %)
Modell	1 (1.8 %)	1 (2.4 %)	2 (2.0 %)
Modell-Welt-Gegenüberstellung	4 (7.1 %)	4 (9.5 %)	8 (8.2 %)
modellieren	4 (7.1 %)	-	4 (4.1 %)
Situation	-	4 (9.5 %)	4 (4.1 %)
validieren	-	1 (2.4 %)	1 (1.0 %)
alle	2 (3.6 %)	-	2 (2.0 %)
keine	2 (3.6 %)	-	2 (2.0 %)
fehlende	14	19	28

### Welche Aspekte des Modellierungsprozesses aus der Mathematik...

*v\_104: ... müssten Ihrer Meinung nach ergänzt werden, damit das Schema einen Modellierungsprozess in der Chemie abbildet?*

Zusammenfassung der offenen Antworten (v\_104)

Forschungsorientierte Beziehung	Praxisorientierte Beziehung
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Das Testen des Modells müsste stärker in den Vordergrund gerückt werden.</li> <li>- Ergebnisse zu Hypothesen: Mathematische Ergebnisse klingen stark nach etwas unumstößlichen. In der Chemie sind es mehr Annahmen über nicht-sichtbare Bereiche.</li> <li>- Modellkritik, Betrachtung alternativer Modelle (Nr. 9)</li> <li>- Experiment, Hypothese, Überprüfung des Modells mittels Experiment</li> <li>- Der Validierungsprozess lässt sich nicht komplett übertragen, da einige Modelle nur auf gewisse Situationen zutreffen. Was bei einer starken Säure funktioniert, fällt bei einer schwachen durch.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Teilchenebene</li> <li>- Beobachtung</li> <li>- der Entwicklungsprozeß aus einem Modell zu einem neuen</li> <li>- der Modellierungsprozesses in Teilen auch in der Physik und in der Biologie verwendet.</li> <li>- Hypothese</li> <li>- Neben Situationen die Bildung von Hypothesen; Experimente zur Überprüfung der Fragestellung/des Modells; Abgleich mit bereits vorhandenen Modellen und Theorien</li> <li>- Experiment</li> <li>- Vorüberlegung und Hypothese muss getrennt werden</li> <li>- Hypothesen statt Konsequenzen, Interpretation als Verifikation/Falsifikation</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aus meiner Sicht ist der ganze Prozess schwer übertragbar</li> <li>- Theorie und Empirie sowie prozedurale und deklarative Anteile verorten (Nr. 18)</li> <li>- Der Begriff der Mathematisierung sollte weiter gefasst werden.</li> <li>- Aspekte aus dem Biologie-Modellierungsprozess (Mischmodell)</li> <li>- hängt vom konkreten Beispiel ab</li> <li>- Daten, fachliche Kenntnisse, Erprobung (Nr. 25)</li> <li>- Hypothesen, das Experiment</li> <li>- Induktives Vorgehen sollte ergänzt werden (Nr. 31)</li> <li>- Innerhalb des Felds Situation Übersetzung der Realsituation in ein Situationsmodell. Erfahrungsgemäß fällt es Schüler*innen schwer, zwischen Situationsmodell/Realmodell und mathematischem Modell zu unterscheiden; Induktive Aspekte der Theoriebildung</li> <li>- Es sind nicht alle Modellierungsprozesse in der Chemie Prozesse zwischen Phänomenebene und submikroskopischer Ebene. Es gibt auch andere Modellierungen, wie Energiediagramme, Phasendiagramme, ... also alles komplexer als in Biologie oder Mathematik</li> <li>- In der Chemie wird im Prozess zuerst von einem abstrakten Modell und dann von einem konkreten Modell gesprochen; von einem Denk- und einem Anschauungsmodell. Man müsste hier in dem Prozess aus der Mathematik dahingehend noch differenzieren. Außerdem steht hier eher die Lösung als das Modell an sich im Vordergrund, womit ich meine, dass in den Fächern Bio und Chemie viel eher das Modell an sich schon fast schon eine Lösung im Unterricht darstellt. Darüber müsste ich aber noch genauer nachdenken. Zudem: Auch in dem Prozess aus der Biologie sah ich nicht explizit die Unterscheidung zwischen dem Denk- und dem Anschauungsmodell. Das habe ich, glaube ich vergessen an der entsprechenden Stelle anzugeben. Vielen Dank für die Möglichkeit! Und nur eine kurze</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- geht nicht, dass Mathematik eine (deduktive) Strukturwissenschaft mit Gesetzen und Chemie eine (induktive, empirische) Naturwissenschaft ohne fixe Gesetze</li> <li>- Hypothesenbildung</li> <li>- Ich stehe bei diesen Fragen völlig auf dem Schlauch...</li> <li>- Situation</li> <li>- Konsequenzen-&gt;interpretieren-&gt;Erweiterung des Modells-&gt; validieren-&gt;Situation</li> <li>- Der Prozess- und Beobachtungsaspekt der Chemie, der in der Mathematik so nicht auftritt.</li> <li>- na eben zweigleisig, mal Experiment als Input mal Gesetze oder ähnliches</li> <li>- Das Modell selbst ist hier nicht weiter ausgeführt und müsste konkretisiert werden.</li> <li>- Experimentelle Beobachtungen</li> </ul>
--	--

<p>Anmerkung zur Technik: Vllt wäre es besser erst die Fragen zu lesen, dann darunter das Video (: Aber das was jetzt nur intuitiv geschrieben. Schöne Grüße Fächer: Chemie, Mathe. Lehrperson Erfahrung: ca. 1 Jahr ohne Referendariat.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ein Modellierungsprozess muss deutlich machen, dass Informationen zur Struktur der Materie nur indirekt durch Methoden der Instrumentellen Analytik zu erhalten sind - chemische Strukturen sind nicht direkt aus dem Original abzuleiten. (Nr. 51)</li> <li>- Modell ist meiner Meinung nach Teil des Problems als auch der Lösung;</li> <li>- Kreativität</li> <li>- Experiment, Hypothese</li> <li>- Ableitung von Hypthesen, die empirisch geprüft werden können</li> <li>- Herleiten von Theorien</li> <li>- reale Daten müssten stärker hervorgehoben werden / das Experiment</li> <li>- insgesamt ist der Prozess verkürzt</li> <li>- Weil es in der Chemie auch Modelle gibt, die auf der Ebene des Kontinuums bleiben, taugt der Modellierungsprozess aus der Mathematik nicht immer. Dann greift jener der Biologie. (Nr. 64)</li> <li>- Hypothesengenerierung</li> <li>- Ich bin erkenntnistheoretisch skeptisch gegenüber der Trennung von Welt und Mathematik . Darum ist eine entsprechende Ergänzung schwierig. (Nr. 78)</li> <li>- Bezug zum Phänomen (Nr. 84)</li> <li>- die Validierung sollte anhand des letztlich gültigen Maßstabs des Experiments erfolgen (was ja gemeint sein kann)</li> <li>- Eine Kombi zwischen Mathematik und Biologie wäre hilfreich</li> <li>- die Unterscheidung zwischen entstehendem mentalen Modell aufgrund der Naturerfahrung und dem anschließende Bilden eines haptischen Modells mit dem dann wieder Rückschlüsse für die Umwelt getroffen werden können</li> <li>- Beobachtungen und Verifikation</li> </ul>	
--	--

Kategoriebildung der offenen Antworten (v\_104) zu Ergänzungen am Modellierungsprozess der Mathematik, nach induktiver Inhaltsanalyse:

	Forschungsbezug	Praxisbezug	Gesamt
Aspekte aus dem Bio-Kreislauf	13 (23.2 %)	7 (16.7 %)	20 (20.4 %)
Experiment	8 (12.3 %)	8 (19.0 %)	16 (16.3 %)
Hypothese	5 (8.9 %)	5 (11.9 %)	10 (10.2 %)
Induktives Vorgehen	2 (3.6 %)	1 (2.4 %)	3 (3.1 %)
Mathematisierung	2 (3.6 %)	-	2 (2.0 %)
Mischmodell	2 (3.6 %)	-	2 (2.0 %)
Modellierungen nicht immer mit Übergang ins Diskontinuum verbunden	2 (3.6 %)	-	2 (2.0 %)
Problemlöseprozess	2 (3.6 %)	-	2 (2.0 %)
Testen von Modellen	3 (5.4 %)	1 (2.4 %)	4 (4.1 %)
Zu stark verkürzter Prozess	2 (3.6 %)	1 (2.4 %)	3 (3.1 %)
keine	2 (3.6 %)	2 (4.8 %)	4 (4.1 %)
fehlende	21	22	28

Abschluss

**Haben Sie Anmerkungen oder Ideen zu dieser Befragung?**

Zusammenfassung der offenen Antworten (v\_105)

Forschungsorientierte Beziehung	Praxisorientierte Beziehung
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ich frage mich gerade, ob für Sie chemische Reaktionsgleichungen oder Strukturformeln als Modell gelten? Eventuell wäre es sinnvoll für Ihre Arbeit eine Eingrenzung des eigenen Modellverständnisses zu geben. Weiterhin sind Modellexperimente auch so ein Zwischending. Seien Sie vorsichtig, da die verschiedenen Fachdidaktiken evtl. unterschiedliche Dinge als Modelle definieren (von Formeln bis gebauten Objekten, Vereinfachungen oder Gedankenmodellen). Viel Erfolg!</li> <li>- Eine Definition des betrachteten Modellbegriffs würde einen klareren Bezug zu den einzelnen Fragen schaffen. Klare Unterschiede zwischen dem Modell von Upmeier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fragebogen war für mich bezüglich des Vergleichs mit Biologie und Mathematik nicht leicht zu beantworten, da meine Kenntnisse zu Modellen in der modernen Biologie und in der Mathematik nur rudimentär sind.</li> <li>- Die Befragung hat mich dazu angeregt wieder mehr über den Einsatz von Modellen in meinem Unterricht nachzudenken. Danke.</li> <li>- gute und notwendige Befragung; man müsste die Themen etwas mehr präzisieren in Richtung auf was soll genau untersucht werden (Reaktionsmechanismen, Phänomenen, die so nicht im Lehrbuch stehen, Abweichung der Wirklichkeit vom Lehrbuchmodell etc)</li> <li>- Die getroffenen Aussagen, dass die gezeigten Modellierungsprozesse ausschließlich</li> </ul>

<p>zu Belzen und Krüger ergeben sich erst bei Betrachtung der Niveaustufen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- - Es kommt m.M. nach stark darauf an, welche Modelle wir uns betrachten. Handelt es sich dabei eher um physikalisch angelehnte Modelle (z.B. Atombau, Orbitalmodell) oder eher um experimentelle Modelle - die sich ja zum Teil wiederum mit den physikalischen Modellen erklären lassen.</li> <li>- Die Frage, inwiefern die Modellkompetenz/Umgang mit Modellen in der Biologie und der Mathematik auf die Chemie übertragen werden kann, ist nicht beantwortbar, wenn man den Umgang mit Modellen in der Biologie und Mathematik nicht kennt. Deshalb habe ich die Felder freigelassen (es gab kein Feld weiß ich nicht ) und konnte erst nach den Youtube-Videos dazu Stellung beziehen.</li> <li>- Nicht jede*r fachdidaktisch Forschende hat einen Vorbereitungsdienst absolviert. Entsprechende Anmerkungen waren nicht möglich. Bitte aus dem Stylesheet die Angabe: word-break: break-all entfernen. Das führt zu einem unprofessionellen Textsatz.</li> <li>- Die offenen Fragen zur Definition der Modellkompetenz in der Chemie waren für mich schwer verständlich. Mir war nicht ganz klar, was hier gemeint/gefragt war. Vielleicht könnte man konkrete Beispiele oder Auswahlmöglichkeiten anbieten.</li> <li>- Ich finde die Befragung sehr lang, schlecht formatiert (das Seitenlayout mit dem Hintergrund ist total verwirrend). Die Fragen sind nicht gerade sehr konkret gestellt und alles ist sehr schwammig formuliert.</li> <li>- Mmn. lässt sich das Modellkompetenzraster von UzB, welches dieser Befragung zu Grunde liegt, problemlos auf die Chemie übertragen. Grund dafür ist, dass es in seiner Entwicklung (Veröffentlichung 2010?) auf allgemeiner naturwissenschaftsdidaktischer Und nicht spezifisch biologiedidaktischer Theorie beruht.</li> <li>- Evtl. könnte man bei den beiden Fragen zur Modellbildung in Biologie und Mathematik noch ein Feld für eigene Anmerkungen</li> </ul>	<p>der Biologie und Physik angehören sind nach meinem Wissensstand nicht ganz richtig. Sie werden in Teilen bereits in anderen naturwissenschaftlichen Fächern verwendet.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Fragen und Video-Erläuterungen sind fachdidaktisch unheimlich versiert und im positivsten Sinne anspruchsvoll, sie erfordern aber auch von Lehrpersonen eine wissenschaftstheoretische Reflexion des Modellbegriffes, die in dieser Tiefe leider viel zu selten Gegenstand der fachdidaktischen Ausbildung von Lehrkräften ist, egal ob in der ersten, zweiten oder dritten Phase der Lehrerbildung.</li> <li>- In der Chemie fokussiert sich die Modellierung primär um das Experiment (und Teilchenmodelle). In der Biologie gibt es Modellierungen, die nicht experimentell, d.h. ohne Manipulation der Natur (z.B. durch reine Beobachtung oder Systembetrachtung), insofern gibt es hier eine Nähe , aber keine Überschneidung der Modellierungen. Die Mathematik gehört nicht zur den empirischen (Natur)wissenschaften, d.h. die Erkenntnisgewinnung erfolgt nicht empirisch-induktiv und die Erkenntnisse aus den Modellen sind Fakten &amp; Gesetze . Die Modellierung in der Mathematik erfolgt somit nicht naturwissenschaftlich, als Erkenntnisse in den NWe nur vorübergehenden Charakter besitzen (Modelle als Wiedergaben von Realitäten ).</li> <li>- Videotext etwas zu schnell gesprochen ;-) Gute Ideen</li> <li>- konkrete Modelle und Umsetzungsmöglichkeiten wären super</li> <li>- Der Anfang war gut, aber ab der Frage nach den Aspekten der Modellbildung verstehe ich nur noch Bahnhof. Vielleicht sollte genauer erklärt werden, was gemeint ist, damit Ratespiele vermieden werden.</li> <li>- Leider entspreche ich nicht der avisierten Zielgruppe, da ich kein Lehramtsstudium absolviert habe, sondern als Fachwissenschaftler tätig bin und mein Schwerpunkt in der fachwissenschaftlichen Ausbildung</li> </ul>
---	---

<p>einfügen, weshalb man bspw. das mathematische Vorgehen passend / unpassend findet oder eigene Gedanken zur Anwendung der jeweiligen Modellbildung aufschreiben kann.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelle und Modellkompetenz sind in der Chemie unverzichtbar. Es geht m. E. eher um den Modellwechsel, das Erkennen, welches Modell für die Forschungsfrage/das Phänomen geeignet ist. Die eigentliche Modellierungskompetenz ist in der Schulchemie von untergeordneter Bedeutung (siehe Vorgaben der Bundesländer sowohl für die Sek I als auch die Sek II. Schauen Sie doch mal nach Aufgaben zur Modellierungskompetenz in den Abituraufgaben der letzten fünf Jahre. Vermutlich werden Sie keine einzige Aufgabe in Chemie finden.) Anders siehe es für die Modellkompetenz aus!</li> <li>- eine andere Fragebogensoftware wäre gut gewesen, bei der vor- und zurückgehen möglich ist (über den browser löscht es die antworten)</li> <li>- Ich habe Biologie nicht studiert und kann deswegen keine fundierte Angabe machen, ob biologische Modelle (allgemein) meiner Meinung nach auf Chemie übertragbar sind. Hier habe ich nach Bauchgefühl geurteilt. Das Thema Modellierung und Modellierungskreisläufe finde ich gerade in der Chemie sehr spannend und wichtig, da andere Fachdidaktiken hier schon wesentlich stärker geforscht haben als unsere. Viel Erfolg für die Arbeit!</li> <li>- Die Fragen zu dem, was in der Ausbildung war, fand ich teilweise oberflächlich und schwer in dieser Allgemeinheit zu beantworten.</li> <li>- Die zuletzt gestellten Fragen benötigen eine deutlich längere Auseinandersetzung mit der Thematik, um sinnhafte Antworten geben zu können.</li> <li>- So allgemein, wie die Modellbeschreibung zur Mathematik war, lässt sich kein Unterschied zur Chemie ausmachen. Auch im Fach Chemie findet man eine Ausgangssituation in der Welt, über die man zu einem</li> </ul>	<p>verortet ist. Daher konnte ich die Eingangs-Fragen nicht sinnvoll beantworten.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nein. Ich hoffe ich konnte helfen.</li> <li>- Computersimulationen als wichtige Aspekte der Modellbildung (z.B. Teilchenmodell) und Möglichkeiten der Modellierung miteinander beiziehen!</li> <li>- Modellbildungskompetenz ist der Schlüssel zum Verstehen der Chemie (Erkenntnisgewinnungsprozess)</li> </ul>
--	---

Modell kommt. Natürlich hat man auch im Fach Chemie Mathematisierungen, dass dort auch Parallelen bei den Fächern vorliegen. Die gewählte Schriftart PC X DC ist etwas irritierend. Sie wirkt unseriös, dass man Zweifel hat, ob es tatsächlich eine Befragung von der Uni des Saarlandes ist. Dieser Schriftzug ist auch nicht auf der Uni-Webseite zu finden.

- Anmerkung zum Stichwort Teilchenmodell : Wir kennen das einfache Teilchenmodell der Wasser-Teilchen oder Ethanol-Teilchen, die durch Kugeln und Anordnungen von Kugeln modelliert werden können - aber nichts mit den entsprechenden Molekülen oder Molekülsymbolen zu tun haben. Oftmals wird das Teilchen als Oberbegriff zu Atomen, Ionen und Molekülen verwendet - erst in diesem Zusammenhang spielen Modellvorstellungen von Gruppierungen der Atome, Ionen und Moleküle eine wichtige Rolle, und es werden Modelle und chemische Symbole zu ihrem Verständnis verwendet.
- Ich finde es fantastisch, dass Chemiedidaktiker\*innen sich dieses Themas annehmen und möchte Sie darin bestärken sich noch tiefer mit erkenntnistheoretischer Literatur auseinanderzusetzen. Bereits auf dieser Ebene werden nämlich schon gedankliche Entscheidungen getroffen, die große Konsequenzen für Lehr-/Lernprozesse mit Modellen/Modellkompetenz haben.
- die gewählten Beispiele sind für die Modellbildung in der Chemie sehr unpassend, da das Wesentliche der Chemie (modellhafte Darstellung des Submikroskopischen und Überführung in den makroskopischen Bereich, daneben auch der Wechsel der Modelle und die Grenzen der Modelle im CU) nicht thematisiert werden.
- Die Hinterfragung des Modelleinsatzes in Chemie und die Vgl. mit dem Modellierungsprozess in Biologie und Mathematik erscheint mir als sehr sinnvoll. In einer kürzlichen Masterprüfung konnte ich erleben, wie die Mathematik ein vergleichbares Problem hat bei der Veranschaulichung

einer abstrakten Rechenprozedur (Bruchrechnen) wie die Chemie bei der Abstraktion eines konkreten Phänomens.

- Den Modellprozess in der Biologie kannte ich sehr gut und ich habe ihn selbst mit Lernenden während meines Referendariats auf die Chemie angewendet. Der Modellprozess in der Mathematik war mir unbekannt und hat mich sehr zum Denken angeregt. Ich finde dass beide Modellprozesse in der Chemie ihre Anwendung finden. Der Biologie Modellprozess finde ich trifft besser zu, wenn man Lernende zum Beispiel ein Teilchenmodell selbst entwickeln lässt basierend auf einem Phänomen. Ein ausführliches Beispiel in der Elektrochemie findet sich in meinem Chemkon Paper (Caspari, I., Weber-Peukert, G., & Graulich, N. (2018). Der Einsatz von Modellen zum Erkenntnisgewinn/Eine Unterrichtseinheit zur Förderung der Modellkompetenz im Kontext „Batterie“ unter explizitem Einbezug von Schülervorstellungen. CHEMKON, 25(1), 23-34.). Ich möchte nicht alle meine Gedanken in dem Paper hier noch einmal abtippen. Ich schlage vor das Paper hier als Referenz zu nehmen und dann zur Anonymisierung meinen Namen aus dieser Antwort rauszunehmen (bei weiteren Fragen [ira.caspari@tufts.edu](mailto:ira.caspari@tufts.edu)). Der Biologie Modellprozess trifft auch für die historische Entwicklung von zum Beispiel Atommodellen in der Chemie zu. Weitere Einblicke dazu können meine Kolleginnen in Deutschland (Kerstin Ebling und Miriam Weckbecker-Pottgiesser geben, ich kann gerne den Kontakt herstellen, siehe auch [LXXIII](https://www.friedrich-verlag.de/chemie/chemische-reaktionen/energieaenderungen-im-blick-3171?%5CSimpleSAML%5CAuth%5CState_exceptionId=_eb05daee35ff22d9f8937d3215e1b83db853ab1660%3Ahttps%3A%2F%2Fwww.friedrich-verlag.de%2Fsaml%2Fmodule.php%2Fcore%2Fas_login.php%3FAuthId%3Ddefault-</a></li></ul></div><div data-bbox=)

sp%26ReturnTo%3Dht-tps%253A%252F%252Fwww.friedrich-verlag.de%252Fchemie%252Fchemische-reaktionen%252Fenergieaenderungen-im-blick-3171%253Flogintype%253Dlogin). Namen bitte aus dieser Antwort herausnehmen. Hingegen sehe ich andere Modelle in der Chemie wo der Mathematik Prozess (den ich noch nicht komplett verstehe) besser zutreffen könnte. Zum Beispiel in der organischen Chemie, wenn ein allgemeines Modell für Reaktionsmechanismen z.B. nukleophile Substitution nicht neu entwickelt wird sondern allgemein anerkannt ist und zur Darstellung eine Symbolsprache die allgemein anerkannt ist verwendet wird. Wenn man jetzt neue unbekannte Reagenzien vor sich hat (Phänomen) kann man diese in ihre Lewis Strukturen überführen (Symbolebene) (ähnlich zum Mathematisieren), dann kann man die bekannten Konventionen für eine Nucleophile Substitution verwenden um das Produkt einer Reaktionen vorauszusagen (deduzieren? und/oder der nächste Schritt ich habe den Namen vergessen) und dann kann man die Reaktion laufen lassen und schauen ob das vorausgesagte Produkt tatsächlich rauskommt (NMR, IR, etc.) (=letzter Schritt in dem Mathe Prozess).

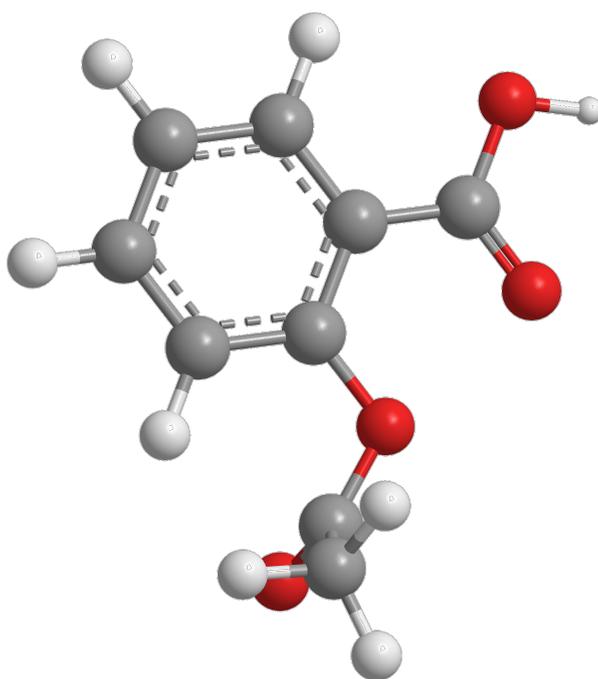
- Vielleicht noch etwas mehr drauf vorbereiten, dass es um einen vergleich zweier Modellkompetenzmodelle geht. Für Bio und Mathe würde sich als fachfremder ein Beispiel lohnen, um noch genauer einschätzen zu können, was mit den einzelnen Aspekten gemeint ist.





UNIVERSITÄT  
DES  
SAARLANDES

## Unterrichtseinheit zur Modellbildung im Chemieunterricht



Dieses Heft dient dir für die kommenden 4 Unterrichtsstunden zum Thema *Modellbildung im Chemieunterricht* als Reflexionsbegleiter. Das bedeutet, dass du alle wichtigen Schritte des Unterrichts in diesem Heft verfolgen kannst und alle Arbeitsanweisungen zusammen mit Zeitangaben dort zu finden sind. Die kommenden 4 Unterrichtsstunden sind folgendermaßen aufgebaut:

Zur Anonymisierung der Fragebögen, entwirft jede\*r Schüler\*in einen individuellen, fünfstelligen Code. Diesen erstellst du folgendermaßen:

Stunde 1		Stunde 2		Stunde 3		Stunde 4		
Fragebogen 1	Einführung in Modelle	Modelle	Modellierung 1	Fragebogen 2	Experimente	Modellierung 2	Modellierung 2	Fragebogen 3
								



### Persönlicher Code:

#### 1. Stelle:

Der **erste** Buchstabe des ersten Vornamens deines **Vaters** (oder einer Person, die für dich einem Vater am nächsten kommt) (z.B. Anton → A)

#### 2. Stelle:

Der **erste** Buchstabe des ersten Vornamens deiner **Mutter** (oder einer Person, die für dich einer Mutter am nächsten kommt) (z.B. Maria → M)

#### 3. Stelle:

Der **erste** Buchstabe deines **Vornamens** (z.B. Nicole → N oder Thomas → T)

#### 4. Stelle:

Der **letzte** Buchstabe deiner natürlichen **Haarfarbe** (z.B. braun → N)

#### 5. Stelle:

Der **letzte** Buchstabe deiner natürlichen **Augenfarbe** (z.B. blau → U)

(z.B. gesamter Code: AMNNU)

Trage in das folgende Feld bitte deinen individuellen, fünfstelligen Code ein:

*Dein persönlicher Code lautet:*

Wähle bitte hier das Symbol aus, welches an der Tafel angebracht ist.



Schutzbrille



Atom



Becherglas



Mikroskop



Brenner



Reagenzgläser

### Unterrichtsstunde 1:

30'



**Aufgabe 1: Fragebogen 1**  
 Fülle bitte zunächst den Fragebogen 1 aus.  
 Du kannst an dieser Umfrage entweder in Papierform mit dem ausgeteilten Fragebogen oder in digitaler Form durch Scannen des rechts abgebildeten QR-Codes teilnehmen.



10'



**Aufgabe 2: Einführung in Modelle**  
 Fülle bitte während der Erklärung der Lehrperson zu Modellen die folgenden Kästen aus.

#### Teil I: Eigenschaften von Modellen

Definition von Modellen:

---



---



---

Definition von Modellen in der Chemie:

---



---



---

### Unterrichtsstunde 2:

10'



**Aufgabe 1: Modelle**  
 Fülle bitte während der Erklärung der Lehrperson zu Modellen die Lücken im folgenden Abschnitt aus.

#### Teil II: Verschiedene Modelle

Modell 1: \_\_\_\_\_  
 Modell 2: \_\_\_\_\_  
 Modell 3: \_\_\_\_\_

Zweck verschiedener Modelle:

---

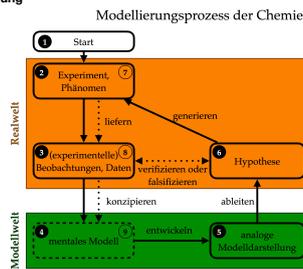


---



---

#### Teil III: Modellierung



5'

**Aufgabe 2: Reflexion**

Fasse stichwortartig zusammen, was für dich zum Modellierungsprozess wichtig ist (Farben, Schritte, Fachbegriffe).

---



---



---

20'



**Aufgabe 3: Modellierung 1**  
 Durchlaufe nun selbst einmal den vorgestellten Modellierungsprozess der Chemie, indem du die folgenden Aufgaben zu dem Experiment (Womit ist das Überraschungen gefüllt?) bearbeitest.

#### Womit ist das Überraschungen gefüllt?

**Aufgabe 3.1:** Finde mit Hilfe eines Experiments heraus, womit das Überraschungsei gefüllt ist, ohne es zu öffnen. **Verwende dazu keine weiteren Hilfsmittel außer denen in deiner Box.** Notiere deine Durchführung stichwortartig und führe das Experiment durch.

**Experiment 1:**  
 Durchführung: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Aufgabe 3.2:** Notiere die Beobachtungen aus dem Experiment 1 stichwortartig.

**Beobachtung 1:**  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Aufgabe 3.3:** Notiere das Ergebnis des Experiments 1 stichwortartig und fertige eine modellhafte Zeichnung des Inneren an.

Ergebnis: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

#### Modell 1: Erklärung mit Hilfe der Modelldarstellung

Modellhafte Darstellung des Inneren des Überraschungseis:

---



---



---

**Aufgabe 3.4:** Leite aus Aufgabe 3.3 eine Hypothese ab, womit das Überraschungsei gefüllt sein könnte und notiere deine Vermutung.

Hypothese 1:

---

**Aufgabe 3.5:** Überlege dir ein zweites Experiment (verwende nun weitere Hilfsmittel!), wie du deine Vermutung bestätigen kannst, notiere die Durchführung stichwortartig und führe das Experiment durch.

Experiment 2:  
Durchführung:

---



---



---



---

**Aufgabe 3.6:** Notiere die Beobachtungen aus dem Experiment 2 stichwortartig.

Beobachtung 2:

---



---



---



---

**Aufgabe 3.7:** Vergleiche deine Beobachtungen mit deiner Hypothese und notiere, ob diese wahr oder falsch war. Ergänze, welche Aspekte übereinstimmen und in welchen sich beide unterscheiden.

---



---



---



---

**Aufgabe 3.8:** Entwickle eine modellhafte Darstellung des Inneren des Überraschungseis mit Rückgriff auf den Vergleich mit der Hypothese aus der vorherigen Aufgabe:

- Falls deine Hypothese **falsch** war, notiere das neue Ergebnis des Experiments und erkläre es mit einer neuen modellhaften Darstellung.
- Falls deine Hypothese **korrekt** war, erkläre, wieso die Darstellung aus Aufgabe 2 durch dieses Experiment bestätigt werden konnte oder fertige eine neue Darstellung an.

Ergebnis:

---



---



---

**Modell 2: Erklärung mit Hilfe der Modelldarstellung**  
Modellhafte Darstellung des Inneren des Überraschungseis:

---



---



---



**Aufgabe 4: Abschluss Modellierung 1**  
Schneide nun alle bunten Felder der Unterrichtsstunde 2 aus. Klebe diese nach der Struktur des Modellierungsprozesses (Abbildung Stunde 2, Seite 1) und der Reihenfolge der Aufgaben zu einer großen Übersicht auf einem DIN A4-Papier zusammen.

**Hausaufgabe 1: Reflexion**

Erkläre stichwortartig, den Modellierungsprozess der Chemie anhand deiner Ergebnisse aus Aufgabe 4.

---



---



---

**Hausaufgabe 2: Fragebogen 2**  
Fülle bitte als Hausaufgabe bis zur nächsten Chemiestunde den Fragebogen 2 aus.  
Du kannst an dieser Umfrage entweder in Papierform mit dem ausgeteilten Fragebogen oder in digitaler Form durch Scannen des rechts abgebildeten QR-Codes teilnehmen.



### Unterrichtsstunde 3:



**Aufgabe 1: Modellierung 2**  
Durchläufe nun selbst ein zweites mal den bekannten Modellierungsprozess der Chemie, indem du die folgenden Aufgaben zur Verbrennung von Holz bearbeitest.

#### Die Masse bei der Verbrennung von Holz

**Aufgabe 1.1:** Beschrifte die Skizze zum Experiment 1 und führe es durch.

**Experiment 1: Verbrennung von Streichhölzern in einer Abdampfschale**

Skizze:



**Experiment 1:**  
Durchführung: Eine Abdampfschale wird auf einer Waage platziert (Waage tarieren!). In die Abdampfschale werden zwei Streichhölzer gelegt und die Masse notiert. Die Streichhölzer werden entzündet und nach der Verbrennung die Masse erneut notiert.

**Aufgabe 1.2:** Notiere die Beobachtungen aus dem Experiment 1 stichwortartig.

**Beobachtung 1:**

Masse<sub>vorher</sub>= \_\_\_\_\_ Masse<sub>nachher</sub>= \_\_\_\_\_

---



---



---

**Aufgabe 1.3:** Notiere das Ergebnis des Experiments 1 stichwortartig.

Ergebnis:

---



---



---

**Aufgabe 1.4:** Stelle die Reaktion im DALTON'schen Atommodell dar und erkläre damit das Ergebnis des Experiments 1.

**Modell 1a: Erklärung mit Hilfe der Modelldarstellung**  
Modellhafte Darstellung im DALTON'schen Atommodell:  
Vor der Reaktion: \_\_\_\_\_ Nach der Reaktion: \_\_\_\_\_

---



---



---

Erklärung:

---



---



---



**Aufgabe 2: Reflexion**

Beantworte die folgenden Reflexionsfragen möglichst ausführlich.

1. Erkläre, welchen Zweck das DALTON'sche Atommodell zur Erklärung einnimmt.

---

---

---

2. Überlege dir Möglichkeiten, wie sich überprüfen lässt, ob deine notierte Modelldarstellung aus Aufgabe 1.4 seinen Zweck erfüllt.

---

---

---

3. Überlege dir, wodurch eine Modellvorstellung verändert werden könnte/müsste.

---

---



**Aufgabe 3: Modellierung 2**

Durchlaufe nun weiter den Modellierungsprozess der Chemie, indem du die folgenden Aufgaben zur Verbrennung von Holz bearbeitest.

**Aufgabe 3.1:** Lies dir die Durchführung von Experiment 2 (Seite 8) durch. Stelle mit Hilfe der Ergebnisse von Experiment 1 Hypothesen auf, welche Beobachtungen bei Experiment 2 wohl gemacht werden können.

Hypothese 1:

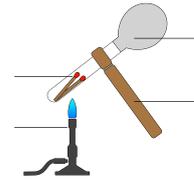
---

---

---

**Aufgabe 3.2:** Beschrifte die Skizze zu Experiment 2 und führe es durch.

**Experiment 2: Verbrennung von Streichhölzern im verschlossenen Reagenzglas**  
Skizze:



**Experiment 2:**

Durchführung: Zwei Streichhölzer werden in ein Reagenzglas gegeben und dieses mit einem Luftballon verschlossen. Die Masse wird bestimmt. Mit einem Brenner (rauschende Flamme) werden die Streichhölzer erhitzt. Die Masse wird anschließend erneut bestimmt.

**Aufgabe 3.3:** Notiere die Beobachtungen aus dem Experiment 2 stichwortartig.

**Beobachtung 2:**

Masse<sub>vorher</sub>= \_\_\_\_\_ Masse<sub>nachher</sub>= \_\_\_\_\_

---

---

---

**Aufgabe 3.4:** Notiere das Ergebnis des Experiments 2 stichwortartig.

Ergebnis: \_\_\_\_\_

---

---

**Aufgabe 3.5:** Vergleiche deine Beobachtungen mit deiner Hypothese (Stunde 3, Seite 4 von 5) und notiere, ob diese wahr oder falsch war. Ergänze, welche Aspekte übereinstimmen und in welchen sich beide unterscheiden.

---

---

---

---

**Aufgabe 3.6:** Stelle die Reaktion im DALTON'schen Atommodell dar und erkläre damit das Ergebnis des Experiments 2.

Entwickle eine modellhafte Darstellung des Inneren des Überraschungseis mit Rückgriff auf den Vergleich mit der Hypothese aus der vorherigen Aufgabe:

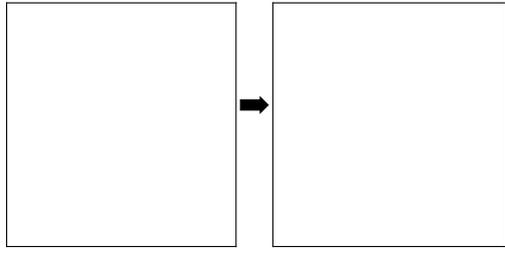
- Falls deine Hypothese **falsch** war, notiere das neue Ergebnis des Experiments und erkläre es mit einer neuen modellhaften Darstellung.
- Falls deine Hypothese **korrekt** war, erkläre, wieso die Darstellung aus Aufgabe 2 durch dieses Experiment bestätigt werden konnte oder fertige eine neue Darstellung an.

**Modell 2: Erklärung mit Hilfe der Modelldarstellung**

Modellhafte Darstellung im DALTON'schen Atommodell:

Vor der Reaktion:

Nach der Reaktion:



Erklärung:

---

---

---

Reflexionsbegleiter zum Thema Modellbildung im Chemieunterricht

### Unterrichtsstunde 4:

**Aufgabe 1: Reflexion**  
 5' Vergleiche die Experimente 1 und 2 und gib Unterschiede zwischen den beiden Experimenten an.

**Aufgabe 2: Modellierung 2**  
 5' Durchlaufe nun weiter den Modellierungsprozess der Chemie, indem du die folgenden Aufgaben zur Verbrennung von Holz bearbeitest.

**Aufgabe 2.1:** Überprüfe deine Erklärung des ersten Experiments mit deinem jetzigen Wissen nach dem Abgleich der Hypothese mit den Beobachtungen aus dem Experiment 2. Überarbeite deine Erklärung des Experiments 1.

**Modell 1b: Erklärung mit Hilfe der Modelldarstellung**  
 Modelhafte Darstellung im DALTON'schen Atommodell:  
 Vor der Reaktion:                      Nach der Reaktion:

Erklärung:

Stunde 4, Seite 1 von 2

Reflexionsbegleiter zum Thema Modellbildung im Chemieunterricht

**Aufgabe 3: Abschluss Modellierung 2**  
 7' Schneide nun alle bunten Felder der Stunden 3 und 4 aus. Klebe diese nach der Struktur des Modellierungsprozesses (Abbildung Stunde 2, Seite 1) und der Reihenfolge der Aufgaben zu einer großen Übersicht auf einem DIN A3-Papier zusammen.

**Aufgabe 4: Reflexion**  
 7' Beantworte die folgenden Reflexionsfragen möglichst ausführlich.

1. Erkläre stichwortartig, den Modellierungsprozess der Chemie anhand deiner Ergebnisse aus Aufgabe 3.
2. Erkläre, inwiefern du in dieser Einheit deine Modelldarstellung verändert hast und wie es dazu kam.
3. Formuliere eine Gesetzmäßigkeit zur Masse bei chemischen Reaktionen.

**Aufgabe 5: Fragebogen 3**  
 Fülle bitte zuletzt den Fragebogen 3 aus. Du kannst an dieser Umfrage entweder in Papierform mit dem ausgeteilten Fragebogen oder in digitaler Form durch Scannen des rechts abgebildeten QR-Codes teilnehmen.

Stunde 4, Seite 2 von 2

## Musterlösung zum Reflexionsheft der EG

NanoBioLab                      PCODC                      UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

### Unterrichtsstunde 1:

**Teil I: Eigenschaften von Modellen**

Definition von Modellen:  
 Modelle sind idealisierte Repräsentationen. Sie sind der Realität ähnlich, aber unterscheiden sich auch von ihr.

Definition von Modellen in der Chemie:  
 Modelle in der Chemie sind so genannte Gedankenmodelle. Sie sind Darstellungen von Gedankenobjekten, die nur in der menschlichen Vorstellung existieren, um damit Phänomene erklären zu können.

### Unterrichtsstunde 2:

**Teil II: Verschiedene Modelle**

Modell 1: Holzmodell zur Erklärung von Bewegungen

Modell 2: Zeichnung der Arterien und Venen zur Erklärung des Blutkreislaufs

Modell 3: Skelettmodell zur Erklärung des Knochenbaus

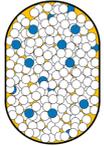
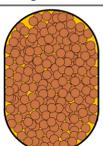
Zweck verschiedener Modelle:  
 Für unterschiedliche Fragestellungen werden unterschiedliche Modelle benötigt.

### Teil III: Modellierung

**Modellierungsprozess der Chemie**

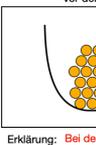
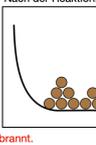
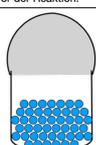
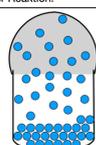
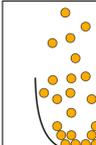
Stunde 4, Seite 1 von 3

Mögliche Lösung zum Modellbildungsprozess: Womit ist das Überraschungsei gefüllt?

<p><b>Experiment 1:</b> Durchführung: Das Überraschungsei mit unbekannter Füllung wird geschüttelt. Zum Vergleich des Geräuschs werden leere Überraschungseier mit den zur Verfügung stehenden Materialien. Anschließend werden die Geräusche der Überraschungseier beim Schütteln verglichen.</p>	<p><b>Experiment 2:</b> Durchführung: Das Überraschungsei mit unbekannter Füllung wird gewogen. Zum Vergleich werden leere Überraschungseier mit den zur Verfügung stehenden Materialien bis zu einer ähnlichen Füllhöhe gefüllt. Anschließend werden die Überraschungseier mit bekannten Inhalten gewogen.</p>
<p><b>Beobachtung 1:</b> Die Geräusche beim Schütteln von Paniermehl, Weizengrieß und Waschmittel klingen ähnlich.</p>	<p><b>Beobachtung 2:</b> Masse des Ü-Eis mit unbekannter Substanz: 21,7 g Masse des Ü-Eis mit Waschmittel: 22,6 g Masse des Ü-Eis mit Paniermehl: 17,3 g Masse des Ü-Eis mit Weizengrieß: 21,8 g</p>
<p><b>Hypothese 1:</b> Das Überraschungsei ist mit Waschlupfer gefüllt.</p>	
<p><b>Modell 1: Erklärung mit Hilfe der Modelldarstellung</b> Modellhafte Darstellung des Inneren des Überraschungseis:  Ergebnis: Das Überraschungsei könnte mit Waschlupfer gefüllt sein.</p>	<p><b>Modell 2: Erklärung mit Hilfe der Modelldarstellung</b> Modellhafte Darstellung des Inneren des Überraschungseis:  Ergebnis: Das Überraschungsei ist mit Paniermehl gefüllt.</p>



Unterrichtsstunden 3 und 4:

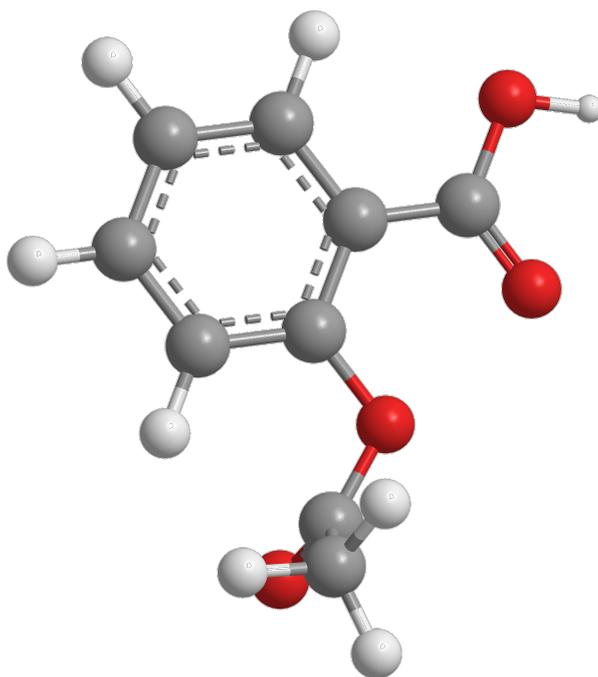
<p><b>Experiment 1:</b> Durchführung: Eine Abdampfschale wird auf einer Waage platziert (Waage tarieren!). In die Abdampfschale werden zwei Streichhölzer gelegt und die Masse notiert. Die Streichhölzer werden entzündet und nach der Verbrennung die Masse erneut notiert.</p>	<p><b>Experiment 2:</b> Durchführung: Zwei Streichhölzer werden in ein Reagenzglas gegeben und dieses mit einem Luftballon verschlossen. Die Masse wird bestimmt. Mit einem Brenner (rauschende Flamme) werden die Streichhölzer erhitzt. Die Masse wird anschließend erneut bestimmt.</p>
<p><b>Beobachtung 1:</b> Masse<sub>vorher</sub> = 0,4 g      Masse<sub>nachher</sub> = 0,0 g Die Köpfchen verbrennen mit heller Flamme. Die Streichhölzer werden schwarz und kleiner. Außerdem wird ein gelb-brauner Rückstand an der Schale gebildet. Die Masse wird kleiner.</p>	<p><b>Beobachtung 2:</b> Masse<sub>vorher</sub> = 18,9 g      Masse<sub>nachher</sub> = 18,9 g Die Köpfchen verbrennen mit heller Flamme. Die Streichhölzer werden schwarz und kleiner. Außerdem wird ein gelb-brauner Rückstand am Reagenzglasrand gebildet. Die Masse bleibt gleich.</p>
<p><b>Hypothese 1:</b> Die Gesamtmasse wird kleiner.</p>	
<p><b>Modell 1a: Erklärung mit Hilfe der Modelldarstellung</b> Modellhafte Darstellung im DALTON'schen Atommodell: Vor der Reaktion:  Nach der Reaktion:  Erklärung: Bei der Reaktion werden Teilchen verbrannt.</p>	<p><b>Modell 2: Erklärung mit Hilfe der Modelldarstellung</b> Modellhafte Darstellung im DALTON'schen Atommodell: Vor der Reaktion:  Nach der Reaktion:  Erklärung: Bei der Verbrennung entsteht ein Gas, das durch den Luftballon zurückgehalten wird und deshalb auch mit gewogen werden kann.</p>
<p><b>Modell 1a: Erklärung mit Hilfe der Modelldarstellung</b> Modellhafte Darstellung im DALTON'schen Atommodell: Vor der Reaktion:  Nach der Reaktion:  Erklärung: Bei der Reaktion entsteht ein Gas, dessen Masse wegen des Aggregatzustands nicht mit gewogen werden kann. Dadurch nimmt die Masse scheinbar ab.</p>	<p><b>Gesetz der Erhaltung der Masse:</b> Bei einer chemischen Reaktion (geschlossenen System) ist die Summe der Masse der Edukte gleich der Summe der Masse der Produkte.</p>





UNIVERSITÄT  
DES  
SAARLANDES

## Unterrichtseinheit zur Modellbildung im Chemieunterricht



Dieses Heft dient dir für die kommenden 4 Unterrichtsstunden zum Thema *Modellbildung im Chemieunterricht* als Reflexionsbegleiter. Das bedeutet, dass du alle wichtigen Schritte des Unterrichts in diesem Heft verfolgen kannst und alle Arbeitsanweisungen zusammen mit Zeitangaben dort zu finden sind. Die kommenden 4 Unterrichtsstunden sind folgendermaßen aufgebaut:

Zur Anonymisierung der Fragebögen, entwirft jede\*r Schüler\*in einen individuellen, fünfstelligen Code. Diesen erstellst du folgendermaßen:

Stunde 1		Stunde 2		Stunde 3		Stunde 4		
Fragebogen 1	Einführung in Modelle	Modelle	Modellierung 1	Fragebogen 2	Experimente	Modellierung 2	Modellierung 2	Fragebogen 3
								



### Persönlicher Code:

#### 1. Stelle:

Der **erste** Buchstabe des ersten Vornamens deines **Vaters** (oder einer Person, die für dich einem Vater am nächsten kommt) (z.B. Anton → A)

#### 2. Stelle:

Der **erste** Buchstabe des ersten Vornamens deiner **Mutter** (oder einer Person, die für dich einer Mutter am nächsten kommt) (z.B. Maria → M)

#### 3. Stelle:

Der **erste** Buchstabe deines **Vornamens** (z.B. Nicole → N oder Thomas → T)

#### 4. Stelle:

Der **letzte** Buchstabe deiner natürlichen **Haarfarbe** (z.B. braun → N)

#### 5. Stelle:

Der **letzte** Buchstabe deiner natürlichen **Augenfarbe** (z.B. blau → U)

(z.B. gesamter Code: AMNNU)

Trage in das folgende Feld bitte deinen individuellen, fünfstelligen Code ein:

*Dein persönlicher Code lautet:*

Wähle bitte hier das Symbol aus, welches an der Tafel angebracht ist.



Schutzbrille



Atom



Becherglas



Mikroskop



Brenner



Reagenzgläser

### Unterrichtsstunde 1:

30'



**Aufgabe 1:** Fragebogen 1  
 Fülle bitte zunächst den Fragebogen 1 aus.  
 Du kannst an dieser Umfrage entweder in Papierform mit dem ausgeteilten Fragebogen oder in digitaler Form durch Scannen des rechts abgebildeten QR-Codes teilnehmen.



10'



**Aufgabe 2:** Einführung in Modelle  
 Fülle bitte während der Erklärung der Lehrperson zu Modellen die folgenden Kästen aus.

#### Teil I: Eigenschaften von Modellen

Definition von Modellen:

---



---



---

Definition von Modellen in der Chemie:

---



---



---

### Unterrichtsstunde 2:

10'



**Aufgabe 1:** Modelle  
 Fülle bitte während der Erklärung der Lehrperson zu Modellen die Lücken im folgenden Abschnitt aus.

#### Teil II: Verschiedene Modelle

Modell 1: \_\_\_\_\_  
 Modell 2: \_\_\_\_\_  
 Modell 3: \_\_\_\_\_

Zweck verschiedener Modelle:

---



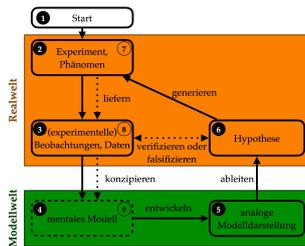
---



---

#### Teil III: Modellierung

Modellierungsprozess der Chemie



20'



**Aufgabe 3:** Modellierung 1  
 Durchlaufe nun selbst einmal den vorgestellten Modellierungsprozess der Chemie, indem du die folgenden Aufgaben zu dem Experiment (Womit ist das Überraschungen gefüllt?) bearbeitest.

#### Womit ist das Überraschungen gefüllt?

**Aufgabe 3.1:** Finde mit Hilfe eines Experiments heraus, womit das Überraschungsei gefüllt ist, ohne es zu öffnen. **Verwende dazu keine weiteren Hilfsmittel außer denen in deiner Box.** Notiere deine Durchführung stichwortartig und führe das Experiment durch.

#### Experiment 1:

Durchführung: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Aufgabe 3.2:** Notiere die Beobachtungen aus dem Experiment 1 stichwortartig.

#### Beobachtung 1:

\_\_\_\_\_

**Aufgabe 3.3:** Notiere das Ergebnis des Experiments 1 stichwortartig und fertige eine modellhafte Zeichnung des Inneren an.

Ergebnis: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

#### Modell 1: Erklärung mit Hilfe der Modelldarstellung

Modellhafte Darstellung des Inneren des Überraschungseis:

**Aufgabe 3.4:** Leite aus Aufgabe 3.3 eine Hypothese ab, womit das Überraschungsei gefüllt sein könnte und notiere deine Vermutung.

Hypothese 1:

**Aufgabe 3.5:** Überlege dir ein zweites Experiment (verwende nun weitere Hilfsmittel!), wie du deine Vermutung bestätigen kannst, notiere die Durchführung stichwortartig und führe das Experiment durch.

Experiment 2:

Durchführung:

---



---



---



---



---

**Aufgabe 3.6:** Notiere die Beobachtungen aus dem Experiment 2 stichwortartig.

Beobachtung 2:

---



---



---

**Aufgabe 3.7:** Vergleiche deine Beobachtungen mit deiner Hypothese und notiere, ob diese wahr oder falsch war. Ergänze, welche Aspekte übereinstimmen und in welchen sich beide unterscheiden.

---



---



---



---

**Aufgabe 3.8:** Entwickle eine modellhafte Darstellung des Inneren des Überraschungseis mit Rückgriff auf den Vergleich mit der Hypothese aus der vorherigen Aufgabe.

- Falls deine Hypothese **falsch** war, notiere das neue Ergebnis des Experiments und erkläre es mit einer neuen modellhaften Darstellung.
- Falls deine Hypothese **korrekt** war, erkläre, wieso die Darstellung aus Aufgabe 2 durch dieses Experiment bestätigt werden konnte oder fertige eine neue Darstellung an.

Ergebnis:

---



---

**Modell 2: Erklärung mit Hilfe der Modelldarstellung**

Modellhafte Darstellung des Inneren des Überraschungseis:



**Hausaufgabe:** Fragebogen 2

Fülle bitte als Hausaufgabe bis zur nächsten Chemiestunde den Fragebogen 2 aus. Du kannst an dieser Umfrage entweder in Papierform mit dem ausgeteilten Fragebogen oder in digitaler Form durch Scannen des rechts abgebildeten QR-Codes teilnehmen.



### Unterrichtsstunde 3:



**Aufgabe 1: Modellierung 2**

Durchlaufe nun selbst ein zweites mal den bekannten Modellierungsprozess der Chemie, indem du die folgenden Aufgaben zur Verbrennung von Holz bearbeitest.

**Die Masse bei der Verbrennung von Holz**

**Aufgabe 1.1:** Beschrifte die Skizze zum Experiment 1 und führe es durch.

**Experiment 1: Verbrennung von Streichhölzern in einer Abdampfschale**

Skizze:



**Experiment 1:**

Durchführung: Eine Abdampfschale wird auf einer Waage platziert (Waage tarieren). In die Abdampfschale werden zwei Streichhölzer gelegt und die Masse notiert. Die Streichhölzer werden entzündet und nach der Verbrennung die Masse erneut notiert.

**Aufgabe 1.2:** Notiere die Beobachtungen aus dem Experiment 1 stichwortartig.

**Beobachtung 1:**

Masse<sub>vorher</sub>= \_\_\_\_\_ Masse<sub>nachher</sub>= \_\_\_\_\_

---



---



---

**Aufgabe 1.3:** Notiere das Ergebnis des Experiments 1 stichwortartig.

Ergebnis: \_\_\_\_\_

---



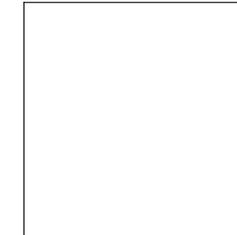
---

**Aufgabe 1.4:** Stelle die Reaktion im DALTON'schen Atommodell dar und erkläre damit das Ergebnis des Experiments 1.

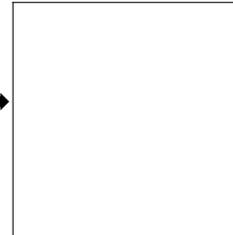
**Modell 1a: Erklärung mit Hilfe der Modelldarstellung**

Modellhafte Darstellung im DALTON'schen Atommodell:

Vor der Reaktion:



Nach der Reaktion:



Erklärung: \_\_\_\_\_

---



---



---

**Aufgabe 1.5:** Lies dir die Durchführung von Experiment 2 (Seite 8) durch. Stelle mit Hilfe der Ergebnisse von Experiment 1 Hypothesen auf, welche Beobachtungen bei Experiment 2 wohl gemacht werden können.

**Hypothese 1:**

---



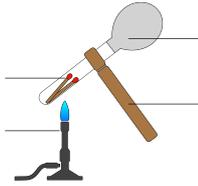
---



---

**Aufgabe 1.6:** Beschrifte die Skizze zu Experiment 2 und führe es durch.

**Experiment 2: Verbrennung von Streichhölzern im verschlossenen Reagenzglas**  
Skizze:



**Experiment 2:**

Durchführung: Zwei Streichhölzer werden in ein Reagenzglas gegeben und dieses mit einem Luftballon verschlossen. Die Masse wird bestimmt. Mit einem Brenner (rauschende Flamme) werden die Streichhölzer erhitzt. Die Masse wird anschließend erneut bestimmt.

**Aufgabe 1.7:** Notiere die Beobachtungen aus dem Experiment 2 stichwortartig.

**Beobachtung 2:**

Masse<sub>vorher</sub>= \_\_\_\_\_ Masse<sub>nachher</sub>= \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Aufgabe 1.8:** Notiere das Ergebnis des Experiments 2 stichwortartig.

Ergebnis: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Aufgabe 1.9:** Vergleiche deine Beobachtungen mit deiner Hypothese (Stunde 3, Seite 3 von 4) und notiere, ob diese wahr oder falsch war. Ergänze, welche Aspekte übereinstimmen und in welchen sich beide unterscheiden.

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Aufgabe 1.10:** Stelle die Reaktion im DALTON'schen Atommodell dar und erkläre damit das Ergebnis des Experiments 2.

Entwickle eine modellhafte Darstellung des Inneren des Überraschungseis mit Rückgriff auf den Vergleich mit der Hypothese aus der vorherigen Aufgabe:

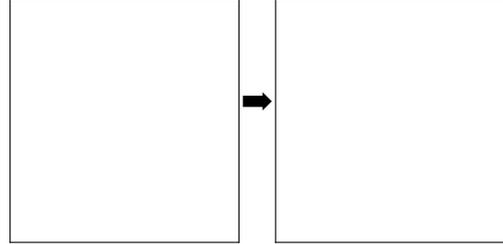
- Falls deine Hypothese **falsch** war, notiere das neue Ergebnis des Experiments und erkläre es mit einer neuen modellhaften Darstellung.
- Falls deine Hypothese **korrekt** war, erkläre, wieso die Darstellung aus Aufgabe 2 durch dieses Experiment bestätigt werden konnte oder fertige eine neue Darstellung an.

**Modell 2: Erklärung mit Hilfe der Modelldarstellung**

Modellhafte Darstellung im DALTON'schen Atommodell:

Vor der Reaktion:

Nach der Reaktion:



Erklärung: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## Unterrichtsstunde 4:



**Aufgabe 1: Reflexion**

Vergleiche die Experimente 1 und 2 und gib Unterschiede zwischen den beiden Experimenten an.

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**Aufgabe 2: Modellierung 2**

Durchlaufe nun weiter den Modellierungsprozess der Chemie, indem du die folgenden Aufgaben zur Verbrennung von Holz bearbeitest.

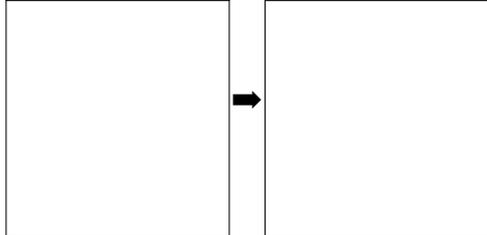
**Aufgabe 2.1:** Überprüfe deine Erklärung des ersten Experiments mit deinem jetzigen Wissen nach dem Abgleich der Hypothese mit den Beobachtungen aus dem Experiment 2. Überarbeite deine Erklärung des Experiments 1.

**Modell 1b: Erklärung mit Hilfe der Modelldarstellung**

Modellhafte Darstellung im DALTON'schen Atommodell:

Vor der Reaktion:

Nach der Reaktion:



Erklärung: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**Aufgabe 4: Reflexion**

Formuliere eine Gesetzmäßigkeit zur Masse bei chemischen Reaktionen.

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**Aufgabe 5: Fragebogen 3**

Fülle bitte zuletzt den Fragebogen 3 aus.

Du kannst an dieser Umfrage entweder in Papierform mit dem ausgeteilten Fragebogen oder in digitaler Form durch Scannen des rechts abgebildeten QR-Codes teilnehmen.



## VII. Fragebogen I-III, Studie in Teil II

Schwarze Farbe: Texte und Fragen in allen drei Fragebögen

Blaue Farbe: Texte und Fragen nur in Fragebogen I

### Seite 1: Anschreiben

#### Herzlich willkommen zur Umfrage zur Modellbildungskompetenz im Chemieunterricht.

Die Umfrage entspricht den datenschutzrechtlichen Bestimmungen der Universität des Saarlandes. Deine Teilnahme erfolgt freiwillig und kann jederzeit beendet werden. Bei einer Nichtteilnahme oder Beendigung entstehen Dir keine Nachteile. Personenbezogene Angaben werden streng vertraulich behandelt, ausschließlich zu Forschungszwecken im Rahmen des Dissertationsvorhabens von Frau Vanessa Lang genutzt und nicht an Dritte weitergegeben.

Bei Fragen wende Dich bitte an:

Vanessa Lang

[vanessa.lang@uni-saarland.de](mailto:vanessa.lang@uni-saarland.de)

0681/3022474

Wenn Sie mehr Informationen über die Verarbeitung Ihrer personenbezogenen Daten wünschen, bitte auf folgenden Link klicken.

- Ich stimme zu, dass meine personenbezogenen Daten gemäß den hier aufgeführten Angaben verarbeitet werden.

### Seite 2: Code-Generieren

Aus Gründen des Datenschutzes wird der folgende Fragebogen durch einen individuellen, fünfstelligen Code anonymisiert.

Trage dazu bitte die entsprechenden 5 Buchstaben in das folgende Feld ein:

1. Stelle:

Der **erste** Buchstabe des ersten Vornamens deines **Vaters** (oder einer Person, die für dich einem Vater am nächsten kommt) (z.B. Anton → A)

2. Stelle:

Der **erste** Buchstabe des ersten Vornamens deiner **Mutter** (oder einer Person, die für dich einer Mutter am nächsten kommt) (z.B. Maria → M)

3. Stelle:

Der **erste** Buchstabe **deines Vornamens** (z.B. Nicole → N oder Thomas → T)

4. Stelle:

Der **letzte** Buchstabe deiner **natürlichen Haarfarbe** (z.B. braun → N)

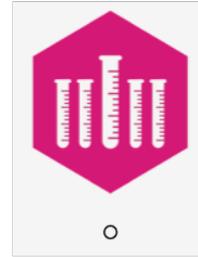
5. Stelle:

Der **letzte** Buchstabe deiner **natürlichen Augenfarbe** (z.B. blau → U)

(z.B. gesamter Code: AMNNU)

### Seite 3: Zuordnung Experimentalbedingung

Wähle bitte hier das Symbol aus, welches an der Tafel angebracht ist.



### Seite 4: Personenbezogenen Daten

Wähle bitte dein Geschlecht aus.

- männlich
- weiblich
- divers

Gib bitte in das folgende Feld dein Alter ein.

Wähle bitte im Folgenden deine Schulform aus.

- Gymnasium
- Gemeinschaftsschule
- Realschule
- Oberstufengymnasium/ Fachoberschule
- Sonstiges

Wähle bitte deine Klassenstufe aus.

- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13

Trage hier bitte deine letzten (Halb-) Jahresnoten aus den NW-Fächern im 15-Punkte- System ein.

Falls du ein Fach (noch) nicht hattest, lass das Feld bitte frei. Falls du dich an die letzte Note nicht erinnerst, trage eine ungefähre Note ein.

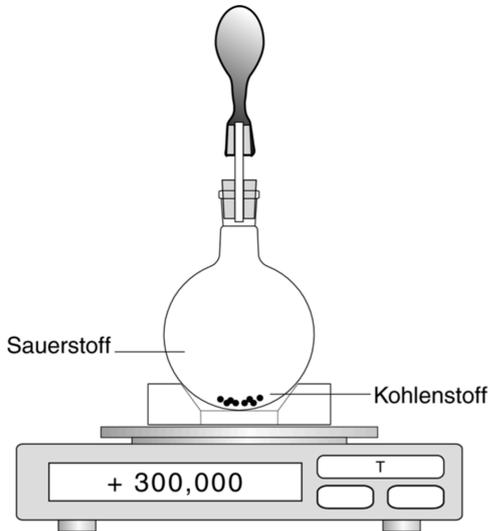
Naturwissenschaften:

Biologie:

Chemie:

Physik:

Seite 5: Fachwissen I (Bolye)



In dem verschlossenen, mit Sauerstoff gefüllten Rundkolben wird Holzkohle (Kohlenstoff) verbrannt. Die gesamte Versuchsanordnung wiegt 300 g. Nach der Reaktion ist kein Kohlenstoff mehr zu sehen.

Wie wird sich die Masse der Versuchsanordnung verändern? Kreuze bitte die Lösung an.

- Die Masse nimmt zu.
- Die Masse bleibt gleich.
- Die Masse nimmt ab.

Begründe bitte deine Vermutung, ob die Masse im oben beschriebenen Versuch zu nimmt, gleich bleibt oder abnimmt.

Seite 6: Fachwissen II: gleichbleibende Masse

Bei welchem beschriebenen Versuchsaufbau/ welchen beschriebenen Versuchsaufbauten ist die Gesamtmasse vor und nach der Reaktion gleich? Wähle unter den folgenden Versuchsaufbauten die entsprechende(n) Variante(n) aus, bei der/ denen die Gesamtmasse vor und nach der Reaktion gleich ist.

- Reaktion von Eisen und Schwefel im Reagenzglas mit Stopfen
- Reaktion von Eisen und Schwefel im offenen Reagenzglas
- Reaktion von Kupfer und Schwefel im offenen Reagenzglas
- Reaktion von Kupfer und Schwefel im Reagenzglas mit Luftballon

Begründe bitte deine Auswahl, bei welchem Versuchsaufbau/ welchen Versuchsaufbauten die Gesamtmasse gleich bleibt.

Seite 7: Fachwissen III: zunehmende Masse

Bei welchem beschriebenen Versuchsaufbau/ welchen beschriebenen Versuchsaufbauten ist die Gesamtmasse nach der Reaktion größer als vor der Reaktion? Wähle unter den folgenden Versuchsaufbauten die entsprechende(n) Variante(n) aus, bei der/denen die Gesamtmasse nach der Reaktion größer ist als davor.

- Reaktion von Eisen und Schwefel im Reagenzglas mit Stopfen
- Reaktion von Eisen und Schwefel im offenen Reagenzglas
- Reaktion von Kupfer und Schwefel im offenen Reagenzglas
- Reaktion von Kupfer und Schwefel im Reagenzglas mit Luftballon

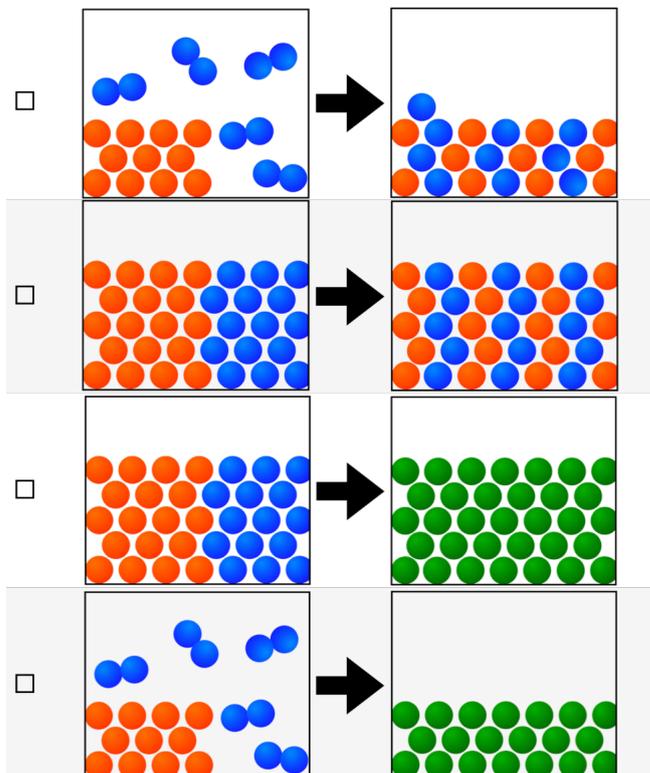
Begründe bitte deine Auswahl, bei welchem Versuchsaufbau/ welchen Versuchsaufbauten die Gesamtmasse zunimmt.

Seite 8: Vorwissen

Definiere den Begriff „chemische Reaktion“.

Notiere die Wortgleichung zur Verbrennung von Magnesium.

Wähle unter den folgenden Abbildungen diejenige aus, welche die chemische Reaktion von Eisen und Schwefel zu Eisensulfid im DALTON'schen Atommodell darstellt.



## Seite 9: Fachinteresse

Du findest im Folgenden eine Reihe von Aussagen, die sich auf den Chemieunterricht/das Fach Chemie beziehen. Gehe bitte die Aussagen der Reihe nach durch und schätze bei jeder Aussage ein, inwieweit diese auf Dich zutrifft.

	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
1) Mich mit Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie zu befassen, gehört zu meinen Lieblingsbeschäftigungen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Wenn ich mich mit Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie beschäftige, bekomme ich gute Laune.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Wenn ich ehrlich bin, mag ich das Fach Chemie nicht besonders.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Nach den Ferien freue ich mich auf das Fach Chemie.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5) Das Fach Chemie ist für mich persönlich wichtig.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6) Die meisten Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie sind mir egal.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
7) Ich denke, dass die Beschäftigung mit bestimmten Themen und Fragestellungen des Faches Chemie gut für meine persönliche Entwicklung ist.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8) Bestimmte Fragestellungen und Themen des Faches Chemie zu bearbeiten, ist mir wichtiger als meine Freizeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9) Wenn ich mehr Zeit hätte, würde ich mich intensiver mit Themen und Fragestellungen des Faches Chemie beschäftigen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10) Ich würde mich auch mit Themen und Fragestellungen des Faches Chemie beschäftigen, wenn es nicht um gute Noten gehen würde.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11) Auch außerhalb des Unterrichts befasse ich mich mit Themen und Fragestellungen des Faches Chemie (beispielsweise in AGs, bei Wettbewerben, Jugend forscht, ...).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Seite 10: naturwissenschaftsbezogenes Fähigkeitsselbstkonzept

Du findest im Folgenden eine Reihe von Aussagen, die sich auf den naturwissenschaftlichen Unterricht beziehen. Gehe bitte die Aussagen der Reihe nach durch und schätze bei jeder Aussage ein, inwieweit diese auf Dich zutrifft.

	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
1) Ich glaube, dass ich anspruchsvollen Stoff im Chemieunterricht leicht lernen kann.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Normalerweise kann ich Prüfungsfragen im Chemieunterricht gut beantworten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Ich lerne neuen Stoff im Chemieunterricht schnell.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Den Stoff im Chemieunterricht finde ich einfach.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5) Wenn ich in Chemie (oder Naturwissenschaften) unterrichtet werde, verstehe ich neue Begriffe leicht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6) Es fällt mir leicht, neue Ideen im Chemieunterricht zu verstehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Seite 11: Modellkompetenz (offen)

#### Die Beziehung zwischen Modell und Original besteht darin, dass ...

Beende bitte den oben stehenden Satzanfang möglichst ausführlich. Solltest du den Satzanfang nicht beenden könne, begründe möglichst genau, warum nicht.

#### Mehrere Modelle zu einem Original sind sinnvoll, weil...

Beende bitte den oben stehenden Satzanfang möglichst ausführlich. Solltest du den Satzanfang nicht beenden könne, begründe möglichst genau, warum nicht.

### Seite 12: Modellkompetenz (Ratingskala)

#### Du findest im Folgenden eine Reihe von Aussagen, die sich auf Modelle im Chemieunterricht beziehen.

Gehe bitte die Aussagen der Reihe nach durch und schätze bei jeder Aussage ein, inwieweit diese auf Dich zutrifft.

	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
1) Ein Modell verbindet ein Original mit theoretischen Aspekten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Es gibt verschiedene Modelle, weil es verschiedene theoretische Interpretationen des Originals gibt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Ein Modell umfasst, was Modellierer bezüglich des Originals vermuten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Es gibt verschiedene Modelle, weil es unterschiedliche Interpretationen von Daten zu einem Original gibt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5) Ein Modell enthält Ideen zu einem Ausgangsobjekt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
6) Ein Modell beinhaltet Vermutungen zu einem Original.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7) Mit verschiedenen Modellen können unterschiedliche Hypothesen geprüft werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8) Es gibt verschiedene Modelle, weil Forscher*innen unterschiedliche Vorstellungen zu einem Original haben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9) Aus einem Modell lassen sich Hypothesen über ein Original ableiten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10) Es gibt verschiedene Modelle, weil verschiedene Fragestellungen zum Original bearbeitet werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Seite 13: Modellbildungskompetenz (offen)

#### Modelle dienen dazu, dass ...

Beende bitte den oben stehenden Satzanfang möglichst ausführlich. Solltest du den Satzanfang nicht beenden könne, begründe möglichst genau, warum nicht.

### Modell überprüft man, indem ...

Beende bitte den oben stehenden Satzanfang möglichst ausführlich. Solltest du den Satzanfang nicht beenden könne, begründe möglichst genau, warum nicht.

### Modell werden verändert, weil ...

Beende bitte den oben stehenden Satzanfang möglichst ausführlich. Solltest du den Satzanfang nicht beenden könne, begründe möglichst genau, warum nicht.

## Seite 13: Modellbildungskompetenz (Ratingskala)

### Du findest im Folgenden eine Reihe von Aussagen, die sich auf Modelle im Chemieunterricht beziehen.

Gehe bitte die Aussagen der Reihe nach durch und schätze bei jeder Aussage ein, inwieweit diese auf Dich zutrifft.

	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
1) Ein Modell dient als Forschungswerkzeug.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Ein Modell wird verändert, wenn die Ergebnisse von Experimenten den Modellvorhersagen widersprechen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Modelle werden getestet, indem Hypothesen über das Original mit dem Modell überprüft werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Modelle werden getestet, indem man prüft, ob sich das Modell auf das Ausgangsobjekt anwenden lässt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5) Ein Modell dient zur Generierung neuer Erkenntnisse über ein Original.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
6) Ein Modell wird verändert, wenn eine an dem Modell aufgestellte Hypothese widerlegt wird.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7) Mit einem Modell lassen sich Erkenntnisse über ein Original auf andere Phänomene übertragen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8) Modelle werden getestet, indem die Passung zu bereits vorhandenen und neu generierten Daten überprüft wird.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9) Ein Modell dient dazu, mit Hilfe von Daten Hypothesen über ein Original zu überprüfen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10) Aus Modellen werden Voraussagen über Zusammenhänge im Original abgeleitet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
11) Modelle werden getestet, indem Annahmen über das Original anhand von Untersuchungen geprüft werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12) Ein Modell wird verändert, wenn eine aus dem Modell abgeleitete Hypothese über das Original falsifiziert (widerlegt) wurde.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13) Modelle werden getestet, indem man überprüft, ob Schlussfolgerungen aus dem Modell zur Realität passen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14) Ein Modell wird verändert, wenn aus diesem Modell abgeleitete Hypothesen neuen Forschungsergebnissen widersprechen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15) Ein Modell wird verändert, wenn sich daraus abgeleitete Annahmen gegenseitig widersprechen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Seite 14: Endseite**

**Danke!**

**Vielen Dank, dass du an dieser Umfrage teilgenommen hast.**

**Du kannst diesen Tab nun schließen.**

**Falls du noch Fragen hast, stell diese gerne den Testleiter\*innen vor Ort oder schreibe eine E-Mail an [vanessa.lang@uni-saarland.de](mailto:vanessa.lang@uni-saarland.de).**

## VIII. Kodiermanual Fragebögen, Teil II

Seite 5: Fachwissen I (Boyle):

*„Begründe bitte deine Vermutung, ob die Masse im oben beschriebenen Versuch zu nimmt, gleich bleibt oder abnimmt.“ (F\_B2\_o\_0-2)*

- Bezug zum System geschlossenen System (1 P.)

- Richtige Begründung auf Teilchenebene (1 P.)

→ max. 2 Punkte

Seite 6: Fachwissen II (gleichbleibende Masse):

*„Begründe bitte deine Auswahl, bei welchem Versuchsaufbau/ welchen Versuchsaufbauten die Gesamtmasse gleich bleibt.“ (F\_2\_o\_0-2)*

- Bezug zum System (1 P.)

- Geschlossenes System (1 P.)

- Richtige Begründung auf Teilchenebene (1 P.)

→ max. 3 Punkte

Seite 7: Fachwissen II (zunehmende Masse):

*„Begründe bitte deine Auswahl, bei welchem Versuchsaufbau/ welchen Versuchsaufbauten die Gesamtmasse zunimmt.“ (F\_3\_o\_0-2)*

- Bezug zum System (1 P.)

- Offenes System (1 P.)

- Richtige Begründung auf Teilchenebene (1 P.)

→ max. 3 Punkte

Seite 8: Vorwissen:

„Definiere den Begriff „Chemische Reaktion“.“ (V\_1\_o\_0)

- Vorgang (1 P.)
  - neuer Stoff mit neuen Eigenschaften entsteht (1 P.)
  - Umgruppierung von Teilchen (1 P.)
- max. 3 Punkte

„Notiere die Wortgleichung zur Verbrennung von Magnesium.“ (V\_2\_o\_0)

Magnesium (1 P.) + Sauerstoff (1 P.) → Magnesiumoxid/Magnesia (1 P.)

→ max. 3 Punkte

„Wähle unter den folgenden Abbildungen diejenige aus, welche die chemische Reaktion von Eisen und Schwefel zu Eisensulfid im DALTON'schen Atommodell darstellt.“

(V\_3\_o\_0)

jede Auswahl erhält 0,5 P., falls die Auswahl/Nichtauswahl korrekt ist (Abbildungen 1 und 2 sind wahr, 3 und 4 sind falsch)

→ max. 2 Punkte

Seite 11: Modellkompetenz (offen)

„Die Beziehung zwischen Modell und Original besteht darin, dass ...“ (E\_o\_0)

Niveau I = 1 P.	Niveau II = 2 P.	Niveau III = 3 P.
Modell als Kopie (Das Modell sieht genauso aus wie das Original und gleicht ihm in allen Eigenschaften. Das Modell ist eine vergrößerte/verkleinerte Kopie des Originals.)	Modell ist in Teilen eine Kopie ( Das Modell gleicht nur in bestimmten Merkmalen dem Original. Andere Merkmale sind für den Modellierer nicht bekannt und können daher nicht beurteilt werden.)	Modell als hypothetische Darstellung (Das Modell stellt eine Idee/Hypothese über das Original dar. Eine Ähnlichkeit zwischen Original und Modell ist möglich.)
Modell mit großer Ähnlichkeit (Das Modell ähnelt dem Original in fast allen Eigenschaften. Bestimmte Eigenschaften des Originals sind vom Modellierer nicht gut umgesetzt worden oder entsprechen nicht meinen Vorstellungen.)	Modell als fokussierte Darstellung (Das Modell ist vereinfacht, d. h. nur bestimmte Merkmale sind dargestellt und hervorgehoben. Andere Merkmale sind nicht gezeigt.)	

„Mehrere Modelle zu einem Original sind sinnvoll, weil...“ (A1\_o\_0)

Niveau 0 = 0 P.	Niveau I = 1P.	Niveau II = 2 P.	Niveau III = 3 P.
<p>Verschiedene Modelle zu unterschiedlichen Originalen (Es gibt verschiedene Modelle zu einem Original, weil jedes Modell ein anderes Original repräsentiert.)</p> <p>Nur ein richtiges und endgültiges Modell (s gibt verschiedene Modelle zu einem Original, weil nur eines der alternativen Modelle korrekt ist und die anderen falsch sind. Es gibt verschiedene Modelle zu einem Original, weil diese Modelle den historischen Entwicklungsprozess zeigen sollen und nur eines dieser Modelle das endgültige und richtige Modell ist.)</p> <p>Modelle als Vervielfältigungen der Originale (von den Originalen gibt es nicht so viele oder sie können kaputt gehen, dann kann man sich mit Modellen helfen)</p>	<p>Unterschiedliche Modelleigenschaften (Es gibt verschiedene Modelle zu einem Original, weil die Modelle unterschiedlich gebaut sind (2-D/3-D, verschiedene Farben, verschiedene Materialien). Es gibt verschiedene Modelle zu einem Original, weil die Modelle unterschiedliche Eigenschaften haben (beweglich/unbeweglich, weich/hart).)</p> <p>Verschiedene Modelle zum Erkennen von Unterschieden</p> <p>Bessere Vorstellung von dem Original durch alternative Modelle</p>	<p>Unterschiedliche inhaltliche Schwerpunkte (Es gibt verschiedene Modelle zu einem Original, weil das Original komplex ist und verschiedene Modelle notwendig sind, um unterschiedliche Perspektiven auf das Original zu zeigen (u. a. innen/außen, Längs- /Querschnitt, Struktur/Funktion, verschiedene Ausschnitte bzw. Zustände des Originals).)</p>	<p>Unterschiedliche Annahmen (Es gibt verschiedene Modelle zu einem Original, weil aus den Untersuchungen am Original unterschiedliche Vermutungen/Hypothesen/Ideen abgeleitet werden können.)</p>

Seite 11: Modellbildungskompetenz (offen)

„Die Modelle dienen dazu, dass ...“ (Z\_o\_0)

Niveau 0 = 0 P.	Niveau I = 1 P.	Niveau II = 2 P.	Niveau III = 3 P.
nicht durchgenommen/ wir hatten noch keine Modelle	Modell zum Darstellen eines Sachverhalts (Das Modell hat den Zweck, Merkmale/Sachverhalte des Originals darzustellen.) besser sehen, vorstellen, beschreiben  Modelle als entbehrliche Kopie der Originale (Modelle werden verwendet, damit das Original nicht kaputt geht)	Modell zum Erkennen/Erklären von Zusammenhängen ( Das Modell hat den Zweck, Zusammenhänge zwischen verschiedenen Aspekten im Original zu erklären und bekannte Tatsachen nachzuvollziehen.)  Modell zum Lernen ( Das Modell hat den Zweck, in Chemie besser lernen zu können./etwas besser zu verstehen.)	Modell zum Überprüfen von Ideen (Das Modell hat den Zweck, Voraussagen über das Original abzuleiten. Das Modell hat den Zweck, Hypothesen über das Original zu prüfen und Schlüsse über das Original zu ziehen. Das Modell hat den Zweck, Erkenntnisse über das Original auf andere Phänomene zu übertragen.  Modelle zum Erforschen der Realität.)

„Modell überprüft man, indem ...“ (T\_o\_0)

Niveau 0 = 0 P.	Niveau I = 1P.	Niveau II = 2 P.	Niveau III = 3 P.
Keine Testung des Modells (Eine Testung des Modells bzw. mit dem Modell ist unnötig.)  nicht durchgenommen/ wir hatten noch keine Modelle  Überprüfung des Modells (nicht weiter ausgeführt)	Überprüfung des Materials (Das Modell wird getestet, indem das Material auf Widerstandsfähigkeit (u. a. Beweglichkeit, Stabilität, Elastizität) überprüft wird.)  Überprüfung der Grundvoraussetzungen (Das Modell wird getestet, indem geprüft wird, ob technische Anforderungen (z. B. das Fliegen bei einem Vogel-Modell) für den Einsatz des Modells erfüllt sind.  Das Modell wird getestet, indem man nur ganz genau hinschaut (z.B. mit einem Mikroskop.)	Vergleich zwischen Modell und Original (Das Modell wird getestet, indem es mit dem Original verglichen (Struktur und/oder Funktion) wird.)  Vergleich und Passung zwischen Original und Modell (Das Modell wird getestet, indem geprüft wird, ob das Modell in den notwendigen Merkmalen (Struktur und/oder Funktion) mit dem Original übereinstimmt.)  Vergleich über das Durchführen von Experimenten	Überprüfung von Hypothesen (Das Modell wird angewendet, um in einer Untersuchung mit dem Modell, eine Hypothese über das Original zu überprüfen und Erkenntnisse über das Original zu gewinnen.)

„Modell werden verändert, weil ...“ (Ae\_o\_0)

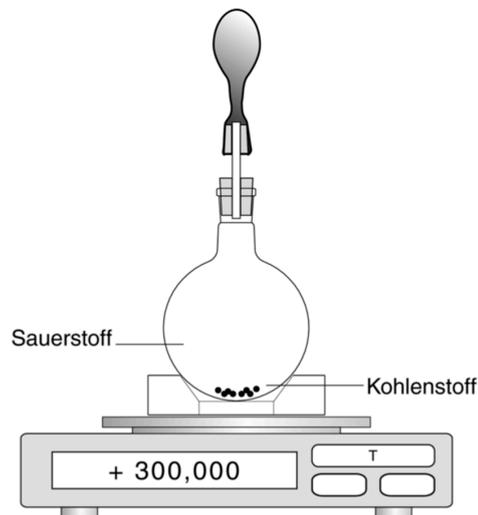
Niveau 0 = 0 P.	Niveau I = 1P.	Niveau II = 2 P.	Niveau III = 3 P.
<p>Kein Anlass für Veränderungen (Modelle sind endgültig und werden nicht verändert.)</p> <p>Ändern zur Darstellung unterschiedlicher Originale (Modelle werden verändert, weil es unterschiedliche Originale gibt und jedes Original durch ein Modell repräsentiert werden muss.)</p>	<p>Ändern zur Verbesserung des Modellobjekts (Modelle werden verändert, damit das Modell funktionsfähiger (z. B. bessere Technik) und ästhetischer wird. /damit man sich etwas besser vorstellen kann.)</p> <p>Ändern bei Nichterfüllung der Grundvoraussetzungen (Modelle werden verändert, um Materialfehler im Modell zu beheben. Modelle werden verändert, wenn sie nicht die technischen Anforderungen (z. B. das Fliegen bei einem Vogelmodell) für den Einsatz erfüllen.)</p>	<p>Ändern bei mangelnder Passung mit dem Original (Modelle werden verändert, wenn sie nicht mit dem Original übereinstimmen (Struktur und/oder Funktion).)</p> <p>Ändern bei neuen Erkenntnissen über das Original (Modelle werden verändert, wenn neue Informationen/Erkenntnisse über das Original im Modell berücksichtigt werden sollen. Modelle werden verändert, wenn sich die Originale verändern)</p>	<p>Ändern bei Erkenntnissen aus Modelleexperimenten (Modelle werden verändert, wenn auf der Grundlage von Ergebnissen aus einem Experiment mit Modellen, die Hypothese über das Original falsifiziert wurde.)</p>

## IX. SPSS-Syntax zur Datenauswertung in Teil II

### Grundlegende Berechnungen und Umkodierungen

**Berechnung** bzw. Zuordnung von Punkten für richtige Angaben bei Fachwissensitems, am Beispiel der Begründung für die Massenveränderung beim Boyle-Experiment:

Item:



In dem verschlossenen, mit Sauerstoff gefüllten Rundkolben wird Holzkohle (Kohlenstoff) verbrannt. Die gesamte Versuchsanordnung wiegt 300g. Nach der Reaktion ist kein Kohlenstoff mehr zu sehen.

Wie wird sich die Masse der Versuchsanordnung verändern?

*Kreuze bitte die Lösung an.*

Die Masse nimmt zu.

Die Masse bleibt gleich.

Die Masse nimmt ab.

```
DO IF F_B1_nd_0=-99 or F_B1_nd_0=-77.  
  COMPUTE F_B1_0=-99.  
ELSE IF F_B1_nd_0=2.  
  COMPUTE F_B1_0=1.  
ELSE IF F_B1_nd_0=1 or F_B1_nd_0=3.  
  COMPUTE F_B1_0=0.  
END IF.
```

**Umkodierung**, am Beispiel der Begründung für die Massenveränderung beim Boyle-Experiment:

Item:

Du findest im Folgenden eine Reihe von Aussagen, die sich auf den Chemieunterricht/das Fach Chemie beziehen.

Gehe bitte die Aussagen der Reihe nach durch und schätze bei jeder Aussage ein, inwieweit diese auf Dich zutrifft.

	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
1) Mich mit Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie zu befassen, gehört zu meinen Lieblingsbeschäftigungen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) Wenn ich mich mit Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie beschäftige, bekomme ich gute Laune.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) Wenn ich ehrlich bin, mag ich das Fach Chemie nicht besonders.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) Nach den Ferien freue ich mich auf das Fach Chemie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) Das Fach Chemie ist für mich persönlich wichtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) Die meisten Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie sind mir egal.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

```
RECODE GV_3_nd_0 (1=5) (2=4) (ELSE=COPY) INTO GV_3_0.
```

```
VARIABLE LEVEL GV_3_0 (SCALE).
```

```
VARIABLE LABELS GV_3_0 '3) Wenn ich ehrlich bin, mag ich das Fach Chemie nicht besonders.'
```

```
MISSING VALUES GV_3_0 (-99).
```

**Berechnung** von Differenzvariablen, am Beispiel des Fachwissens:

```
COMPUTE Diff_F_2_1=F_sum_2- F_sum_1.
```

```
VARIABLE LEVEL Diff_F_2_1 (SCALE).
```

```
VARIABLE LABELS Diff_F_2_1 'Differenz des Fachwissens der Zeitpunkte T2 und T1'.
```

```
MISSING VALUES Diff_F_2_1 (-99).
```

## Reliabilitätsprüfungen

**Interrater-Reliabilitätsanalysen** für Items auf metrischem Niveau, am Beispiel der des Items zur Begründung der Massenveränderung beim Boyle-Experiment in der Skala Fachwissen:

```
RELIABILITY
/VARIABLES=F_B2_0_V F_B2_0_A
/SCALE('ALL VARIABLES') ALL
/MODEL=ALPHA
/ICC=MODEL(MIXED) TYPE(ABSOLUTE) CIN=95 TESTVAL=0.
```

**Interrater-Reliabilitätsanalysen** für Items auf ordinalskaliertem Niveau, am Beispiel des Items mit offenem Format zu Eigenschaften von Modellen in der Skala Eigenschaften von Modellen:

```
WEIGHTED KAPPA E_0_V E_0_A
/MISSING SCOPE=TABLE CLASSMISSING=EXCLUDE
/CRITERIA WEIGHTING=LINEAR IGNORE_CASE=FALSE ASYMPTOTIC_CILEVEL=95
/PRINT ORDER(ASCENDING) CASE(UPPER).
```

**Reliabilitätsanalysen** für alle Skalen, am Beispiel der Skala Gefühlsbezogene Valenzen als Subskala des Fachinteresses:

```
RELIABILITY
/VARIABLES=GV_1_0 GV_2_0 GV_3_0 GV_4_0
/SCALE ('Fachinteresse, Gefühlsbezogene Valenzen') ALL
/MODEL=ALPHA
/STATISTICS=DESCRIPTIVE SCALE CORR
/SUMMARY=TOTAL.
```

## Verarbeitung der Ratings und Z-Standardisierung

**Verarbeitung der Ratings** für Items mit offenen Formaten, am Beispiel des Items zur Begründung der Massenveränderung beim Boyle-Experiment in der Skala Fachwissen:

```
DO IF (F_B2_0_V = F_B2_0_A) .  
    COMPUTE F_B2_0=F_B2_0_A.  
ELSE IF (F_B2_0_V ~= F_B2_0_A) .  
    COMPUTE F_B2_0=77.  
END IF.
```

**Z-Standardisierung** für Items aus gemischten Skalen, am Beispiel der Skala Eigenschaften von Modellen als Subskala der Modellbildungskompetenz:

```
DESCRIPTIVES VARIABLES=E_2_0, E_6_0, E_13_0, E_14_0, E_22_0, E_0  
    /SAVE  
    /STATISTICS=MEAN STDDEV MIN MAX.
```

## Unterschiede zu T=0

**t-Tests für unabhängige Stichproben** zur Identifikation von evtl. Geschlechtsunterschieden:

```
T-TEST GROUPS=Geschlecht_0(1 2)  
    /MISSING=ANALYSIS  
    /VARIABLES=F_sum_0 MBK_mean_0 Z_mean_0 T_mean_0 Ae_mean_0  
    /ES DISPLAY(TRUE)  
    /CRITERIA=CI(.95).
```

## Varianzanalysen mit Messwiederholung

**MANOVA mit Messwiederholung** für die Modellbildungskompetenz mit ihren Subdimensionen Zweck, Testen und Ändern von Modellen:

```
GLM MBK_mean_0 MBK_mean_1 MBK_mean_2 Z_mean_0 Z_mean_1 Z_mean_2 T_mean_0
    T_mean_1 T_mean_2 Ae_mean_0 Ae_mean_1 Ae_mean_2 BY ExpBed_0
  /WSFACTOR=Zeit 3 REPEATED
  /MEASURE=MBK Z T Ae
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /PLOT=PROFILE(Zeit*ExpBed_0) TYPE=BAR ERRORBAR=CI MEANREFERENCE=NO
  /PLOT=PROFILE(Zeit*ExpBed_0) TYPE=LINE ERRORBAR=NO MEANREFERENCE=NO
YAXIS=AUTO
  /EMMEANS=TABLES(ExpBed_0) COMPARE ADJ(BONFERRONI)
  /EMMEANS=TABLES(Zeit) COMPARE ADJ(BONFERRONI)
  /EMMEANS=TABLES(ExpBed_0*Zeit)
  /PRINT=DESCRIPTIVE ETASQ HOMOGENEITY
  /CRITERIA=ALPHA(.05)
  /WSDESIGN=Zeit
  /DESIGN=ExpBed_0.
```

**ANOVA mit Messwiederholung** für das Fachwissen:

```
GLM F_sum_0 F_sum_1 F_sum_2 BY ExpBed_0
  /WSFACTOR=Zeit 3 Repeated
  /MEASURE=Fachwissen
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /PLOT=PROFILE(Zeit*ExpBed_0) TYPE=LINE ERRORBAR=NO MEANREFERENCE=NO
YAXIS=AUTO
  /PRINT=DESCRIPTIVE ETASQ HOMOGENEITY
  /CRITERIA=ALPHA(.05)
  /WSDESIGN=Zeit
  /DESIGN=ExpBed_0.
```

## Korrelations- und Regressionsanalysen

**Korrelationsanalyse**, am Beispiel der Zusammenhänge zwischen der Differenzvariable der Modellbildungskompetenz und den Prädiktorvariablen zu T=0 (Modellbildungskompetenz mit Subdimensionen, Vorwissen, Fachinteresse, Fähigkeitsselbstkonzept und Modellkompetenz mit Subdimensionen):

### CORRELATIONS

```
/VARIABLES=Diff_MBK_2_1 MBK_mean_0 Z_mean_0 T_mean_0 Ae_mean_0 V_sum_0  
FI_mean_0 FSK_mean_0 MK_mean_0  
/PRINT=TWOTAIL NOSIG LOWER  
/MISSING=PAIRWISE.
```

**Regressionsanalyse**, am Beispiel der Regression der Differenz der Modellbildungskompetenz und der Modellbildungskompetenz sowie Subdimensionen und Modellkompetenz zu Beginn:

### REGRESSION

```
/DESCRIPTIVES MEAN STDDEV CORR SIG N  
/MISSING LISTWISE  
/STATISTICS COEFF OUTS CI(95) R ANOVA COLLIN TOL ZPP  
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)  
/NOORIGIN  
/DEPENDENT Diff_MBK_2_1  
/METHOD=ENTER Z_mean_0 T_mean_0 Ae_mean_0 MBK_mean_0 MK_mean_0  
/PARTIALPLOT ALL  
/RESIDUALS DURBIN HISTOGRAM(ZRESID) NORMPROB(ZRESID)  
/CASEWISE PLOT(ZRESID) OUTLIERS(3)  
/SAVE PRED COOK LEVER SRESID SDRESID.
```

## X. Ergebnisse der Studie in Teil II

### Ergebnisse der Reliabilitätsanalysen

Name der Skala	Items	Reliabilität T <sub>0</sub>	Bei weglassen von Item ...	Reliabilität T <sub>1</sub>	Bei weglassen von Item ...	Reliabilität T <sub>2</sub>	Bei weglassen von Item ...
Fachinteresse (Gesamtskala)	14	$\alpha = .93$	/				
Gefühlsbezogene Valenzen	5	$\alpha = .84$	„Wenn ich ehrlich bin, mag ich das Fach Chemie nicht besonders“ → $\alpha = .87$				
Wertbezogene Valenzen	5	$\alpha = .85$	„Die meisten Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie sind mir egal.“ → $\alpha = .87$				
Intrinsische Orientierung	4	$\alpha = .77$	/				
Naturwissenschaftsbezogenes Fähigkeitsselbstkonzept (Gesamtskala)	6	$\alpha = .90$	/				
Modellkompetenz (Gesamtskala)	10 +2 (offen)	$\alpha = .50$	/				
Modellkompetenz (Gesamtskala, geschlossen)	10	$\alpha = .68$	/				
Eigenschaften von Modellen	5 +1 (offen)	$\alpha = .27$	/				

Eigenschaften von Modellen (geschlossen)	5	$\alpha = .31$	„9) Aus einem Modell lassen sich Hypothesen über ein Original ableiten.“ → $\alpha=.42$				
Alternative Modelle	5 +1 (offen)	$\alpha = .45$	/				
Alternative Modelle (geschlossen)	5	$\alpha = .61$	/				
Vorwissen (Gesamtskala)	1 +2 (offen)	$\alpha = .21$	/				
Fachwissen (Gesamtskala)	2 +2 (offen)	$\alpha = .56$	/	$\alpha = .70$	Auswahl des Aufbaus mit gleichbleibender Masse → $\alpha=.71$	$\alpha = .77$	Begründung der Auswahl zur gleichbleibenden Masse → $\alpha=.78$
Modellbildungskompetenz (Gesamtskala)	15 +3 (offen)	$\alpha = .95$	/	$\alpha = .76$	/	$\alpha = .70$	/
Modellbildungskompetenz (Gesamtskala, geschlossen)	15	$\alpha = .86$	/	$\alpha = .77$	/	$\alpha = .68$	„Ein Modell wird verändert, wenn sich daraus abgeleitete Annahmen gegenseitig widersprechen.“ → $\alpha=.69$
Zweck von Modellen	5 +1 (offen)	$\alpha = .74$	offenen Items → $\alpha=.79$	$\alpha = .60$	offenen Items → $\alpha=.63$	$\alpha = .50$	„Ein Modell dient zur Generierung neuer Erkenntnisse über ein Original.“ → $\alpha=.51$
Zweck von Modellen (geschlossen)	5	$\alpha = .70$	/	$\alpha = .30$	„Mit einem Modell lassen sich Erkenntnisse über ein Original auf andere Phänomene übertragen.“ → $\alpha=.45$	$\alpha = .52$	/

Testen von Modellen	5 +1 (offen)	$\alpha = .88$	/	$\alpha = .59$	„Modelle werden getestet, indem man prüft, ob sich das Modell auf das Ausgangsobjekt anwenden lässt.“ → $\alpha=.63$  offenes Item → $\alpha=.63$ .	$\alpha = .28$	/
Testen von Modellen (geschlossen)	5	$\alpha = .57$	„Modelle werden getestet, indem die Passung zu bereits vorhandenen und neu generierten Daten überprüft wird.“ → $\alpha=.64$	$\alpha = .65$	/	$\alpha = .25$	„Modelle werden getestet, indem man prüft, ob sich das Modell auf das Ausgangsobjekt anwenden lässt.“ → $\alpha=.35$
Ändern von Modellen	5 +1 (offen)	$\alpha = .85$	/	$\alpha = .78$	/	$\alpha = .69$	„Ein Modell wird verändert, wenn sich daraus abgeleitete Annahmen gegenseitig widersprechen.“ → $\alpha=.71$
Ändern von Modellen (geschlossen)	5	$\alpha = .72$	/	$\alpha = .50$	„Ein Modell wird verändert, wenn eine an dem Modell aufgestellte Hypothese widerlegt wird.“ → $\alpha=.54$ „Ein Modell wird verändert, wenn eine aus dem Modell abgeleitete Hypothese über das Original falsifiziert (widerlegt) wird.“ → $\alpha=.54$	$\alpha = .64$	„Ein Modell wird verändert, wenn sich daraus abgeleitete Annahmen gegenseitig widersprechen.“ → $\alpha=.68$

## Ergebnisse der Drop out-Analysen

Name der Variable	Drop out-Stichprobe	gültige Stichprobe	F	Sig.	T	df
Summe aller Items zum Fachwissen, Zeitpunkt 0, Werte: 0-8 Punkte <sup>A</sup>	M= .79 SD= .34	M= .59 SD= .40	1.761	.225	-1.223	77
Summe aller Items zum Fachwissen, Zeitpunkt 1, Werte: 0-8 Punkte <sup>A</sup>	M= .47 SD= .40	M= .52 SD= .41	.041	.663	-.437	65
Summe aller Items zum Fachwissen, Zeitpunkt 2, Werte: 0-8 Punkte <sup>A</sup>	M= .74 SD= .53	M= .88 SD= .46	1.505	.724	-.354	83
<b>Summe aller Vorwissensfragen, Zeitpunkt 0, Werte: 0-8 Punkte <sup>B</sup></b>	<b>M= .78 SD= 1.11</b>	<b>M= 2.35 SD= 1.67</b>	<b>11.180</b>	<b>&lt; .001*</b>	<b>-5.345</b>	<b>57.679</b>
Mittelwert aller Items zum Fachinteresse, Zeitpunkt 0 <sup>A</sup>	M= 2.40 SD= .72	M= 2.71 SD= .83	.470	.078	-1.788	77
Mittelwert aller Items zum naturwissenschaftsbezogenen Fähigkeitsselbstkonzept, Zeitpunkt 0 <sup>A</sup>	M= 2.77 SD= .76	M= 3.10 SD= .89	.429	.081	-1.768	77
Mittelwert aller geschlossenen Items zur Modellkompetenz, Zeitpunkt 0 <sup>B</sup>	M= 3.38 SD= .81	M= 3.37 SD= .53	5.395	.951	.061	63.493
Mittelwert aller Items zur Modellbildungskompetenz nach Z-Standardisierung, Zeitpunkt 0 <sup>A</sup>	M= 3.33 SD= .82	M= 3.50 SD= .61	2.392	.330	-.981	71
Mittelwert aller Items zur Modellbildungskompetenz nach Z-Standardisierung, Zeitpunkt 1 <sup>A</sup>	M= 3.55 SD= .85	M= 3.57 SD= .52	3.115	.887	-.152	65
Mittelwert aller Items zur Modellbildungskompetenz nach Z-Standardisierung, Zeitpunkt 2 <sup>A</sup>	M= 3.33 SD= .58	M= 3.62 SD= .39	2.245	.011	-2.590	78

<sup>A</sup> Varianzhomogenität angenommen, da Levene-Test nicht signifikant

<sup>B</sup> Varianzheterogenität angenommen, da Levene-Test signifikant

\* **signifikant für ein Niveau von  $\alpha=.05/10=.005$**

( $\alpha$ -Bonferroni-Adjustierung für insgesamt 10 t-Tests derselben Stichprobe zum Ausgleich der  $\alpha$ -Fehlerkumulierung)

### Korrelationsanalysen zwischen den Prädiktorvariablen in Teil III

#### Korrelationsmatrix für die Differenzen (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>) der abhängigen Variablen in Teil II

N=40	MBK (T <sub>2</sub> -T <sub>1</sub> )	Fachwissen (T <sub>2</sub> -T <sub>1</sub> )	MBK (T <sub>0</sub> )	Z (T <sub>0</sub> )	T (T <sub>0</sub> )	Ae (T <sub>0</sub> )	Vorwissen (T <sub>0</sub> )	Fachinteresse (T <sub>0</sub> )	FSK (T <sub>0</sub> )
Modellbildungskompetenz (T <sub>0</sub> )	<b>r= .376*</b> <b>p= .017</b>	r= .097 p= .558							
Zweck von Modellen (T <sub>0</sub> )	<b>r= .405**</b> <b>p= .01</b>	r= .132 p= .422	<b>r= .953**</b> <b>p&lt; .01</b>						
Testen von Modellen (T <sub>0</sub> )	<b>r= .358*</b> <b>p= .023</b>	r= .102 p= .536	<b>r= .967**</b> <b>p&lt; .01</b>	<b>r= .898**</b> <b>p&lt; .01</b>					
Ändern von Modellen (T <sub>0</sub> )	<b>r= .316*</b> <b>p= .047</b>	r= .054 p= .745	<b>r= .947**</b> <b>p&lt; .01</b>	<b>r= .834**</b> <b>p&lt; .01</b>	<b>r= .878**</b> <b>p&lt; .01</b>				
Vorwissen (T <sub>0</sub> )	r= -.133 p= .414	r= .073 p= .657	r= .149 p= .358	r= .084 p= .606	r= .115 p= .479	r= .232 p= .150	-		
Fachinteresse (T <sub>0</sub> )	r= .084 p= .607	r= -.046 p= .781	r= .199 p= .219	r= .134 p= .410	r= .182 p= .260	r= .263 p= .102	r= .110 p= .601	-	
Fähigkeitsselbstkonzept, FSK (T <sub>0</sub> )	r= .001 p= .997	r= -.073 p= .660	<b>r= .413**</b> <b>p&lt; .01</b>	<b>r= .366*</b> <b>p= .020</b>	<b>r= .380*</b> <b>p= .016</b>	<b>r= .442**</b> <b>p&lt; .01</b>	r= .064 p= .694	<b>r= .734**</b> <b>p&lt; .001</b>	-
Modellkompetenz, MK (T <sub>0</sub> )	<b>r= .505**</b> <b>p&lt; .01</b>	r= .112 p= .496	<b>r= .758**</b> <b>p&lt; .01</b>	<b>r= .778**</b> <b>p&lt; .01</b>	<b>r= .738**</b> <b>p&lt; .01</b>	<b>r= .655**</b> <b>p&lt; .01</b>	r= .085 p= .603	r= .239 p= .137	<b>r= .368*</b> <b>p= .020</b>

## XI. Fragebogen I-II, Studie in Teil III

Schwarze Farbe: Texte und Fragen in beiden Fragebögen

Blaue Farbe: Texte und Fragen nur in Fragebogen I

### Seite 1: Anschreiben

#### Herzlich willkommen zur Umfrage zur Modellbildungskompetenz im Chemieunterricht.

Die Umfrage entspricht den datenschutzrechtlichen Bestimmungen der Universität des Saarlandes. Deine Teilnahme erfolgt freiwillig und kann jederzeit beendet werden. Bei einer Nichtteilnahme oder Beendigung entstehen Dir keine Nachteile. Personenbezogene Angaben werden streng vertraulich behandelt, ausschließlich zu Forschungszwecken im Rahmen des Dissertationsvorhabens von Frau Vanessa Lang genutzt und nicht an Dritte weitergegeben.

Bei Fragen wende Dich bitte an:

Vanessa Lang

[vanessa.lang@uni-saarland.de](mailto:vanessa.lang@uni-saarland.de)

0681/3022474

Wenn Sie mehr Informationen über die Verarbeitung Ihrer personenbezogenen Daten wünschen, bitte auf folgenden Link klicken.

- Ich stimme zu, dass meine personenbezogenen Daten gemäß den hier aufgeführten Angaben verarbeitet werden.

### Seite 2: Code-Generieren

Aus Gründen des Datenschutzes wird der folgende Fragebogen durch einen individuellen, fünfstelligen Code anonymisiert.

Trage dazu bitte die entsprechenden 5 Buchstaben in das folgende Feld ein:

1. Stelle:

Der **erste** Buchstabe des ersten Vornamens deines **Vaters** (oder einer Person, die für dich einem Vater am nächsten kommt) (z.B. Anton → A)

2. Stelle:

Der **erste** Buchstabe des ersten Vornamens deiner **Mutter** (oder einer Person, die für dich einer Mutter am nächsten kommt) (z.B. Maria → M)

3. Stelle:

Der **erste** Buchstabe **deines Vornamens** (z.B. Nicole → N oder Thomas → T)

4. Stelle:

Der **letzte** Buchstabe deiner **natürlichen Haarfarbe** (z.B. braun → N)

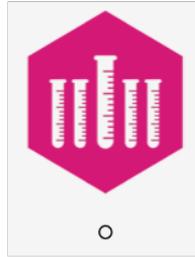
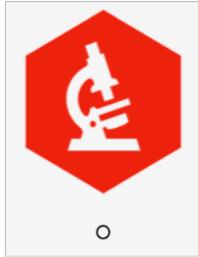
5. Stelle:

Der **letzte** Buchstabe deiner **natürlichen Augenfarbe** (z.B. blau → U)

(z.B. gesamter Code: AMNNU)

### Seite 3: Zuordnung Experimentalbedingung

Wähle bitte hier das Symbol aus, welches an der Tafel angebracht ist.



### Seite 4: Personenbezogenen Daten

Wähle bitte dein Geschlecht aus.

- männlich
- weiblich
- divers

Gib bitte in das folgende Feld dein Alter ein.

Wähle bitte im Folgenden deine Schulform aus.

- Gymnasium
- Gemeinschaftsschule
- Realschule
- Oberstufengymnasium/ Fachoberschule
- Sonstiges

Wähle bitte deine Klassenstufe aus.

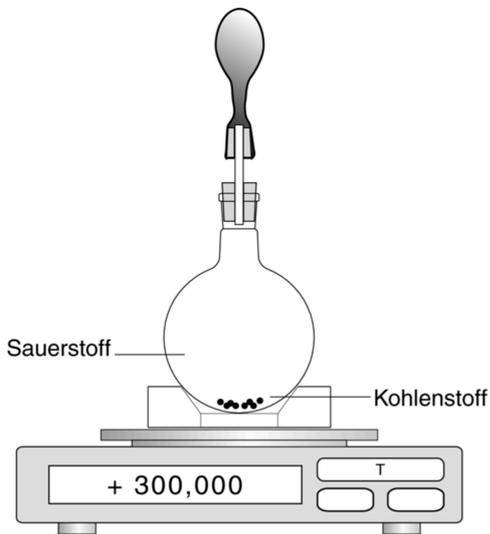
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13

Trage hier bitte deine letzten (Halb-)Jahresnoten aus den NW-Fächern im 15-Punkte-System (00=ungenügend, 15= sehr gut) ein.

Falls du ein Fach (noch) nicht hattest, lass das Feld bitte frei. Falls du dich an die letzte Note nicht erinnerst, trage eine ungefähre Note ein.

Naturwissenschaften:	Auswahl	▼
Biologie:	Auswahl	▼
Chemie:	Auswahl	▼
Physik:	Auswahl	▼

Seite 5: Fachwissen I (Bolye)



In dem verschlossenen, mit Sauerstoff gefüllten Rundkolben wird Holzkohle (Kohlenstoff) verbrannt. Die gesamte Versuchsapparatur wiegt 300 g. Nach der Reaktion ist kein Kohlenstoff mehr zu sehen.

Wie wird sich die Masse der Versuchsapparatur verändern? Kreuze bitte die Lösung an.

- Die Masse nimmt zu.
- Die Masse bleibt gleich.
- Die Masse nimmt ab.

Begründe bitte deine Vermutung, ob die Masse im oben beschriebenen Versuch zu nimmt, gleich bleibt oder abnimmt.

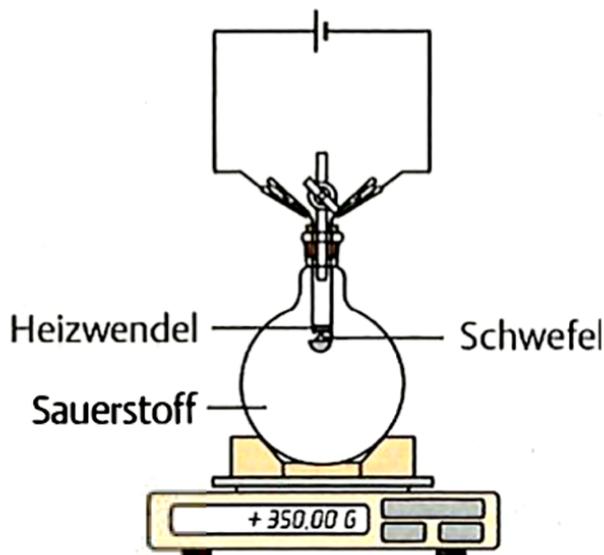
Seite 6: Fachwissen II: gleichbleibende Masse

Bei welchem beschriebenen Versuchsaufbau/ welchen beschriebenen Versuchsaufbauten ist die Gesamtmasse vor und nach der Reaktion gleich? Wähle unter den folgenden Versuchsaufbauten die entsprechende(n) Variante(n) aus, bei der/ denen die Gesamtmasse vor und nach der Reaktion gleich ist.

- Reaktion von Eisen und Schwefel im Reagenzglas mit Stopfen
- Reaktion von Eisen und Schwefel im offenen Reagenzglas
- Reaktion von Kupfer und Schwefel im offenen Reagenzglas
- Reaktion von Kupfer und Schwefel im Reagenzglas mit Luftballon

Begründe bitte deine Auswahl, bei welchem Versuchsaufbau/ welchen Versuchsaufbauten die Gesamtmasse gleich bleibt.

Seite 7: Fachwissen III (Verbrennung von Schwefel)



In einem mit Sauerstoff gefüllten Rundkolben befindet sich auf einem Verbrennungslöffel Schwefel. Die gesamte verschlossene Apparatur wird gewogen. Anschließend wird der Schwefel durch eine Heizwendel entzündet. Der Schwefel verbrennt mit leuchtend blauer Flamme zu gasförmigem Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und festem, weißem Schwefeltrioxid ( $\text{SO}_3$ ). Nach der Reaktion wird die gesamte verschlossene Apparatur erneut gewogen.

Welches Ergebnis erwartest Du? Kreuze bitte die Lösung an.

- Die Masse nimmt zu.
- Die Masse bleibt gleich.
- Die Masse nimmt ab.

Begründe bitte deine Vermutung, ob die Masse im oben beschriebenen Versuch zu nimmt, gleich bleibt oder abnimmt.

Die Abbildung rechts stellt einen Stoff im Atommodell nach DALTON dar.

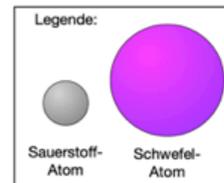
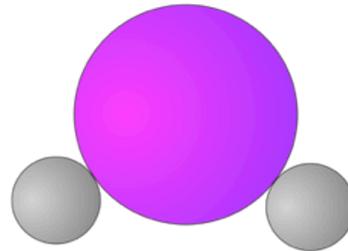
Wähle unter den folgenden Optionen die für die Abbildung zutreffenden Aussagen aus.

Dargestellt ist eine chemische Verbindung.

Dargestellt ist ein chemisches Element.

Dargestellt ist ein Reinstoff aus 2 Atomen Sauerstoff und 1 Atom Schwefel.

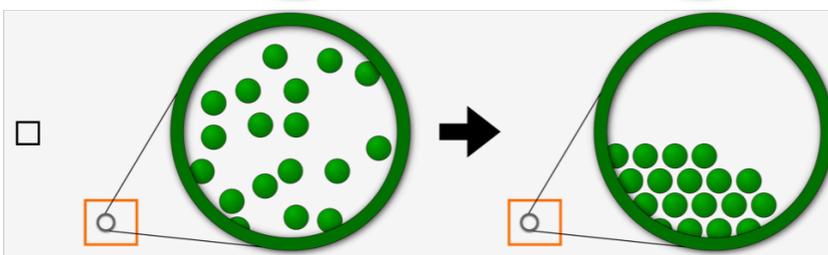
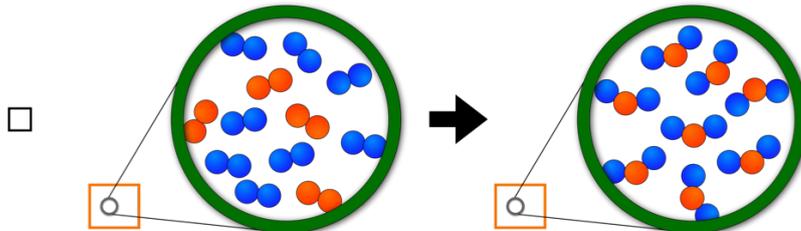
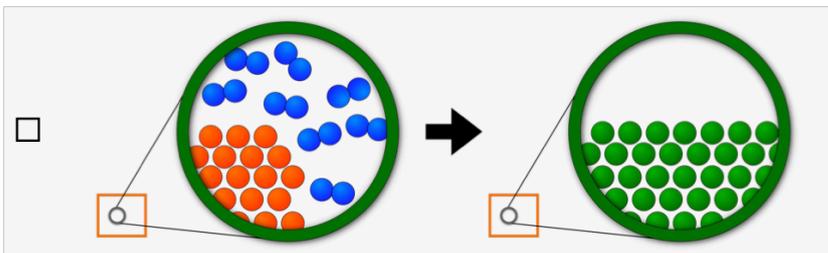
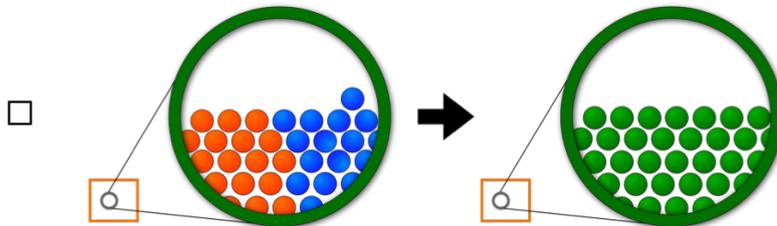
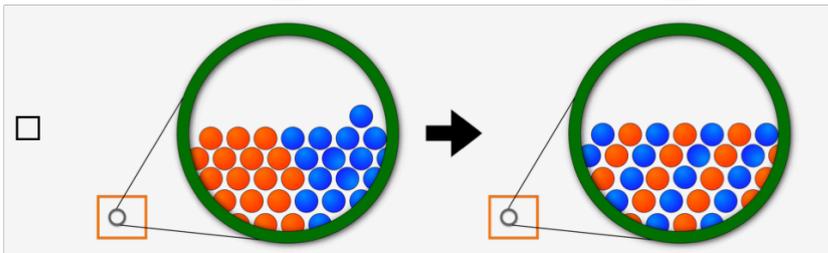
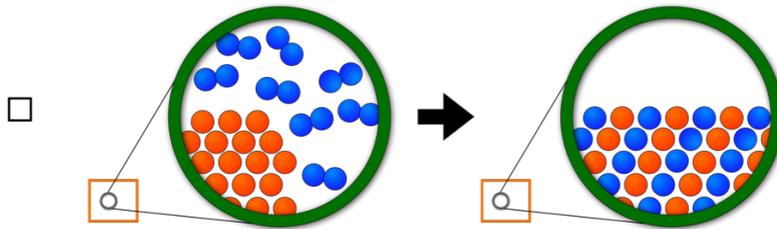
Dargestellt ist das Stoffgemisch aus den Elementen Sauerstoff und Schwefel.



Gib Eigenschaften einer chemischen Reaktion auf Stoffebene und Teilchenebene an.

Notiere die Wortgleichung zur Bildung von Eisenoxid aus den Elementen.

Wähle unter den folgenden Abbildungen diejenige aus, welche eine chemische Reaktion im Atommodell nach DALTON darstellen.



## Seite 9: Fachinteresse

Du findest im Folgenden eine Reihe von Aussagen, die sich auf den Chemieunterricht/das Fach Chemie beziehen. Gehe bitte die Aussagen der Reihe nach durch und schätze bei jeder Aussage ein, inwieweit diese auf Dich zutrifft.

	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
1) Mich mit Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie zu befassen, gehört zu meinen Lieblingsbeschäftigungen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Wenn ich mich mit Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie beschäftige, bekomme ich gute Laune.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Wenn ich ehrlich bin, mag ich das Fach Chemie nicht besonders.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Nach den Ferien freue ich mich auf das Fach Chemie.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5) Das Fach Chemie ist für mich persönlich wichtig.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6) Die meisten Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie sind mir egal.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
7) Ich denke, dass die Beschäftigung mit bestimmten Themen und Fragestellungen des Faches Chemie gut für meine persönliche Entwicklung ist.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8) Bestimmte Fragestellungen und Themen des Faches Chemie zu bearbeiten, ist mir wichtiger als meine Freizeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9) Wenn ich mehr Zeit hätte, würde ich mich intensiver mit Themen und Fragestellungen des Faches Chemie beschäftigen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10) Ich würde mich auch mit Themen und Fragestellungen des Faches Chemie beschäftigen, wenn es nicht um gute Noten gehen würde.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11) Auch außerhalb des Unterrichts befasse ich mich mit Themen und Fragestellungen des Faches Chemie (beispielsweise in AGs, bei Wettbewerben, Jugend forscht, ...).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Seite 10: naturwissenschaftsbezogenes Fähigkeitsselfkonzept

Du findest im Folgenden eine Reihe von Aussagen, die sich auf den naturwissenschaftlichen Unterricht beziehen. Gehe bitte die Aussagen der Reihe nach durch und schätze bei jeder Aussage ein, inwieweit diese auf Dich zutrifft.

	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
1) Ich glaube, dass ich anspruchsvollen Stoff im Chemieunterricht leicht lernen kann.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Normalerweise kann ich Prüfungsfragen im Chemieunterricht gut beantworten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Ich lerne neuen Stoff im Chemieunterricht schnell.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Den Stoff im Chemieunterricht finde ich einfach.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5) Wenn ich in Chemie (oder Naturwissenschaften) unterrichtet werde, verstehe ich neue Begriffe leicht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6) Es fällt mir leicht, neue Ideen im Chemieunterricht zu verstehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Seite 11: Modellkompetenz (offen)

#### Die Beziehung zwischen Modell und Original besteht darin, dass ...

Beende bitte den oben stehenden Satzanfang möglichst ausführlich. Solltest du den Satzanfang nicht beenden könne, begründe möglichst genau, warum nicht.

#### Mehrere Modelle zu einem Original sind sinnvoll, weil...

Beende bitte den oben stehenden Satzanfang möglichst ausführlich. Solltest du den Satzanfang nicht beenden könne, begründe möglichst genau, warum nicht.

### Seite 12: Modellkompetenz (Ratingskala)

#### Du findest im Folgenden eine Reihe von Aussagen, die sich auf Modelle im Chemieunterricht beziehen.

Gehe bitte die Aussagen der Reihe nach durch und schätze bei jeder Aussage ein, inwieweit diese auf Dich zutrifft.

	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
1) Ein Modell verbindet ein Original mit theoretischen Aspekten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Es gibt verschiedene Modelle, weil es verschiedene theoretische Interpretationen des Originals gibt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Ein Modell umfasst, was Modellierer bezüglich des Originals vermuten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Es gibt verschiedene Modelle, weil es unterschiedliche Interpretationen von Daten zu einem Original gibt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5) Ein Modell enthält Ideen zu einem Ausgangsobjekt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
6) Ein Modell beinhaltet Vermutungen zu einem Original.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7) Mit verschiedenen Modellen können unterschiedliche Hypothesen geprüft werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8) Es gibt verschiedene Modelle, weil Forscher*innen unterschiedliche Vorstellungen zu einem Original haben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9) Aus einem Modell lassen sich Hypothesen über ein Original ableiten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10) Es gibt verschiedene Modelle, weil verschiedene Fragestellungen zum Original bearbeitet werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Seite 13: Modellbildungskompetenz (offen)

#### Modelle dienen dazu, dass ...

Beende bitte den oben stehenden Satzanfang möglichst ausführlich. Solltest du den Satzanfang nicht beenden könne, begründe möglichst genau, warum nicht.

**Modell überprüft man, indem ...**

Beende bitte den oben stehenden Satzanfang möglichst ausführlich. Solltest du den Satzanfang nicht beenden könne, begründe möglichst genau, warum nicht.

**Modell werden verändert, weil ...**

Beende bitte den oben stehenden Satzanfang möglichst ausführlich. Solltest du den Satzanfang nicht beenden könne, begründe möglichst genau, warum nicht.

**Seite 14: Modellbildungskompetenz (Ratingskala)****Du findest im Folgenden eine Reihe von Aussagen, die sich auf Modelle im Chemieunterricht beziehen.**

Gehe bitte die Aussagen der Reihe nach durch und schätze bei jeder Aussage ein, inwieweit diese auf Dich zutrifft.

	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
1) Ein Modell dient als Forschungswerkzeug.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Ein Modell wird verändert, wenn die Ergebnisse von Experimenten den Modellvorhersagen widersprechen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Modelle werden getestet, indem Hypothesen über das Original mit dem Modell überprüft werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Modelle werden getestet, indem man prüft, ob sich das Modell auf das Ausgangsobjekt anwenden lässt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5) Ein Modell dient zur Generierung neuer Erkenntnisse über ein Original.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
6) Ein Modell wird verändert, wenn eine an dem Modell aufgestellte Hypothese widerlegt wird.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7) Mit einem Modell lassen sich Erkenntnisse über ein Original auf andere Phänomene übertragen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8) Modelle werden getestet, indem die Passung zu bereits vorhandenen und neu generierten Daten überprüft wird.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9) Ein Modell dient dazu, mit Hilfe von Daten Hypothesen über ein Original zu überprüfen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10) Aus Modellen werden Voraussagen über Zusammenhänge im Original abgeleitet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
11) Modelle werden getestet, indem Annahmen über das Original anhand von Untersuchungen geprüft werden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12) Ein Modell wird verändert, wenn eine aus dem Modell abgeleitete Hypothese über das Original falsifiziert (widerlegt) wurde.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13) Modelle werden getestet, indem man überprüft, ob Schlussfolgerungen aus dem Modell zur Realität passen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14) Ein Modell wird verändert, wenn aus diesem Modell abgeleitete Hypothesen neuen Forschungsergebnissen widersprechen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15) Ein Modell wird verändert, wenn sich daraus abgeleitete Annahmen gegenseitig widersprechen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 15: Endseite

**Danke!**

**Vielen Dank, dass du an dieser Umfrage teilgenommen hast.**

**Du kannst diesen Tab nun schließen.**

**Falls du noch Fragen hast, stell diese gerne den Testleiter\*innen vor Ort oder schreibe eine E-Mail an [vanessa.lang@uni-saarland.de](mailto:vanessa.lang@uni-saarland.de).**

## XII. Kodiermanual Fragebögen, Teil III

### Seite 2: Fachwissen I (Boyle), Variable F\_B2\_o\_0 (max. 2 P.):

- Bezug zum System geschlossenen System (1 P.)
- Richtige Begründung auf Teilchenebene (1 P.)
- Nennung des Gesetzes der Erhaltung der Masse (0,5 P.)

### Seite 3: Fachwissen II (gleichbleibende Masse), Variable F\_2\_o\_0 (max. 3 P.):

- Austausch mit der Umgebung (1 P.)
- Geschlossenes System (1 P.)
- Richtige Begründung auf Teilchenebene (1 P.)

### Seite 4: Fachwissen III (Verbrennung von Schwefel), Variable F\_S2\_o\_0 (max. 2 P.):

- Bezug zum System geschlossenen System (1 P.)
- Richtige Begründung auf Teilchenebene (1 P.)
- Nennung des Gesetzes der Erhaltung der Masse (0,5 P.)

### Seite 5: Vorwissen

#### Variable V\_1\_o\_0 (max. 3 Punkte):

- Eine chemische Reaktion ist ein **Vorgang (1 P.)**, bei dem aus Ausgangsstoffen (Edukten) **neue Stoffe mit neuen Eigenschaften (1 P.)** (Produkte = Endstoffe) gebildet werden.
- **Umgruppierung von Teilchen (1 P.)**

#### Variable V\_2\_o\_0 (max. 3 Punkte):

Magnesium (1 P.) + Sauerstoff (1 P.) → Magnesiumoxid/Magnesia (1 P.)

## Seite 7: Modellkompetenz

### Variable E\_o\_0:

Niveau 0= 0 P.	Niveau I = 1 P.	Niveau II = 2 P.	Niveau III = 3 P.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antwort hat nichts mit der Frage zutun/ Kein Bezug zu Modell oder Original</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Modell als Kopie</b> (Das Modell sieht genauso aus wie das Original und gleicht ihm in allen Eigenschaften. Das Modell ist eine vergrößerte/verkleinerte Kopie des Originals.)</li> <li>• <b>Modell mit großer Ähnlichkeit</b> (Das Modell ähnelt dem Original in fast allen Eigenschaften. Bestimmte Eigenschaften des Originals sind vom Modellierer nicht gut umgesetzt worden oder entsprechen nicht meinen Vorstellungen.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Modell ist in Teilen eine Kopie</b> ( Das Modell gleicht nur in bestimmten Merkmalen dem Original. Andere Merkmale sind für den Modellierer nicht bekannt und können daher nicht beurteilt werden.)</li> <li>• <b>Modell als fokussierte Darstellung</b> (Das Modell ist vereinfacht, d. h. nur bestimmte Merkmale sind dargestellt und hervorgehoben. Andere Merkmale sind nicht gezeigt.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Modell als hypothetische Darstellung</b> (Das Modell stellt eine Idee/Hypothese über das Original dar. Eine Ähnlichkeit zwischen Original und Modell ist möglich.)</li> </ul>

### Variable AI\_o\_0:

Niveau 0 = 0 P.	Niveau I = 1P.	Niveau II = 2 P.	Niveau III = 3 P.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Verschiedene Modelle zu unterschiedlichen Originalen</b> (Es gibt verschiedene Modelle zu einem Original, weil jedes Modell ein anderes Original repräsentiert.)</li> <li>• <b>Nur ein richtiges und endgültiges Modell</b> (s gibt verschiedene Modelle zu einem Original, weil nur eines der alternativen Modelle korrekt ist und die anderen falsch sind. Es gibt verschiedene Modelle zu einem Original, weil diese Modelle den historischen Entwicklungsprozess zeigen sollen und nur eines dieser Modelle das endgültige und richtige Modell ist.)</li> <li>• <b>Modelle als Vielfältigkeiten der Originale</b> (von den Originalen gibt es nicht so viele oder sie können kaputt gehen, dann kann man sich mit Modellen helfen)</li> <li>• <b>Antwort hat nichts mit der Frage zutun</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Unterschiedliche Modelleigenschaften</b> (Es gibt verschiedene Modelle zu einem Original, weil die Modelle unterschiedlich gebaut sind (2-D/3-D, verschiedene Farben, verschiedene Materialien). Es gibt verschiedene Modelle zu einem Original, weil die Modelle unterschiedliche Eigenschaften haben (beweglich/unbeweglich, weich/hart).)</li> <li>• <b>Verschiedene Modelle zum Erkennen von Unterschieden</b></li> <li>• <b>Bessere Vorstellung von dem Original durch alternative Modelle</b></li> <li>• <b>Mehr Möglichkeiten zur genaueren Betrachtung/ zum tieferen Verständnis</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Unterschiedliche inhaltliche Schwerpunkte</b> (Es gibt verschiedene Modelle zu einem Original, weil das Original komplex ist und verschiedene Modelle notwendig sind, um unterschiedliche Perspektiven auf das Original zu zeigen (u. a. innen/außen, Längs- /Querschnitt, Struktur/Funktion, verschiedene Ausschnitte bzw. Zustände des Originals).)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Unterschiedliche Annahmen</b> (Es gibt verschiedene Modelle zu einem Original, weil aus den Untersuchungen am Original unterschiedliche Vermutungen/Hypothesen/Ideen abgeleitet werden können.)</li> </ul>

## Seite 9: Modellbildungskompetenz

### Variable Z\_o\_0:

Niveau 0 = 0 P.	Niveau I = 1 P.	Niveau II = 2 P.	Niveau III = 3 P.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nicht durchgenommen/ wir hatten noch keine Modelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Modell zum Darstellen eines Sachverhalts</b> (Das Modell hat den Zweck, Merkmale/Sachverhalte des Originals darzustellen.) besser sehen, vorstellen, beschreiben</li> <li>• <b>Modelle als entbehrliche Kopie der Originale</b> (Modelle werden verwendet, damit das Original nicht kaputt geht)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Modell zum Erkennen/Erklären von Zusammenhängen</b> ( Das Modell hat den Zweck, Zusammenhänge zwischen verschiedenen Aspekten im Original zu erklären und bekannte Tatsachen nachzuvollziehen.)</li> <li>• <b>Modell zum Lernen</b> ( Das Modell hat den Zweck, in Chemie besser lernen zu können./ etwas besser zu verstehen.)</li> <li>• <b>Untersuchungen durchführen</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Modell zum Überprüfen von Ideen</b> (Das Modell hat den Zweck, Voraussagen über das Original abzuleiten. Das Modell hat den Zweck, Hypothesen über das Original zu prüfen und Schlüsse über das Original zu ziehen. Das Modell hat den Zweck, Erkenntnisse über das Original auf andere Phänomene zu übertragen.) Modelle zum Erforschen der Realität.)</li> </ul>

### Variable T\_o\_0:

Niveau 0 = 0 P.	Niveau I = 1P.	Niveau II = 2 P.	Niveau III = 3 P.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Keine Testung des Modells</b> (Eine Testung des Modells bzw. mit dem Modell ist unnötig.)</li> <li>• nicht durchgenommen/ wir hatten noch keine Modelle</li> <li>• <b>Überprüfung des Modells</b> (nicht weiter ausgeführt)</li> <li>• Das Modell wird getestet, indem man nur ganz genau hinschaut (z.B. mit einem Mikroskop).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Überprüfung des Materials</b> (Das Modell wird getestet, indem das Material auf Widerstandsfähigkeit (u. a. Beweglichkeit, Stabilität, Elastizität) überprüft wird.)</li> <li>• <b>Überprüfung der Grundvoraussetzungen</b> (Das Modell wird getestet, indem geprüft wird, ob technische Anforderungen (z. B. das Fliegen bei einem Vogel-Modell) für den Einsatz des Modells erfüllt sind.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Vergleich zwischen Modell und Original</b> (Das Modell wird getestet, indem es mit dem Original verglichen (Struktur und/oder Funktion) wird.)</li> <li>• <b>Vergleich und Passung zwischen Original und Modell</b> (Das Modell wird getestet, indem geprüft wird, ob das Modell in den notwendigen Merkmalen (Struktur und/oder Funktion) mit dem Original übereinstimmt.)</li> <li>• <b>Vergleich über das Durchführen von Experimenten</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Überprüfung von Hypothesen</b> (Das Modell wird angewendet, um in einer Untersuchung mit dem Modell, eine Hypothese über das Original zu überprüfen und Erkenntnisse über das Original zu gewinnen.)</li> </ul>

## Variable Ae\_0\_0:

Niveau 0 = 0 P.	Niveau I = 1P.	Niveau II = 2 P.	Niveau III = 3 P.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kein Anlass für Veränderungen</b> (Modelle sind endgültig und werden nicht verändert.)</li> <li>• <b>Ändern zur Darstellung unterschiedlicher Originale</b> (Modelle werden verändert, weil es unterschiedliche Originale gibt und jedes Original durch ein Modell repräsentiert werden muss.)</li> <li>• Modelle werden verändert, wenn sich die Originale verändern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ändern zur Verbesserung des Modellobjekts</b> (Modelle werden verändert, damit das Modell funktionsfähiger (z. B. bessere Technik) und ästhetischer wird. <sup>SEP</sup>damit man sich etwas besser vorstellen kann.)</li> <li>• <b>Ändern bei Nichterfüllung der Grundvoraussetzungen</b> (Modelle werden verändert, um Materialfehler im Modell zu beheben. Modelle werden verändert, wenn sie nicht die technischen Anforderungen (z. B. das Fliegen bei einem Vogel=Modell) für den Einsatz erfüllen.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ändern bei mangelnder Passung mit dem Original</b> (Modelle werden verändert, wenn sie nicht mit dem Original übereinstimmen (Struktur und/oder Funktion).)</li> <li>• <b>Ändern bei neuen Erkenntnissen über das Original</b> (Modelle werden verändert, wenn neue Informationen/Erkenntnisse über das Original im Modell berücksichtigt werden sollen.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ändern bei Erkenntnissen aus Modellexperimenten</b> (Modelle werden verändert, wenn auf der Grundlage von Ergebnisse aus einem Experiment mit Modellen, die Hypothese über das Original falsifiziert wurde.)</li> </ul>

# XIII. Materialien der Intervention in Teil III

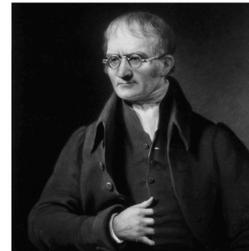
## Vorbereitendes Arbeitsblatt zur Intervention in Teil III inklusive Musterlösung

### Wiederholungseinheit zu chemischen Reaktionen im Atommodell nach DALTON

#### Atommodell nach DALTON

Alle Stoffe sind aus kleinen Teilchen aufgebaut- egal ob Feststoffe, Flüssigkeiten oder Gase. Schon seit der Antike sprechen Gelehrte über diese kleinen Teilchen- die sogenannten Atome.

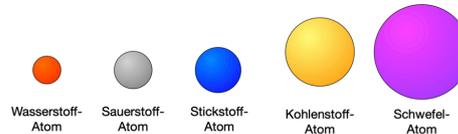
Der englische Naturforscher und Lehrer JOHN DALTON entwickelte mit seinem 1808 entwickelten Atommodell die Vorstellung von den kleinen Teilchen weiter. In seinem Modell gilt folgendes:



#### Atommodell nach John DALTON:

- Atome können nicht erschaffen oder vernichtet werden.
- Atome haben kugelförmige Gestalt.
- Atome desselben Elements sind gleich aufgebaut.
- Atome unterschiedlicher Elemente unterscheiden sich in Größe und Gewicht.
- Chemische Verbindungen sind Zusammenschlüsse aus 2 oder mehr Atomsorten. Verbindungen können auch wieder getrennt werden.

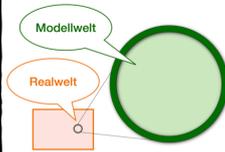
Ergänze die folgende Tabelle mit den modellhaften Darstellungen von Sauerstoff-, Wasserstoff-, Stickstoff-, Schwefel- und Kohlenstoff-Atomen.



Beschreibung	Darstellung im Atommodell nach DALTON	Beschreibung	Darstellung im Atommodell nach DALTON
Zwei einzelne Sauerstoff-Atome		Die Verbindung Wasser besteht aus einem Sauerstoff- und zwei Wasserstoff-Atomen.	
Ein Schwefelatom		Die Verbindung Kohlenstoffdioxid besteht aus: Einem Kohlenstoff- und zwei Sauerstoffatomen	
Ein Sauerstoff-Molekül besteht aus zwei Sauerstoff-Atomen.		Die Verbindung Ammoniak besteht aus einem Stickstoff-Atom und drei Wasserstoff-Atomen.	

## Die chemische Lupe

### Die „chemische Lupe“



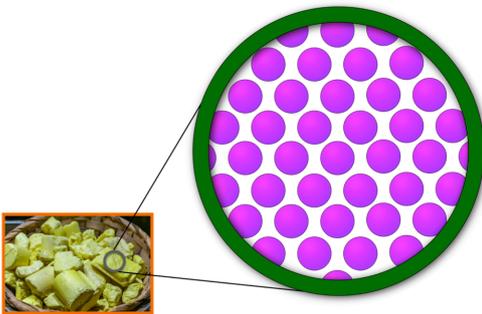
Die „chemische Lupe“ vergrößert nicht, sondern sie stellt Stoffe modellhaft auf der Teilchenebene dar. Alles, was du außerhalb des grünen Kreises siehst, bildet die Realwelt ab (orangefarbener Kasten), während im Inneren der „chemischen Lupe“ die Modellwelt dargestellt wird.

Sie hilft dir also dabei, zwischen Aspekten der Realwelt und der Modellwelt zu unterscheiden.

Beschreibe das folgende Bild, das das Element Schwefel mit der chemischen Lupe darstellt.

Abbildung

Beschreibung



Schwefel ist auf der Stoffebene ein gelber Feststoff.

Die Schwefel-Atome werden hier durch lila farbene

Kugeln dargestellt. Diese weisen durch den festen

Aggregatzustand eine Ordnung auf.

## Chemische Reaktion auf Teilchenebene

- 1) Scanne den QR-Code auf der rechten Seite, um dir ein Video der Reaktion von Kupfer mit Schwefel anzusehen. Erkläre, woran man erkennt, dass es sich hierbei um eine chemische Reaktion handelt.

- **Energieumsatz:** Bei der Reaktion wird Aktivierungsenergie aufgewendet, um Kupfer und Schwefel zur Reaktion zu bringen.

- **Stoffumsatz:** Bei der Reaktion entsteht aus einem orangefarbenen, verformbaren Feststoff

mit metallischen Glanz und einem gelben Feststoff ein dunkel blauer, glänzender und poröser Feststoff.

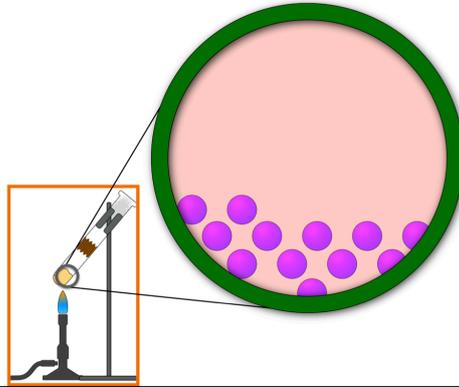


- 2) Notiere ausgehend von 1) die Wortgleichung zur Bildung von Kupfersulfid.

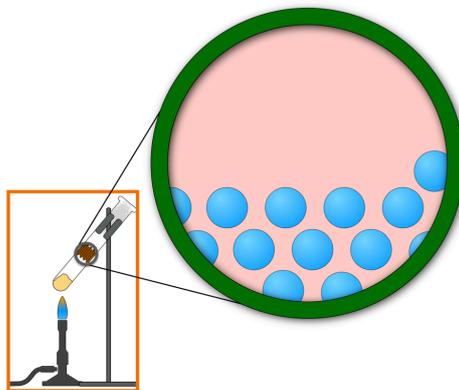
Kupfer + Schwefel → Kupfersulfid

3) Ergänze in der folgenden Abbildungen die Teilchendarstellungen:

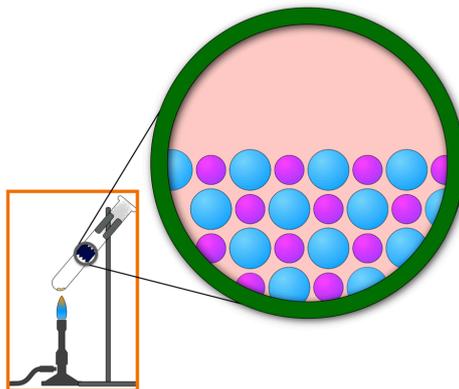
Schwefel:



Kupfer:



Kupfersulfid:



Darstellungen der Elemente:

Schwefel: 

Kupfer: 

# Präsentationsfolien aller vier Experimentalgruppen

## Vorbereitende Einheit (für alle EG identisch, vgl. grauer Rahmen)

**Herzlich Willkommen zur Lerneinheit**  
*Chemische Reaktionen auf der Teilchenebene*



**Klicken zum Beginnen**

**Dein Individueller Code**

**Aufgabe:** Trage auf dieser Folie deinen individuellen Code vom Fragebogen ein.

Zur Erinnerung:

- Der **erste** Buchstabe des ersten Vornamens deines **Vaters** (oder einer Person, die für dich einen Vater am nächsten kommt).
- Der **erste** Buchstabe des ersten Vornamens deiner **Mutter** (oder einer Person, die für dich eine Mutter am nächsten kommt).
- Der **erste** Buchstabe deines **Vornamens**.
- Der **letzte** Buchstabe deiner natürlichen **Hautfarbe**.
- Der **letzte** Buchstabe deiner natürlichen **Augenfarbe**.

**Fragebogen zum Abschluss**

**Fragebogen**  
Zeit: 30 Minuten



**Start des Lerntempo-Duetts**

Lerntempo-Duett-Stufe 1

Bearbeite den ersten Teil der Lerneinheit in Einzelarbeit. Klicke dazu auf Weiter.

**Weiter mit der Bearbeitung**

Falls du die Methode des Lerntempo-Duetts nicht verstehst, öffne die Merkmalsliste zur Vorgehensweise.

**Kenntnisse über Modelle**



Das Bild auf der linken Seite zeigt ein Auto. Dabei handelt es sich um einen sog. Käfer der Firma Volkswagen.

**Aufgabe:** Beschreibe das Aussehen und die Funktionen dieses Autos mit der folgenden Aufgabe.

**Kenntnisse über Modelle**



Zum VW Käfer gibt es auch Modelle, z.B. in Form von Spielzeugautos.

**Aufgabe:** Bearbeite die folgende Aufgabe, um die Beziehung zwischen dem Käfer im Original und seinem Modell- dem Spielzeugauto- herzustellen:

**Kenntnisse über Modelle**

Aus den vorherigen Aufgaben lassen sich **Eigenschaften von Modellen** ableiten:

**Modelle** sind idealisierte Repräsentationen. Sie sind der Realität ähnlich, aber unterscheiden sich auch von ihr.

**Kenntnisse über Modelle**



Von uns Menschen gibt es verschiedene Darstellungen. Alle sind modellhaft, denn sie bilden immer nur einen Teil des Menschen ab und stellen manche Aspekte bewusst anders dar, z.B. um sie zu betonen.

**Aufgabe:** Bearbeite die folgende Aufgabe, um die Zwecke der verschiedenen Modelle des Menschen zu begründen:

Zurück Weiter

**Kenntnisse über Modelle**

*Aus der vorherigen Aufgabe lässt sich ableiten, wieso es **Alternative Modelle** zu demselben Objekt geben kann:*

Für unterschiedliche Fragestellungen werden **unterschiedliche Modelle** benötigt.

Zurück Weiter

Zurück Weiter

**Kenntnisse über Modelle**

*Lerntempo-Duett-Stufe 2*

**Schritt 1:**  
Sieh dich um, ob jemand in deiner Klasse sich meldet. Bilde mit ihm/ihr eine Gruppe.

Falls sich niemand meldet, hebe die Hand und warte, bis der/die nächste mit der Bearbeitung fertig ist.

**Schritt 2:**  
Bearbeite zusammen mit deinem Partner/ deiner Partnerin weiter die Lerneinheit.  
Klicke dazu auf Weiter.

Weiter mit der Bearbeitung

Zurück Weiter

Zurück Weiter

**Der Code deines/deiner Partners/Partnerin**

**Aufgabe:** Trage auf dieser Folie den individuellen Code deines Partners/ deiner Partnerin ein.

Zurück zu deinem individuellen Code

Zurück Weiter

Zurück Weiter

**Kenntnisse über Modelle**

**Aufgabe 1:**  
*Tauscht euch zu zweit über die Ergebnisse der vorangegangenen Aufgaben aus und macht euch ggf. Notizen.*

**Notizen:**

**Aufgabe 2:**  
Bearbeite gemeinsam die folgende abschließende Aufgabe.

Zurück Weiter

Zurück Weiter

**!!! STOP !!!**

Wenn ihr an dieser Stelle angekommen seid, wendet euch an die Lehrperson.

Weiter zum nächsten Teil

**Aktivierung Schülervorstellungen (für alle EG identisch)**

Zurück Weiter

Wo und in welcher Form begegnen euch Verbrennungen im Alltag?

Zurück Weiter

Zurück Weiter

**Verbrennungen im Alltag**

**Aufgabe 1:** Notiere alles, was dir zu Verbrennungen aus deinem Alltag einfällt.

**Verbrennungen im Alltag:**

**Aufgabe 2:** Sammle mit deinem Partner/ deiner Partnerin die wichtigsten Ideen.

**Verbrennungen im Alltag:**

**Aufgabe 3:** Vergleiche eure gemeinsamen Ideen mit der hier vorgegebenen Wortwolke.

Zurück Weiter

## Haupteinheit (unterschieden in EG 1 bis 4)

### EG 1 (identische Folien für alle EGs wieder mit grauem Rahmen)

Zurück Weiter

**Experiment 1: Verbrennung von Streichhölzern**

**Durchführung:**  
Eine Abdampfschale wird auf einer Waage platziert. In die Abdampfschale werden vier Streichhölzer gelegt und die Masse notiert. Die Streichhölzer werden mit einem Feuerzeug auf der Waage entzündet. Nach der Verbrennung die Masse erneut notiert.

**Aufgabe 1:** Beschriftet folgende Skizze zu Experiment 1 anhand der Durchführung.

**Aufgabe 2:** Führt das Experiment gemeinsam durch und notiert eure Beobachtungen auf der folgenden Seite.

Zurück Weiter

**Beobachtung und Ergebnis des Experiments 1**

**Aufgabe 1:** Notiert die Beobachtungen des Experiments 1 stichwortartig.

**Beobachtung:**  
Masse<sub>vorher</sub>= \_\_\_\_\_ Masse<sub>nachher</sub>= \_\_\_\_\_

**Aufgabe 2:** Leitet aus der Beobachtung ein Ergebnis des Experiments ab.

**Ergebnis:**

Zurück Weiter

**Mentales Modell zu Experiment 1**

**Impulsfragen, die zum Denken anregen:**

Hast du eine Idee, wie es zu dieser Beobachtung kommen kann?

Hast du eine Vorstellung, welche Rolle das offene System bei diesem Vorgang spielt?

Passt das Ergebnis zu deiner Vorstellung von Massen bei chemischen Reaktionen?

Zurück Weiter

**Modell zu Experiment 1**

**Aufgabe:** Stellt die Teilchen der Stoffe im Experiment 1 vor und nach der Reaktion im Atommodell nach DALTON dar. Verwendet zur Darstellung die ausgedruckten Vorlagen, macht Fotos und fügt diese in die dafür vorgesehenen Rahmen ein.

Vor der Reaktion	Nach der Reaktion
<p>Dokumentiere mit einem Foto. Klicke auf das +, mache ein Foto und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Foto ersetzt.</p>	<p>Dokumentiere mit einem Foto. Klicke auf das +, mache ein Foto und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Foto ersetzt.</p>

Zurück Weiter

**Modell zu Experiment 1**

**Aufgabe:** Beschreibt den Prozess aus Experiment 1 auf Teilchenebene anhand der beiden Bilder von der letzten Seite. Fügt diese hier links noch einmal ein.

**Beschreibung des Prozesses auf Teilchenebene:**

**Vor der Reaktion**

**Nach der Reaktion**

Zurück Weiter

**Erklärung des Experiments 1 anhand des Modells**

**Aufgabe 1:** Erklärt nun die Beobachtung und das Ergebnis des Experiments 1 anhand des Atommodells nach DALTON.

**Erklärung des Experiments 1:**

Lässt sich eure Modelldarstellung auf alle anderen chemischen Reaktionen übertragen?

**Aufgabe 2:** Überlegt euch eine Möglichkeit, wie das überprüft werden könnte, und notiert diese.

**Möglichkeit zur Überprüfung der Übertragbarkeit:**

Zurück Weiter

**!!! STOP !!!**

Wenn ihr an dieser Stelle angekommen seid, wendet euch an die Lehrperson.

Weiter zum nächsten Teil

Zurück Weiter

Verhalten sich die Massen bei chemischen Reaktionen immer gleich?

Zurück Weiter

### Hypothese zum Ausgang von Experiment 2

**Aufgabe 1:** Lest euch die Durchführung zu Experiment 2 durch und kehrt wieder zu dieser Stelle zurück.

**Aufgabe 2:** Stellt mit Hilfe der Ergebnisse von Experiment 1 Hypothesen auf, welche Beobachtungen bei Experiment 2 wohl gemacht werden können, und tragt diese unten ein.

**Hypothese:**

---



---

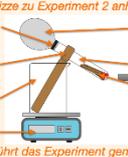
Zurück zur letzten Folie Weiter zu Experiment 2

Zurück Weiter

### Experiment 2: Verbrennung von Streichhölzern II

**Durchführung:**  
Vier Streichhölzer werden in ein Reagenzglas gegeben und dieses mit einem Luftballon und Kabelbindern luftdicht verschlossen. Die Masse wird bestimmt. Mit einem Brenner (rauschende Flamme) werden die Streichhölzer entzündet, während das Reagenzglas auf der Waage steht (vgl. Abbildung). Die Masse wird anschließend erneut bestimmt.

**Aufgabe 1:** Beschriftet folgende Skizze zu Experiment 2 anhand der Durchführung.



**Aufgabe 2:** Führt das Experiment gemeinsam durch und notiert eure Beobachtungen auf der folgenden Seite.

Zurück zur Hypothese Weiter

Zurück Weiter

### Beobachtung und Ergebnis des Experiments 2

**Aufgabe 1:** Notiert die Beobachtungen des Experiments 2 stichwortartig.

**Beobachtung:**  
Masse<sub>vorher</sub>=  Masse<sub>nachher</sub>=

**Aufgabe 2:** Leitet aus der Beobachtung ein Ergebnis des Experiments ab.

**Ergebnis:**

---



---

Zurück zur Hypothese Weiter

Zurück Weiter

### Beobachtung und Ergebnis des Experiments 2

**Aufgabe:**  
Vergleicht die Beobachtung und das Ergebnis mit eurer zuvor aufgestellten Hypothese.

**Rückschluss auf die Hypothese:**

---



---

Zurück zur Hypothese Weiter

Zurück Weiter

### Mentales Modell zu Experiment 2

**Impulsfragen, die zum Denken anregen:**

Hast du eine Idee, wie es zu dieser Beobachtung kommen kann?

Hast du eine Vorstellung, welche Rolle das geschlossene System bei diesem Vorgang spielt?

Passt das Ergebnis zu deiner Vorstellung von Massen bei chemischen Reaktionen?

Zurück zur Hypothese Weiter

Zurück Weiter

### Modell zu Experiment 2

**Aufgabe:** Stellt die Teilchen der Stoffe im Experiment 2 vor und nach der Reaktion im Atommodell nach DALTON dar. Verwendet zur Darstellung die ausgedruckten Vorlagen, macht Fotos und fügt diese in die dafür vorgesehenen Rahmen ein.

Vor der Reaktion	Nach der Reaktion
<p>Dokumentiere mit einem Foto. Klicke auf das +, mache ein Foto und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Foto ersetzt.</p> 	<p>Dokumentiere mit einem Foto. Klicke auf das +, mache ein Foto und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Foto ersetzt.</p> 

Zurück zur Hypothese Weiter

Zurück Weiter

### Modell zu Experiment 2

**Aufgabe:** Beschreibt den Prozess aus Experiment 2 auf Teilchenebene anhand der beiden Bilder von der letzten Seite. Fügt diese hier links noch einmal ein.

**Beschreibung des Prozesses auf Teilchenebene:**

**Vor der Reaktion**



**Nach der Reaktion**



Zurück zur Hypothese Weiter

Zurück Weiter

### Erklärung des Experiments 2 anhand des Modells

**Aufgabe 1:** Erklärt nun die Beobachtung und das Ergebnis des Experiments 2 anhand des Atommodells nach DALTON.

**Erklärung des Experiments 2:**

---



---

**Machen Teilchen bei chemischen Reaktionen nun immer was sie wollen oder gibt es doch eine Gesetzmäßigkeit bezüglich der Masse?**

Zurück zur Hypothese Weiter

Zurück Weiter

**!!! STOP !!!**

Wenn ihr an dieser Stelle angekommen seid, wendet euch an die Lehrperson.



Weiter zum nächsten Teil

Zurück Weiter

Machen Teilchen bei chemischen Reaktionen nun immer, was sie wollen, oder gibt es doch eine Gesetzmäßigkeit bezüglich der Masse?

Zurück Weiter

### Vergleich der Experimente

**Aufgabe:** Vergleiche die beiden Experimente miteinander (Aufbau, Prozess, Massen). Notiere Gemeinsamkeiten und Unterschiede.

Experiment 1: Verbrennung von Streichhölzern I
Experiment 2: Verbrennung von Streichhölzern II



**Gemeinsamkeiten:**

--



**Unterschiede:**

--

Zurück Weiter

Zurück Weiter

### Vergleich beider Modelle

**Aufgabe:** Fügt auf dieser Folie noch einmal die Modelle zu den beiden Experimenten ein und vergleicht sie.

Modell zu Experiment 1

Vor der Reaktion



Nach der Reaktion



Modell zu Experiment 2

Vor der Reaktion



Nach der Reaktion



**Vergleich der Modelle:**

--

Zurück Weiter

Zurück Weiter

### Überarbeitung des Modell zu Experiment 1

**Aufgabe:** Überlegt euch, ob ihr euer Modell und die zugehörige Erklärung zu Experiment 1 überarbeiten müsst und tut dies ggf.. Verwendet für das Modell wieder die zur Verfügung stehenden Materialien, macht Fotos und fügt sie hier ein.

**Vor der Reaktion**

Dokumentiere mit einem Foto. Klicke auf das +, mache ein Foto und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Foto ersetzt.




**Nach der Reaktion**

Dokumentiere mit einem Foto. Klicke auf das +, mache ein Foto und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Foto ersetzt.




Zurück Weiter

Zurück Weiter

### Modell zu Experiment 1

**Aufgabe:** Beschreibt den überarbeiteten Prozess aus Experiment 1 auf Teilchenebene anhand der beiden Bilder von der letzten Seite. Fügt diese hier links noch einmal ein.

**Beschreibung des überarbeiteten Prozesses auf Teilchenebene:**

**Vor der Reaktion**



**Nach der Reaktion**



--

Zurück Weiter

Zurück Weiter

### Überarbeitung des Modell zu Experiment 1

**Aufgabe 1:** Erklärt nun anhand des überarbeiteten Modells, wieso die Masse in Experiment 1 abnimmt.

**Erklärung der abnehmenden Masse in Experiment 1 auf Teilchenebene:**

--

**Aufgabe 2:** Begründe, wieso du eine Überarbeitung vorgenommen hast (oder wieso nicht).

**Begründung der Überarbeitung:**

--

Zurück Weiter

**EG 2** (identische Folien für alle EGs wieder mit grauem Rahmen)

**Experiment 1: Verbrennung von Streichhölzern**

**Durchführung:**  
Eine Abdampfschale wird auf einer Waage platziert. In die Abdampfschale werden vier Streichhölzer gelegt und die Masse notiert. Die Streichhölzer werden mit einem Feuerzeug auf der Waage entzündet. Nach der Verbrennung die Masse erneut notiert.

**Aufgabe 1:** Beschriftet folgende Skizze zu Experiment 1 anhand der Durchführung.

**Aufgabe 2:** Führt das Experiment gemeinsam durch und notiert eure Beobachtungen auf der folgenden Seite.

**Beobachtung und Ergebnis des Experiments 1**

**Aufgabe 1:** Notiert die Beobachtungen des Experiments 1 stichwortartig.

**Beobachtung:**  
Masse<sub>vorher</sub>= \_\_\_\_\_ Masse<sub>nachher</sub>= \_\_\_\_\_

**Aufgabe 2:** Leitet aus der Beobachtung ein Ergebnis des Experiments ab.

**Ergebnis:**

**Mentales Modell zu Experiment 1**

**Impulsfragen, die zum Denken anregen:**

- Hast du eine Idee, wie es zu dieser Beobachtung kommen kann?
- Hast du eine Vorstellung, welche Rolle das offene System bei diesem Vorgang spielt?
- Passt das Ergebnis zu deiner Vorstellung von Massen bei chemischen Reaktionen?

**Modell zu Experiment 1**

**Aufgabe 1:** Seht euch folgendes Video zur Verwendung der App Stop-Motion an.

**Aufgabe 2:** Erstellt mit der App Stop-Motion ein Video, das den Prozess des Experiments 1 auf Teilchenebene im Atommodell nach DALTON darstellt. Verwendet zur Darstellung die ausgedruckten Vorträge, erstellt das Video und fügt dieses in den dafür vorgesehenen Rahmen ein.

**Prozess von Experiment 1 auf Teilchenebene**

Dokumentiere mit einem Video. Klicke auf das +, mache ein Video und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Video ersetzt.

**Erklärung des Experiments 1 anhand des Modells**

**Aufgabe 1:** Erklärt nun die Beobachtung und das Ergebnis des Experiments 1 anhand des Atommodells nach DALTON.

**Erklärung des Experiments 1:**

Lässt sich eure Modelldarstellung auf alle anderen chemischen Reaktionen übertragen?

**Aufgabe 2:** Überlegt euch eine Möglichkeit, wie das überprüft werden könnte, und notiert diese.

**Möglichkeit zur Überprüfung der Übertragbarkeit:**

**!!! STOP !!!**

Wenn ihr an dieser Stelle angekommen seid, wendet euch an die Lehrperson.

Weiter zum nächsten Teil

**Verhalten sich die Massen bei chemischen Reaktionen immer gleich?**

**Hypothese zum Ausgang von Experiment 2**

**Aufgabe 1:** Lest euch die Durchführung zu Experiment 2 durch und kehrt wieder zu dieser Stelle zurück.

**Aufgabe 2:** Stellt mit Hilfe der Ergebnisse von Experiment 1 Hypothesen auf, welche Beobachtungen bei Experiment 2 wohl gemacht werden können, und tragt diese unten ein.

**Hypothese:**

Zurück zur letzten Folie      Weiter zu Experiment 2

**Experiment 2: Verbrennung von Streichhölzern II**

**Durchführung:**  
Vier Streichhölzer werden in ein Reagenzglas gegeben und dieses mit einem Luftballon und Kabelbinder luftdicht verschlossen. Die Masse wird bestimmt. Mit einem Brenner (rauschende Flamme) werden die Streichhölzer erhitzt, während das Reagenzglas auf der Waage steht (vgl. Abbildung). Die Masse wird anschließend erneut bestimmt.

**Aufgabe 1:** Beschriftet folgende Skizze zu Experiment 2 anhand der Durchführung.

**Aufgabe 2:** Führt das Experiment gemeinsam durch und notiert eure Beobachtungen auf der folgenden Seite.

Zurück zur Hypothese

**Beobachtung und Ergebnis des Experiments 2**

**Aufgabe 1:** Notiert die Beobachtungen des Experiments 2 stichwortartig.

**Beobachtung:**  
Masse<sub>vorher</sub>= \_\_\_\_\_ Masse<sub>nachher</sub>= \_\_\_\_\_

**Aufgabe 2:** Leitet aus der Beobachtung ein Ergebnis des Experiments ab.

**Ergebnis:**

**Beobachtung und Ergebnis des Experiments 2**

**Aufgabe:** Vergleicht die Beobachtung und das Ergebnis mit eurer zuvor aufgestellten Hypothese.

**Rückschluss auf die Hypothese:**

---



---



---

Zurück zur Hypothese

**Mentales Modell zu Experiment 2**

**Impulsfragen, die zum Denken anregen:**

Hast du eine Idee, wie es zu dieser Beobachtung kommen kann?

Hast du eine Vorstellung, welche Rolle das geschlossene System bei diesem Vorgang spielt?

Passt das Ergebnis zu deiner Vorstellung von Massen bei chemischen Reaktionen?

**Modell zu Experiment 2**

**Aufgabe:** Erstelle mit der App Stop-Motion ein Video, das den Prozess des Experiments 2 auf Teilchenebene im Atommodell nach DALTON darstellt. Verwendet zur Darstellung die ausgedruckten Vorlagen, erstelle das Video und fügt dieses in den dafür vorgesehenen Rahmen ein.

**Prozess von Experiment 2 auf Teilchenebene**

Dokumentiere mit einem Video.  
Klicke auf das +, mache ein Video und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Video ersetzt.



**Erklärung des Experiments 2 anhand des Modells**

**Aufgabe 1:** Erkläre nun die Beobachtung und das Ergebnis des Experiments 2 anhand des Atommodells nach DALTON.

**Erklärung des Experiments 2:**

---



---



---

**Machen Teilchen bei chemischen Reaktionen nun immer was sie wollen oder gibt es doch eine Gesetzmäßigkeit bezüglich der Masse?**

**!!! STOP !!!**

Wenn ihr an dieser Stelle angekommen seid, wendet euch an die Lehrperson.



Weiter zum nächsten Teil

**Machen Teilchen bei chemischen Reaktionen nun immer, was sie wollen, oder gibt es doch eine Gesetzmäßigkeit bezüglich der Masse?**

**Vergleich der Experimente**

**Aufgabe:** Vergleicht die beiden Experimente miteinander (Aufbau, Prozess, Massen). Notiert Gemeinsamkeiten und Unterschiede.

Experiment 1: Verbrennung von Streichhölzern I      Experiment 2: Verbrennung von Streichhölzern II




**Gemeinsamkeiten:**

---



---

**Unterschiede:**

---



---

**Vergleich beider Modelle**

**Aufgabe:** Fügt auf dieser Folie noch einmal die Modelle zu den beiden Experimenten ein und vergleicht sie.

Modell zu Experiment 1      Modell zu Experiment 2




**Vergleich der Modelle:**

---



---



---

**Überarbeitung des Modell zu Experiment 1**

**Aufgabe:** Überlegt euch, ob ihr euer Modell und die zugehörige Erklärung zu Experiment 1 überarbeiten müsst und tut dies ggf.. Verwendet für das Modell wieder die zur Verfügung stehenden Materialien, erstelle ein Stop-Motion-Video und fügt sie hier ein.

**Prozess von Experiment 1 auf Teilchenebene**

Dokumentiere mit einem Video.  
Klicke auf das +, mache ein Video und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Video ersetzt.



**Überarbeitung des Modell zu Experiment 1**

**Aufgabe 1:** Erkläre nun anhand des überarbeiteten Modells, wieso die Masse in Experiment 1 abnimmt.

**Erklärung der abnehmenden Masse in Experiment 1 auf Teilchenebene:**

---



---



---

**Aufgabe 2:** Begründe, wieso du eine Überarbeitung vorgenommen hast (oder wieso nicht).

**Begründung der Überarbeitung:**

---



---



---

**EG 3** (identische Folien für alle EGs wieder mit grauem Rahmen)

**Experiment 1: Verbrennung von Streichhölzern**

**Durchführung:**  
Eine Abdampfschale wird auf einer Waage platziert. In die Abdampfschale werden vier Streichhölzer gelegt und die Masse notiert. Die Streichhölzer werden mit einem Feuerzeug auf der Waage entzündet. Nach der Verbrennung die Masse erneut notiert.

**Aufgabe 1:** Beschriftet folgende Skizze zu Experiment 1 anhand der Durchführung.

**Aufgabe 2:** Führt das Experiment gemeinsam durch und notiert eure Beobachtungen auf der folgenden Seite.

**Beobachtung und Ergebnis des Experiments 1**

**Aufgabe 1:** Notiert die Beobachtungen des Experiments 1 stichwortartig.

**Beobachtung:**  
Masse vorher = \_\_\_\_\_ Masse nachher = \_\_\_\_\_

**Aufgabe 2:** Leitet aus der Beobachtung ein Ergebnis des Experiments ab.

**Ergebnis:**

**Mentales Modell zu Experiment 1**

**Impulsfragen, die zum Denken anregen:**

- Hast du eine Idee, wie es zu dieser Beobachtung kommen kann?
- Hast du eine Vorstellung, was bei diesem Vorgang auf Teilchenebene passiert?
- Passt das Ergebnis zu deiner Vorstellung von Teilchen?

**Modell zu Experiment 1**

**Aufgabe:** Stellt die Teilchen der Stoffe im Experiment 1 vor und nach der Reaktion im Atommodell nach DALTON dar. Verwendet zur Darstellung die ausgedruckten Vorlagen, macht Fotos und fügt diese in die dafür vorgesehenen Rahmen ein.

Vor der Reaktion	Nach der Reaktion
<p>Dokumentiere mit einem Foto. Klicke auf das +, mache ein Foto und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Foto ersetzt.</p>	<p>Dokumentiere mit einem Foto. Klicke auf das +, mache ein Foto und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Foto ersetzt.</p>

**Modell zu Experiment 1**

**Aufgabe:** Beschreibt den Prozess aus Experiment 1 auf Teilchenebene anhand der beiden Bilder von der letzten Seite. Fügt diese hier links noch einmal ein.

**Beschreibung des Prozesses auf Teilchenebene:**

**Vor der Reaktion**

**Nach der Reaktion**

**Erklärung des Experiments 1 anhand des Modells**

**Aufgabe 1:** Erklärt nun die Beobachtung und das Ergebnis des Experiments 1 anhand des Atommodells nach DALTON.

**Erklärung des Experiments 1:**

**Lässt sich eure Modelldarstellung auf alle anderen chemischen Reaktionen übertragen?**

**Aufgabe 2:** Überlegt euch eine Möglichkeit, wie das überprüft werden könnte, und notiert diese.

**Möglichkeit zur Überprüfung der Übertragbarkeit:**

**!!! STOP !!!**

Wenn ihr an dieser Stelle angekommen seid, wendet euch an die Lehrperson.

Weiter zum nächsten Teil

**Verhalten sich die Teilchen bei chemischen Reaktionen immer gleich?**

**Hypothese zum Ausgang von Experiment 2**

**Aufgabe 1:** Lest euch die Durchführung zu Experiment 2 durch und kehrt wieder zu dieser Stelle zurück.

**Aufgabe 2:** Stellt mit Hilfe der Ergebnisse von Experiment 1 Hypothesen auf, welche Beobachtungen bei Experiment 2 wohl gemacht werden können, und tragt diese unten ein.

**Hypothese:**

**Experiment 2: Verbrennung von Streichhölzern II**

**Durchführung:**  
Vier Streichhölzer werden in ein Reagenzglas gegeben und dieses mit einem Luftballon und Kabelbinder luftdicht verschlossen. Die Masse wird bestimmt. Mit einem Brenner (rauschende Flamme) werden die Streichhölzer erhitzt, während das Reagenzglas auf der Waage steht (vgl. Abbildung). Die Masse wird anschließend erneut bestimmt.

**Aufgabe 1:** Beschriftet folgende Skizze zu Experiment 2 anhand der Durchführung.

**Aufgabe 2:** Führt das Experiment gemeinsam durch und notiert eure Beobachtungen auf der folgenden Seite.

**Beobachtung und Ergebnis des Experiments 2**

**Aufgabe 1:** Notiert die Beobachtungen des Experiments 2 stichwortartig.

**Beobachtung:**  
 MASSVORHER= \_\_\_\_\_ MASSNACHHER= \_\_\_\_\_

**Aufgabe 2:** Leitet aus der Beobachtung ein Ergebnis des Experiments ab.

**Ergebnis:**

**Beobachtung und Ergebnis des Experiments 2**

**Aufgabe:**  
Vergleicht die Beobachtung und das Ergebnis mit eurer zuvor aufgestellten Hypothese.

**Rückschluss auf die Hypothese:**

Zurück zur Hypothese

**Mentales Modell zu Experiment 2**

**Impulsfragen, die zum Denken anregen:**

Hast du eine Idee, wie es zu dieser Beobachtung kommen kann?

Hast du eine Vorstellung, was bei diesem Vorgang auf Teilchenebene passiert?

Passt das Ergebnis zu deiner Vorstellung von Teilchen?

**Modell zu Experiment 2**

**Aufgabe:** Stellt die Teilchen der Stoffe im Experiment 2 vor und nach der Reaktion im Atommodell nach DALTON dar. Verwendet zur Darstellung die ausgedruckten Vorlagen, macht Fotos und fügt diese in die dafür vorgesehenen Rahmen ein.

**Vor der Reaktion**  
 Dokumentiere mit einem Foto. Klicke auf das +, mache ein Foto und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Foto ersetzt.

**Nach der Reaktion**  
 Dokumentiere mit einem Foto. Klicke auf das +, mache ein Foto und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Foto ersetzt.

**Modell zu Experiment 2**

**Aufgabe:** Beschreibt den Prozess aus Experiment 2 auf Teilchenebene anhand der beiden Bilder von der letzten Seite. Fügt diese hier links noch einmal ein.

**Beschreibung des Prozesses auf Teilchenebene:**

**Vor der Reaktion**

**Nach der Reaktion**

**Erklärung des Experiments 2 anhand des Modells**

**Aufgabe 1:** Erklärt nun die Beobachtung und das Ergebnis des Experiments 2 anhand des Atommodells nach DALTON.

**Erklärung des Experiments 2:**

Machen Teilchen bei chemischen Reaktionen nun immer was sie wollen oder gibt es doch eine Gesetzmäßigkeit bezüglich der Masse?

**!!! STOP !!!**

Wenn ihr an dieser Stelle angekommen seid, wendet euch an die Lehrperson.

**STOP**

Weiter zum nächsten Teil

Machen Teilchen bei chemischen Reaktionen nun immer, was sie wollen, oder gibt es doch eine Gesetzmäßigkeit bezüglich der Masse?

**Vergleich der Experimente**

**Aufgabe:** Vergleicht die beiden Experimente miteinander (Aufbau, Prozess, Massen). Notiert Gemeinsamkeiten und Unterschiede.

Experiment 1: Verbrennung von Streichhölzern I    Experiment 2: Verbrennung von Streichhölzern II

**Gemeinsamkeiten:**

**Unterschiede:**

**Vergleich beider Modelle**

**Aufgabe:** Fügt auf dieser Folie noch einmal die Modelle zu den beiden Experimenten ein und vergleicht sie.

**Modell zu Experiment 1**  
 Vor der Reaktion    Nach der Reaktion

**Modell zu Experiment 2**  
 Vor der Reaktion    Nach der Reaktion

**Vergleich der Modelle:**

Zurück **Überarbeitung des Modell zu Experiment 1** Weiter

**Aufgabe:** Überlegt euch, ob ihr euer Modell und die zugehörige Erklärung zu Experiment 1 überarbeiten müsst und tut dies ggf.. Verwendet für das Modell wieder die zur Verfügung stehenden Materialien, macht Fotos und fügt sie hier ein.

**Vor der Reaktion** **Nach der Reaktion**

Dokumentiere mit einem Foto. Klicke auf das +, mache ein Foto und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Foto ersetzt.

Dokumentiere mit einem Foto. Klicke auf das +, mache ein Foto und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Foto ersetzt.

Zurück **Modell zu Experiment 1** Weiter

**Aufgabe:** Beschreibt den überarbeiteten Prozess aus Experiment 1 auf Teilchenebene anhand der beiden Bilder von der letzten Seite. Fügt diese hier links noch einmal ein.

**Beschreibung des überarbeiteten Prozesses auf Teilchenebene:**

**Vor der Reaktion**

**Nach der Reaktion**

Zurück **Überarbeitung des Modell zu Experiment 1** Weiter

**Aufgabe 1:** Erklärt nun anhand des überarbeiteten Modells, wieso die Masse in Experiment 1 abnimmt.

**Erklärung der abnehmenden Masse in Experiment 1 auf Teilchenebene:**

**Aufgabe 2:** Begründe, wieso du eine Überarbeitung vorgenommen hast (oder wieso nicht).

**Begründung der Überarbeitung:**

**EG 4** (identische Folien für alle EGs wieder mit grauem Rahmen)

Zurück **Experiment 1: Verbrennung von Streichhölzern** Weiter

**Durchführung:** Eine Abdampfschale wird auf einer Waage platziert. In die Abdampfschale werden vier Streichhölzer gelegt und die Masse notiert. Die Streichhölzer werden mit einem Feuerzeug auf der Waage entzündet. Nach der Verbrennung die Masse erneut notiert.

**Aufgabe 1:** Beschriftet folgende Skizze zu Experiment 1 anhand der Durchführung.

**Aufgabe 2:** Führt das Experiment gemeinsam durch und notiert eure Beobachtungen auf der folgenden Seite.

Zurück **Beobachtung und Ergebnis des Experiments 1** Weiter

**Aufgabe 1:** Notiert die Beobachtungen des Experiments 1 stichwortartig.

**Beobachtung:**

Masse<sub>vorher</sub>= \_\_\_\_\_ Masse<sub>nachher</sub>= \_\_\_\_\_

**Aufgabe 2:** Leitet aus der Beobachtung ein Ergebnis des Experiments ab.

**Ergebnis:**

Zurück **Mentales Modell zu Experiment 1** Weiter

**Impulsfragen, die zum Denken anregen:**

Hast du eine Idee, wie es zu dieser Beobachtung kommen kann?

Hast du eine Vorstellung, was bei diesem Vorgang auf Teilchenebene passiert?

Passt das Ergebnis zu deiner Vorstellung von Teilchen?

Zurück **Modell zu Experiment 1** Weiter

**Aufgabe 1:** Seht euch folgendes Video zur Verwendung der App Stop-Motion an.

**Aufgabe 2:** Erstellt mit der App Stop-Motion ein Video, das den Prozess des Experiments 1 auf Teilchenebene im Atommodell nach DALTON darstellt. Verwendet zur Darstellung die ausgedruckten Vortage, erstellt das Video und fügt dieses in den dafür vorgesehenen Rahmen ein.

**Prozess von Experiment 1 auf Teilchenebene**

Dokumentiere mit einem Video. Klicke auf das +, mache ein Video und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Video ersetzt.

Zurück **Erklärung des Experiments 1 anhand des Modells** Weiter

**Aufgabe 1:** Erklärt nun die Beobachtung und das Ergebnis des Experiments 1 anhand des Atommodells nach DALTON.

**Erklärung des Experiments 1:**

Lässt sich eure Modelldarstellung auf alle anderen chemischen Reaktionen übertragen?

**Aufgabe 2:** Überlegt euch eine Möglichkeit, wie das überprüft werden könnte, und notiert diese.

**Möglichkeit zur Überprüfung der Übertragbarkeit:**

Zurück **!!! STOP !!!** Weiter

Wenn ihr an dieser Stelle angekommen seid, wendet euch an die Lehrperson.

Zurück Weiter

## Verhalten sich die Teilchen bei chemischen Reaktionen immer gleich?

Zurück Weiter

### Hypothese zum Ausgang von Experiment 2

**Aufgabe 1:** Lest euch die Durchführung zu Experiment 2 durch und kehrt wieder zu dieser Stelle zurück.

**Aufgabe 2:** Stellt mit Hilfe der Ergebnisse von Experiment 1 Hypothesen auf, welche Beobachtungen bei Experiment 2 wohl gemacht werden können, und tragt diese unten ein.

Hypothese:

Zurück zur letzten Folie Weiter zu Experiment 2

Zurück Weiter

### Experiment 2: Verbrennung von Streichhölzern II

**Durchführung:**  
Vier Streichhölzer werden in ein Reagenzglas gegeben und dieses mit einem Luftballon und Kabelbinder luftdicht verschlossen. Die Masse wird bestimmt. Mit einem Brenner (rauschende Flamme) werden die Streichhölzer entzündet, während das Reagenzglas auf der Waage steht (vgl. Abbildung). Die Masse wird anschließend erneut bestimmt.

**Aufgabe 1:** Beschriftet folgende Skizze zu Experiment 2 anhand der Durchführung.



**Aufgabe 2:** Führt das Experiment gemeinsam durch und notiert eure Beobachtungen auf der folgenden Seite.

Zurück zur Hypothese Weiter

Zurück Weiter

### Beobachtung und Ergebnis des Experiments 2

**Aufgabe 1:** Notiert die Beobachtungen des Experiments 2 stichwortartig.

**Beobachtung:**  
Masse<sub>Vorher</sub>=  Masse<sub>Nachher</sub>=

**Aufgabe 2:** Leitet aus der Beobachtung ein Ergebnis des Experiments ab.

Ergebnis:

Zurück zur letzten Folie Weiter zu Experiment 2

Zurück Weiter

### Beobachtung und Ergebnis des Experiments 2

**Aufgabe:**  
Vergleicht die Beobachtung und das Ergebnis mit eurer zuvor aufgestellten Hypothese.

Rückschluss auf die Hypothese:

Zurück zur Hypothese Weiter

Zurück Weiter

### Mentales Modell zu Experiment 2

**Impulsfragen, die zum Denken anregen:**

- Hast du eine Idee, wie es zu dieser Beobachtung kommen kann?
- Hast du eine Vorstellung, was bei diesem Vorgang auf Teilchenebene passiert?
- Passt das Ergebnis zu deiner Vorstellung von Teilchen?

Zurück zur letzten Folie Weiter zu Experiment 2

Zurück Weiter

### Modell zu Experiment 2

**Aufgabe:** Erstellt mit der App Stop-Motion ein Video, das den Prozess des Experiments 2 auf Teilchenebene im Atommodell nach DALTON darstellt. Verwendet zur Darstellung die ausgedruckten Vorlagen, erstellt das Video und fügt dieses in den dafür vorgesehenen Rahmen ein.

Prozess von Experiment 2 auf Teilchenebene

Dokumentiere mit einem Video.  
Klicke auf das +, mache ein Video und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Video ersetzt.



Zurück zur letzten Folie Weiter zu Experiment 2

Zurück Weiter

### Erklärung des Experiments 2 anhand des Modells

**Aufgabe 1:** Erklärt nun die Beobachtung und das Ergebnis des Experiments 2 anhand des Atommodells nach DALTON.

**Erklärung des Experiments 2:**

Machen Teilchen bei chemischen Reaktionen nun immer was sie wollen oder gibt es doch eine Gesetzmäßigkeit bezüglich der Masse?

Zurück zur letzten Folie Weiter zu Experiment 2

Zurück Weiter

**!!! STOP !!!**

Wenn ihr an dieser Stelle angekommen seid, wendet euch an die Lehrperson.



Weiter zum nächsten Teil

Zurück Weiter

## Machen Teilchen bei chemischen Reaktionen nun immer, was sie wollen, oder gibt es doch eine Gesetzmäßigkeit bezüglich der Masse?

**Vergleich der Experimente**

**Aufgabe:** Vergleiche die beiden Experimente miteinander (Aufbau, Prozess, Massen). Notiere Gemeinsamkeiten und Unterschiede.

Experiment 1: Verbrennung von Streichhölzern I      Experiment 2: Verbrennung von Streichhölzern II




Gemeinsamkeiten: \_\_\_\_\_

Unterschiede: \_\_\_\_\_

**Vergleich beider Modelle**

**Aufgabe:** Fügt auf dieser Folie noch einmal die Modelle zu den beiden Experimenten ein und vergleiche sie.

Modell zu Experiment 1      Modell zu Experiment 2

Erkläre mit einem Video, wie die Masse abnimmt. Klicke auf das +, mache ein Video und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Video ersetzt.

Vergleich der Modelle: \_\_\_\_\_

**Überarbeitung des Modell zu Experiment 1**

**Aufgabe:** Überlegt euch, ob ihr euer Modell und die zugehörige Erklärung zu Experiment 1 überarbeiten müsst und tut dies ggf.. Verwendet für das Modell wieder die zur Verfügung stehenden Materialien, erstellt ein Stop-Motion-Video und fügt sie hier ein.

Prozess von Experiment 1 auf Teilchenebene

Dokumentiere mit einem Video. Klicke auf das +, mache ein Video und klicke auf „benutzen“. Dieses Bild wird dann durch dein Video ersetzt.




**Überarbeitung des Modell zu Experiment 1**

**Aufgabe 1:** Erkläre nun anhand des überarbeiteten Modells, wieso die Masse in Experiment 1 abnimmt.

**Erklärung der abnehmenden Masse in Experiment 1 auf Teilchenebene:**

\_\_\_\_\_

**Aufgabe 2:** Begründe, wieso du eine Überarbeitung vorgenommen hast (oder wieso nicht).

**Begründung der Überarbeitung:**

\_\_\_\_\_

## Diskussion und Reflexion

**!!! STOP !!!**

Wenn ihr an dieser Stelle angekommen seid, wendet euch an die Lehrperson.



Weiter zum letzten Teil

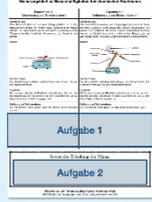
**Gesetzmäßigkeit zu Massen bei chemischen Reaktionen**

**Aufgabe 1:** Wiederholt die Ergebnisse von Experiment 1 und 2, indem ihr folgende Aufgabe bearbeitet.

Ergänzt anschließend den Satzenfang zur Erklärung auf Teilchenebene auf dem Sicherungsblatt.

**Aufgabe 2:** Lasse mit der folgenden Aufgabe das Gesetz der Erhaltung der Masse ab.

Trage dieses in das Kästchen unten auf dem Sicherungsblatt ein.



**Diskussion und Reflexion**

**Reflexionsfragen:**

Weißt du nun mehr über die Massenerhaltung bei chemischen Reaktionen als zu Beginn?

Hat sich deine Vorstellung zur Masse bei chemischen Reaktionen verändert?

War die Betrachtung des Systems sinnvoll zum besseren Verständnis?

**Diskussion und Reflexion**

**Aufgabe:** Notiere deine Einfälle zu den Leitfragen hier auf der rechten Seite.

**Notizen:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Zurück 17

**Fragebogen zum Abschluss**

**Fragebogen**  
Zeit: 20 Minuten



Für schnelle: 

**Vielen Dank für eure Mitarbeit**



Bis zum nächsten Mal :)

## Hilfestellungen

### Identisch für alle Experimentalgruppen

Zurück Hilfe zum Lerntempo-Duett

**i** **Lerntempo-Duett:**  
Bei einem Lerntempo-Duett handelt es sich um eine Methode, bei der Schüler\*innen zusammen arbeiten, die dasselbe Lerntempo haben.

Zu Beginn erledigen alle Schüler\*innen Aufgaben in Einzelarbeit.

Wer fertig ist, gibt dies online (Lerntempo-Duett) ein und wartet, bis eine zweite Person dazu kommt. So bilden sich Partnergruppen.

Die beiden tauschen sich über ihre Arbeitsergebnisse aus und arbeiten danach gemeinsam weiter.


**Lerntempo-Duett**

Zurück Verbrennungen im Alltag

Hier siehst du Fotos zu Verbrennungen im Alltag.









Zurück Wortwolke zu Verbrennungen im Alltag

verschiedene stufen der verbrennung  
 heißes wasser explosionen herdplatte sonnenbrand  
 verbrennungsmotor ofen tee kochen grill glätteisen motor  
 wasserkocher holz herd feuer kerzen zigarette auspuff  
 verbrennungsanlagen dampflok rauchen essen bügeleisen kamin auto fahren  
 brot zu lang gebacken streichholz holz verbrennen kerzenwachs kalorien

Zurück Hilfe zu Beobachtung und Ergebnis in Experiment 1

**Beobachtung:**  
Folgende Aspekte sind in Experiment 1 wichtig zu beobachten:

- 1) Farbe und Größe der Streichhölzer vor und nach dem Vorgang
- 2) Anzeige der Waage

**Ergebnis:**  
Bei dem Ergebnis handelt es sich um eine Interpretation der Beobachtung.

Versuche z.B. die folgenden Fragen zu beantworten:  
 Wieso kann ich das beobachten?  
 Was ist da passiert?  
 Wie kam es zu diesen Beobachtungen?



**Hilfen zu Modell 1**

Was besagt das Atommodell nach DALTON?



Wie stellt man die Streichhölzer und die Luft in diesem Experiment im Atommodell nach DALTON dar?



Zurück zu Modell 1

**Hilfen zu Modell 2**

Was besagt das Atommodell nach DALTON?



Wie stellt man die Streichhölzer und die Luft in diesem Experiment im Atommodell nach DALTON dar?



Zurück zu Modell 2

**Hilfe zum Atommodell nach DALTON**

Das Atommodell nach DALTON besagt, dass:

- Atome weder geschaffen, noch vernichtet werden können.
- alle Atome eines chemischen Elements ununterscheidbar (gleiche Masse und gleiche Größe) sind und sich die Atome verschiedener Elemente unterscheiden durch ihre Masse und Größe.
- Atome unterschiedlicher Elemente chemische Verbindungen bilden (Synthese) können, diese aber auch wieder getrennt werden (Analyse) können.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft Wasserstoff, Sauerstoff und Wasser im Atommodell nach DALTON.

Zurück zur Übersicht

**Hilfe zum Atommodell nach DALTON**

Darstellung von Wasserstoff, Sauerstoff und der chemischen Verbindung Wasser im Atommodell nach DALTON:

Wasserstoff-Atom      Sauerstoff-Atom      Wasser-Molekül

Zurück

**An der Reaktion beteiligte Stoffe im Atommodell nach DALTON**

An der Reaktion sind vor allem folgende Stoffe beteiligt:

Kohlenstoff-Atom aus dem Streichholz      Sauerstoff-Molekül aus der Luft      Kohlenstoffdioxid-Molekül

Zurück zur Übersicht

**Hilfe zu Beobachtung und Ergebnis in Experiment 2**

**Beobachtung:**  
 Folgende Aspekte sind in Experiment 1 wichtig zu beobachten:

- 1) Farbe und Größe der Streichhölzer vor und nach dem Vorgang
- 2) Anzeige der Waage

**Ergebnis:**  
 Bei dem Ergebnis handelt es sich um eine Interpretation der Beobachtung.

Versuche z.B. die folgenden Fragen zu beantworten:  
 Wieso kann ich das beobachten?  
 Was ist da passiert?  
 Wie kam es zu diesen Beobachtungen?

Zurück

**Hilfeseite zur Bedienung des Dokuments**      Weiter zur Lerneinheit

Wie bediene ich diese Datei insgesamt?      Wie mache ich mir Notizen in diesem Dokument?      Wie gehe ich mit externen Verlinkungen um?      Wie füge ich Fotos oder Videos in diese Datei ein?

Zurück

**Video hinterlegt**

Zurück

**Notizen in der Datei**

Zurück

**Links aus der Datei raus**

Zurück

**Fotos und Videos einbinden**

Zurück

# Hilfestellungen speziell für EG 1

Zurück **Hilfen zum mentalen Modell 1**

**Was ist ein offenes System?**

Art des Systems	Wärmeaustausch mit der Umgebung möglich?	Stoffaustausch mit der Umgebung möglich?	Beispiel aus dem Alltag	Beispiel aus dem Labor
offen	Ja	Ja		
geschlossen	Ja	Nein		

Zurück **Hilfen zum mentalen Modell 2**

**Was ist ein offenes System?**

Art des Systems	Wärmeaustausch mit der Umgebung möglich?	Stoffaustausch mit der Umgebung möglich?	Beispiel aus dem Alltag	Beispiel aus dem Labor
offen	Ja	Ja		
geschlossen	Ja	Nein		

Zurück **Hilfe zur Überarbeitung von Modell 1**

**Vergleich der beiden Experimente auf Stoffebene:**  
*Ordne die beiden Experimente in die verschiedenen Arten der Systeme ein.*

Art des Systems	Wärmeaustausch mit der Umgebung möglich?	Stoffaustausch mit der Umgebung möglich?	Beispiel aus dem Alltag	Beispiel aus dem Labor
offen	Ja	Ja		
geschlossen	Ja	Nein		

*Welche Auswirkungen haben diese Systeme auf die Beobachtungen und Ergebnisse der Experimente?*

# Hilfestellung speziell für EG 2

Zurück **Hilfen zum mentalen Modell 1**

**Was ist ein offenes System?**

Art des Systems	Wärmeaustausch mit der Umgebung möglich?	Stoffaustausch mit der Umgebung möglich?	Beispiel aus dem Alltag	Beispiel aus dem Labor
offen	Ja	Ja		
geschlossen	Ja	Nein		



Zurück **Hilfen zum mentalen Modell 2**

**Was ist ein offenes System?**

Art des Systems	Wärmeaustausch mit der Umgebung möglich?	Stoffaustausch mit der Umgebung möglich?	Beispiel aus dem Alltag	Beispiel aus dem Labor
offen	Ja	Ja		
geschlossen	Ja	Nein		

Zurück **Hilfe zur Überarbeitung von Modell 1**

**Vergleich der beiden Experimente auf Stoffebene:**  
*Ordne die beiden Experimente in die verschiedenen Arten der Systeme ein.*

Art des Systems	Wärmeaustausch mit der Umgebung möglich?	Stoffaustausch mit der Umgebung möglich?	Beispiel aus dem Alltag	Beispiel aus dem Labor
offen	Ja	Ja		
geschlossen	Ja	Nein		

*Welche Auswirkungen haben diese Systeme auf die Beobachtungen und Ergebnisse der Experimente?*

# Hilfestellung speziell für EG 3

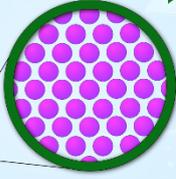
Zurück **Hilfen zum mentalen Modell 1**

Was ist die Teilchenebene?

Stoffebene  $\longleftrightarrow$  Teilchenebene

Kann mit den Sinnesorganen wahrgenommen werden!

Schwefel auf der Stoffebene



Existiert nur in der Vorstellung von Chemiker\*innen!

Schwefel auf der Teilchenebene



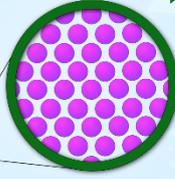
Zurück **Hilfen zum mentalen Modell 2**

Was ist die Teilchenebene?

Stoffebene  $\longleftrightarrow$  Teilchenebene

Kann mit den Sinnesorganen wahrgenommen werden!

Schwefel auf der Stoffebene



Existiert nur in der Vorstellung von Chemiker\*innen!

Schwefel auf der Teilchenebene



Zurück **Hilfe zur Überarbeitung von Modell 1**

Hier findest du wichtige Aussagen zu Teilchenmodellen:

- Teilchen können nicht neu geschaffen werden.
- Teilchen können nicht vernichtet werden.
- Bei chemischen Verbindungen handelt es sich um einen Zusammenschluss von zwei oder mehr Teilchensorten.
- Bei chemische Reaktionen handelt es sich um eine Umgruppierung von Teilchen.

Chemische Elemente

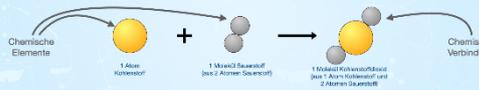
1 Atom Kohlenstoff

1 Molekül Sauerstoff (aus 2 Atomen Sauerstoff)

1 Molekül Kohlenstoffdioxid (aus 1 Atom Kohlenstoff und 2 Atomen Sauerstoff)

Chemische Verbindung

Weiche Auswirkungen haben diese Aussagen auf die Beobachtungen und Ergebnisse der beiden Experimente?



# Hilfestellung speziell für EG 4

Zurück **Hilfen zum mentalen Modell 1**

Was ist die Teilchenebene?

Stoffebene  $\longleftrightarrow$  Teilchenebene

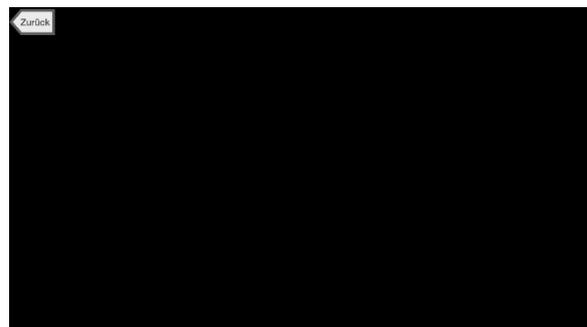
Kann mit den Sinnesorganen wahrgenommen werden!

Schwefel auf der Stoffebene



Existiert nur in der Vorstellung von Chemiker\*innen!

Schwefel auf der Teilchenebene

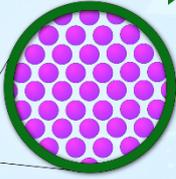
Zurück **Hilfen zum mentalen Modell 2**

Was ist die Teilchenebene?

Stoffebene  $\longleftrightarrow$  Teilchenebene

Kann mit den Sinnesorganen wahrgenommen werden!

Schwefel auf der Stoffebene



Existiert nur in der Vorstellung von Chemiker\*innen!

Schwefel auf der Teilchenebene



Zurück **Hilfe zur Überarbeitung von Modell 1**

Hier findest du wichtige Aussagen zu Teilchenmodellen:

- Teilchen können nicht neu geschaffen werden.
- Teilchen können nicht vernichtet werden.
- Bei chemischen Verbindungen handelt es sich um einen Zusammenschluss von zwei oder mehr Teilchensorten.
- Bei chemische Reaktionen handelt es sich um eine Umgruppierung von Teilchen.

Chemische Elemente

1 Atom Kohlenstoff

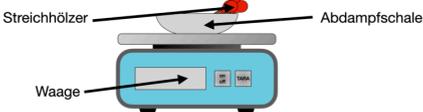
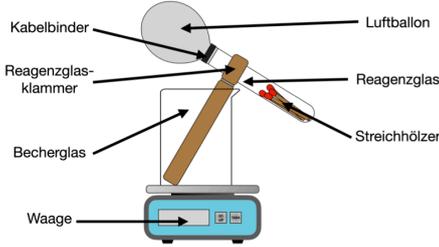
1 Molekül Sauerstoff (aus 2 Atomen Sauerstoff)

1 Molekül Kohlenstoffdioxid (aus 1 Atom Kohlenstoff und 2 Atomen Sauerstoff)

Chemische Verbindung

Weiche Auswirkungen haben diese Aussagen auf die Beobachtungen und Ergebnisse der beiden Experimente?



<b>Sicherungsblatt zu Gesetzmäßigkeiten bei chemischen Reaktionen</b>	
Experiment 1: Verbrennung von Streichhölzern I	Experiment 2: Verbrennung von Streichhölzern II
<p><b>Durchführung:</b> Eine Abdampfschale wird auf einer Waage platziert. In die Abdampfschale werden vier Streichhölzer gelegt und die Masse notiert. Die Streichhölzer werden mit einem Feuerzeug auf der Waage entzündet. Nach der Verbrennung die Masse erneut notiert.</p>	<p><b>Durchführung:</b> Vier Streichhölzer werden in ein Reagenzglas gegeben und dieses mit einem Luftballon und Kabelbinder luftdicht verschlossen. Die Masse wird bestimmt. Mit einem Brenner (rauschende Flamme) werden die Streichhölzer erhitzt, während das Reagenzglas auf der Waage steht. Die Masse wird anschließend erneut bestimmt.</p>
<p><b>Skizze:</b></p>  <p>Die Skizze zeigt eine Waage mit einer Abdampfschale auf der Plattform. In der Abdampfschale liegen vier Streichhölzer. Beschriftungen: Waage, Abdampfschale, Streichhölzer.</p>	<p><b>Skizze:</b></p>  <p>Die Skizze zeigt ein Reagenzglas, das auf einer Waage steht. Ein Luftballon ist über das Reagenzglas geschoben und mit einem Kabelbinder luftdicht verschlossen. In dem Reagenzglas liegen vier Streichhölzer. Beschriftungen: Waage, Becherglas, Reagenzglas, Kabelbinder, Luftballon, Reagenzglas-klammer, Streichhölzer.</p>
<p><b>Beobachtung:</b> Die Streichhölzer verfärben sich schwarz und werden kleiner. Die Masse nimmt ab.</p>	<p><b>Beobachtung:</b> Die Streichhölzer verfärben sich schwarz und werden kleiner. Der Luftballon bläht sich auf. Die Masse bleibt gleich.</p>
<p><b>Ergebnis:</b> Es hat eine chemische Reaktion stattgefunden, bei der der Kohlenstoff aus dem Streichholz mit dem Sauerstoff der Luft zu dem Gas Kohlenstoffdioxid reagiert hat.</p>	<p><b>Ergebnis:</b> Es hat eine chemische Reaktion stattgefunden, bei der der Kohlenstoff aus dem Streichholz mit dem Sauerstoff der Luft zu dem Gas Kohlenstoffdioxid reagiert hat.</p>
<p><b>Erklärung auf Teilchenebene:</b> Die Atomanzahl bleibt gleich, aber die Masse nimmt dennoch ab, weil...</p> <p>sich in der Abdampfschale (offenes System) die Teilchen des gebildeten Gases in die Atmosphäre verteilen und daher von der Waage nicht mehr mit gemessen werden können.</p>	<p><b>Erklärung auf Teilchenebene:</b> Die Atomanzahl bleibt gleich und die Masse bleibt gleich, weil...</p> <p>im verschlossenen Reagenzglas (geschlossenes System) die Teilchen des gebildeten Gases im Reagenzglas/Luftballon verbleiben und daher von der Waage weiterhin mit gemessen werden.</p>
<p><b>Gesetz der Erhaltung der Masse:</b> Bei einer chemischen Reaktion ist die Gesamtmasse der Ausgangsstoffe gleich der Gesamtmasse der Endstoffe.</p>	
<p><i>Hinweis: Je nach Versuchsaufbau können manchmal nicht alle Massen der Ausgangs- oder Endstoffe gemessen werden!</i></p>	

## Materialübersicht für alle vier Experimentalgruppen

	EG1	EG2	EG3	EG4
	Statisch, Fachwissen 	Dynamisch, Fachwissen 	Statisch, MBK 	Dynamisch, MBK 
Materialien pro 2er-Gruppe	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>2 iPads</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Jeweils 1 Stift</li> <li>➤ Keynote- Programm</li> <li>➤ Datei EG1</li> </ul> </li> <li>❖ <b>Experiment 1:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 1 Waage</li> <li>➤ ≥ 4 Streichhölzer</li> <li>➤ 1 Abdampfschale</li> <li>➤ Feuerzeug/ Brenner</li> </ul> </li> <li>❖ <b>Modell 1/2:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ausgestanzte Kreise in 2 Farben (11 Stück je Farbe)</li> <li>➤ Vorlage, laminiert (je 1 A4)</li> </ul> </li> <li>❖ <b>Experiment 2:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 1 Geschlossenes System (Reagenzglas mit 4 Streichhölzern, Luftballon und Kabelbinder)</li> <li>➤ 1 Becherglas (250 mL schmal/400 mL)</li> <li>➤ 1 Flambierbrenner</li> <li>➤ 1 Reagenzglasklammer</li> <li>➤ 1 Waage</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>2 iPads</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Jeweils 1 Stift</li> <li>➤ Keynote- Programm</li> <li>➤ Datei EG2</li> <li>➤ Stop-Motion-Programm</li> </ul> </li> <li>❖ <b>Experiment 1:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 1 Waage</li> <li>➤ Mind. 4 Streichhölzer</li> <li>➤ 1 Abdampfschale</li> <li>➤ Feuerzeug/ Brenner</li> </ul> </li> <li>❖ <b>Modell 1/2:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ausgestanzte Kreise in 2 Farben (11 Stück je Farbe)</li> <li>➤ Vorlagen, laminiert (je 1 A4)</li> <li>➤ Stativ</li> </ul> </li> <li>❖ <b>Experiment 2:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 1 Geschlossenes System (Reagenzglas mit 4 Streichhölzern, Luftballon und Kabelbinder)</li> <li>➤ 1 Becherglas (250 mL schmal/400 mL)</li> <li>➤ 1 Flambierbrenner</li> <li>➤ 1 Reagenzglasklammer</li> <li>➤ 1 Waage</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>2 iPads</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Jeweils 1 Stift</li> <li>➤ Keynote- Programm</li> <li>➤ Datei EG3</li> </ul> </li> <li>❖ <b>Experiment 1:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 1 Waage</li> <li>➤ Mind. 4 Streichhölzer</li> <li>➤ 1 Abdampfschale</li> <li>➤ Feuerzeug/ Brenner</li> </ul> </li> <li>❖ <b>Modell 1/2:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ausgestanzte Kreise in 2 Farben (11 Stück je Farbe)</li> <li>➤ Vorlagen, laminiert (je 1 A4)</li> </ul> </li> <li>❖ <b>Experiment 2:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 1 Geschlossenes System (Reagenzglas mit 4 Streichhölzern, Luftballon und Kabelbinder)</li> <li>➤ 1 Becherglas (250 mL schmal/400 mL)</li> <li>➤ 1 Flambierbrenner</li> <li>➤ 1 Reagenzglasklammer</li> <li>➤ 1 Waage</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>2 iPads</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Jeweils 1 Stift</li> <li>➤ Keynote- Programm</li> <li>➤ Datei EG4</li> <li>➤ Stop-Motion-Programm</li> </ul> </li> <li>❖ <b>Experiment 1:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 1 Waage</li> <li>➤ Mind. 4 Streichhölzer</li> <li>➤ 1 Abdampfschale</li> <li>➤ Feuerzeug/ Brenner</li> </ul> </li> <li>❖ <b>Modell 1/2:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ausgestanzte Kreise in 2 Farben (11 Stück je Farbe)</li> <li>➤ Vorlagen, laminiert (je 1 A4)</li> <li>➤ Stativ</li> </ul> </li> <li>❖ <b>Experiment 2:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 1 Geschlossenes System (Reagenzglas mit 4 Streichhölzern, Luftballon und Kabelbinder)</li> <li>➤ 1 Becherglas (250 mL schmal/400 mL)</li> <li>➤ 1 Flambierbrenner</li> <li>➤ 1 Reagenzglasklammer</li> <li>➤ 1 Waage</li> </ul> </li> </ul>

## XIV. Ergebnisse der Studie in Teil III

### Ergebnisse der Reliabilitätsanalysen

Name der Skala	Items	Reliabilität T <sub>0</sub>	Bei weglassen von Item ...	Reliabilität T <sub>1</sub>	Bei weglassen von Item ...
Fachinteresse (Gesamtskala)	14	$\alpha = .88$	/		
Gefühlsbezogene Valenzen	5	$\alpha = .78$	„Wenn ich ehrlich bin, mag ich das Fach Chemie nicht besonders“ → $\alpha = .82$		
Wertbezogene Valenzen	5	$\alpha = .72$	/		
Intrinsische Orientierung	3	$\alpha = .77$	/		
Naturwissenschaftsbezogenes Fähigkeitsselbstkonzept (Gesamtskala)	6	$\alpha = .88$	/		
Modellkompetenz (Gesamtskala)	10 +2 (offen)	$\alpha = .66$ $\alpha = .67$	/		
Eigenschaften von Modellen	5 +1 (offen)	$\alpha = .46$ $\alpha = .45$	/		
Alternative Modelle	5 +1 (offen)	$\alpha = .59$ $\alpha = .56$	/		
Vorwissen (Gesamtskala)	1 +2 (offen)	$\alpha = .34$	Chemische Reaktion im Atommodell nach Dalton → $\alpha = .39$		
Fachwissen (Gesamtskala)	2 +2 (offen)	$\alpha = .78$	/	$\alpha = .72$	Schülervorstellungen zur Verbrennung von Schwefel → $\alpha = .75$
Modellbildungskompetenz (Gesamtskala)	15 +3 (offen)	$\alpha = .79$ $\alpha = .80$	/	$\alpha = .84$ $\alpha = .85$	/
Zweck von Modellen	5 +1 (offen)	$\alpha = .55$ $\alpha = .52$	g+o: offenes Item → $\alpha = .57$	$\alpha = .68$ $\alpha = .66$	g+o: offenes Item → $\alpha = .69$
Testen von Modellen	5 +1 (offen)	$\alpha = .56$ $\alpha = .53$	/	$\alpha = .69$ $\alpha = .65$	g+o: offenes Item → $\alpha = .71$
Ändern von Modellen	5 +1 (offen)	$\alpha = .66$ $\alpha = .67$	g: „15) Ein Modell wird verändert, wenn sich daraus abgeleitete Annahmen	$\alpha = .69$ $\alpha = .70$	/

		gegenseitig widersprechen.“ → g: $\alpha=.71$ / g+o: $\alpha=.70$		
--	--	--	--	--

### Ergebnisse der Drop out-Analysen

Name der Variable	Drop out-Stichprobe	gültige Stichprobe	F	Sig.	T	df
Mittelwert aller Items zum Fachinteresse, Zeitpunkt 0, Werte: 1-5 <sup>B</sup>	M= 2.94 SD= .93	M= 2.74 SD= .66	6.312	.210	1.300	42.479
Mittelwert aller Items zum naturwissenschaftsbezogenen Fähigkeitsselbstkonzept, Zeitpunkt 0, Werte: 1-5 <sup>A</sup>	M= 3.05 SD= .80	M= 3.28 SD= .69	.859	.086	-1.725	297
Summe aller naturwissenschaftlichen Schulleistungen, Zeitpunkt 0, Werte: 0-15 Punkte <sup>B</sup>	M= 9.85 SD= 2.16	M= 10.06 SD= 2.41	.645	.626	-.488	285
<b>Summe aller Vorwissensfragen, Zeitpunkt 0, Werte: 0-11 Punkte<sup>A</sup></b>	<b>M= 2.26 SD= 1.92</b>	<b>M= 4.77 SD= 2.21</b>	<b>2.224</b>	<b>&lt; .001*</b>	<b>-6.628</b>	<b>306</b>
Mittelwert aller geschlossenen Items zur Modellkompetenz, Zeitpunkt 0, z-standardisiert <sup>A</sup>	M= -.04 SD= .39	M= -.01 SD= .49	2.524	.779	-.336	297
Mittelwert aller Items zur Modellbildungskompetenz nach Z-Standardisierung, Zeitpunkt 0 <sup>A</sup>	M= -.12 SD= .42	M= -.01 SD= .49	1.597	.245	-1.166	295
Mittelwert aller Items zur Modellbildungskompetenz nach Z-Standardisierung, Zeitpunkt 1 <sup>A</sup>	M= .03 SD= .42	M= -.01 SD= .51	.902	.790	.267	275
Summe aller Items zum Fachwissen, Zeitpunkt 0, Werte: 0-11 Punkte <sup>B</sup>	M= 2.92 SD= 1.95	M= 3.89 SD= 2.46	6.195	.008	-2.330	54.933
Summe aller Items zum Fachwissen, Zeitpunkt 1, Werte: 0-11 Punkte <sup>A</sup>	M= 4.85 SD= 2.37	M= 5.69 SD= 2.19	.218	.234	-1.109	65

<sup>A</sup> Varianzhomogenität angenommen, da Levene-Test nicht signifikant

<sup>B</sup> Varianzheterogenität angenommen, da Levene-Test signifikant

\* **signifikant für ein Niveau von  $\alpha=.05/9=.006$**

( $\alpha$ -Bonferroni-Adjustierung für insgesamt 9 t-Tests derselben Stichprobe zum Ausgleich der  $\alpha$ -Fehler-Kumulierung)

## Korrelationsanalysen zwischen den Prädiktorvariablen in Teil III

### Korrelationsmatrix für die Differenzen (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>) der abhängigen Variablen in Teil III

N=270	MBK (T <sub>1</sub> -T <sub>0</sub> )	Z (T <sub>1</sub> -T <sub>0</sub> )	T (T <sub>1</sub> -T <sub>0</sub> )	Ae (T <sub>1</sub> -T <sub>0</sub> )	F (T <sub>1</sub> -T <sub>0</sub> )	MBK (T <sub>0</sub> )	Z (T <sub>0</sub> )	T (T <sub>0</sub> )	Ae (T <sub>0</sub> )	Vorwissen (T <sub>0</sub> )	Fachinteresse (T <sub>0</sub> )	FSK (T <sub>0</sub> )
Modellbildungs- kompetenz (T <sub>0</sub> )	r= - .431** p< .001	r= - .269** p< .001	r= - .362** p< .001	r= - .260** p< .001	r= -.043 p= .488							
Zweck von Modellen (T <sub>0</sub> )	r= - .362** p< .001	r= - .458** p< .001	r= - .235** p< .001	r= -.058 p= .351	r= -.028 p= .649	r= .793** p< .001						
Testen von Modellen (T <sub>0</sub> )	r= -.328* p< .001	r= -.135* p= .029	r= -.532* p< .001	r= -.027 p= .659	r= -.027 p= .667	r= .834** p< .001	r= .556** p< .001					
Ändern von Modellen (T <sub>0</sub> )	r= -.305* p< .001	r= -.064 p= .298	r= -.108 p= .079	r= - .495** p< .001	r= -.038 p= .536	r= .754** p< .001	r= .344** p< .001	r= .428** p< .001				
Vorwissen (T <sub>0</sub> )	r= -.062 p= .316	r= .028 p= .647	r= -.092 p= .138	r= -.050 p= .417	r= -.052 p= .400	r= .255** p< .001	r= .128* p= .036	r= .234** p< .001	r= .230** p< .001	-		
Fachinteresse (T <sub>0</sub> )	r= -.129* p= .035	r= -.137* p= .025	r= -.092 p= .136	r= -.037 p= .546	r= -.028 p= .645	r= .298** p< .001	r= .213** p< .001	r= .250** p< .001	r= .235** p< .001	r= .200** p= .001	-	
Fähigkeitsselbstkonzept, FSK (T <sub>0</sub> )	r= -.078 p= .204	r= -.095 p= .121	r= -.059 p= .357	r= -.019 p= .762	r= -.090 p= .142	r= .302** p< .001	r= .250** p< .001	r= .264** p< .001	r= .205** p= .001	r= .258** p< .001	r= .549** p< .001	-
Modellkompetenz, MK (T <sub>0</sub> )	r= -.143* p= .019	r= -.107 p= .081	r= - .173** p= .005	r= .003 p= .957	r= -.023 p= .713	r= .658** p< .001	r= .554** p< .001	r= .575** p< .001	r= .455** p< .001	r= .178** p= .003	r= .200** p= .001	r= .232* p< .001

MBK (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>)=Differenzvariable der Modellbildungskompetenz (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>), Z (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>)=Differenzvariable des *Zwecks von Modellen* (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>),

T (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>)=Differenzvariable des *Testen von Modellen* (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>), Ae (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>)=Differenzvariable des *Ändern von Modellen* (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>), F (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>)=Differenzvariable des Fachwissens (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>)

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau 0,05 (2-seitig) signifikant.

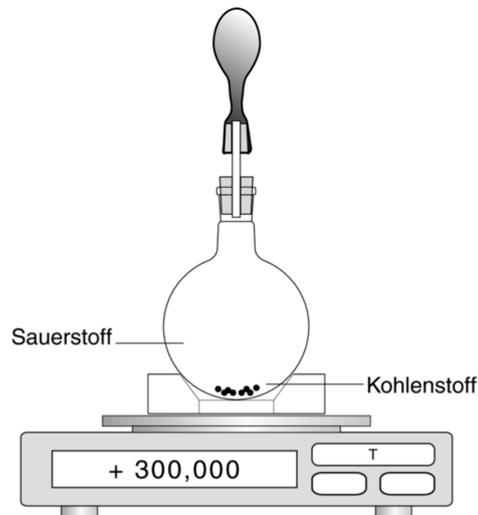
\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau 0,01 (2-seitig) signifikant.

## XV. Syntax zur Auswertung in Teil III

### Grundlegende Berechnungen und Umkodierungen

**Berechnung** bzw. Zuordnung von Punkten für richtige Angaben bei Fachwissensitems, am Beispiel der Begründung für die Massenveränderung beim Boyle-Experiment:

Item:



In dem verschlossenen, mit Sauerstoff gefüllten Rundkolben wird Holzkohle (Kohlenstoff) verbrannt. Die gesamte Versuchsanordnung wiegt 300g. Nach der Reaktion ist kein Kohlenstoff mehr zu sehen.

Wie wird sich die Masse der Versuchsanordnung verändern?

*Kreuze bitte die Lösung an.*

Die Masse nimmt zu.

Die Masse bleibt gleich.

Die Masse nimmt ab.

```
DO IF F_B1_nd_0=-99 or F_B1_nd_0=-77.  
  COMPUTE F_B1_0=-99.  
ELSE IF F_B1_nd_0=2.  
  COMPUTE F_B1_0=1.  
ELSE IF F_B1_nd_0=1 or F_B1_nd_0=3.  
  COMPUTE F_B1_0=0.  
END IF.
```

**Umkodierung**, am Beispiel der Begründung für die Massenveränderung beim Boyle-Experiment:

Item:

Du findest im Folgenden eine Reihe von Aussagen, die sich auf den Chemieunterricht/das Fach Chemie beziehen.

Gehe bitte die Aussagen der Reihe nach durch und schätze bei jeder Aussage ein, inwieweit diese auf Dich zutrifft.

	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	trifft teilweise zu	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
1) Mich mit Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie zu befassen, gehört zu meinen Lieblingsbeschäftigungen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) Wenn ich mich mit Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie beschäftige, bekomme ich gute Laune.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) Wenn ich ehrlich bin, mag ich das Fach Chemie nicht besonders.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) Nach den Ferien freue ich mich auf das Fach Chemie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) Das Fach Chemie ist für mich persönlich wichtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) Die meisten Themen oder Fragestellungen aus dem Fach Chemie sind mir egal.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

```
RECODE GV_3_nd_0 (1=5) (2=4) (ELSE=COPY) INTO GV_3_0.
```

```
VARIABLE LEVEL GV_3_0 (SCALE).
```

```
VARIABLE LABELS GV_3_0 '3) Wenn ich ehrlich bin, mag ich das Fach Chemie nicht besonders.'.
```

```
MISSING VALUES GV_3_0 (-99).
```

### Reliabilitätsprüfungen

**Interrater-Reliabilitätsanalysen** für kardinalskalierte Variablen, am Beispiel des Items zur Begründung der Massenveränderung beim Boyle-Experiment in der Skala Fachwissen:

```
RELIABILITY
```

```
  /VARIABLES=F_B2_0_V F_B2_0_A
```

```
  /SCALE('ALL VARIABLES') ALL
```

```
  /MODEL=ALPHA
```

```
  /ICC=MODEL(MIXED) TYPE(ABSOLUTE) CIN=95 TESTVAL=0.
```

**Interrater-Reliabilitätsanalysen** für ordinalskalierte Variablen, am Beispiel des Items mit offenem Format zu Eigenschaften von Modellen in der Skala Eigenschaften von Modellen:

```
WEIGHTED KAPPA E_0_V E_0_A
  /MISSING SCOPE=TABLE CLASSMISSING=EXCLUDE
  /CRITERIA WEIGHTING=LINEAR IGNORE_CASE=FALSE ASYMPTOTIC_CILEVEL=95
  /PRINT ORDER(ASCENDING) CASE(UPPER) .
```

**Reliabilitätsanalysen** für alle Skalen, am Beispiel der Skala Gefühlsbezogene Valenzen als Subskala des Fachinteresses:

```
RELIABILITY
  /VARIABLES=GV_1_0 GV_2_0 GV_3_0 GV_4_0
  /SCALE ('Fachinteresse, Gefühlsbezogene Valenzen') ALL
  /MODEL=ALPHA
  /STATISTICS=DESCRIPTIVE SCALE CORR
  /SUMMARY=TOTAL .
```

### Verarbeitung der Ratings und Z-Standardisierung

**Verarbeitung der Ratings** für Items mit offenen Formaten, am Beispiel des Items zur Begründung der Massenveränderung beim Boyle-Experiment in der Skala Fachwissen:

```
DO IF (F_B2_0_V = F_B2_0_A) .
  COMPUTE F_B2_0=F_B2_0_A.
ELSE IF (F_B2_0_V ~= F_B2_0_A) .
  COMPUTE F_B2_0=77.
END IF.
```

## **Z-Standardisierung** für Items aus gemischten Skalen und Mittelwertbildung, am Beispiel der Skala Eigenschaften von Modellen als Subskala der Modellbildungskompetenz:

```
DESCRIPTIVES VARIABLES=E_2_0, E_6_0, E_13_0, E_14_0, E_22_0, E_0
  /SAVE
  /STATISTICS=MEAN STDDEV MIN MAX.

COMPUTE E_mean_0=MEAN (ZE_2_0, ZE_6_0, ZE_13_0, ZE_14_0, ZE_22_0, ZE_0).
VARIABLE LEVEL E_mean_0 (SCALE).
VARIABLE LABELS E_mean_0 'Mittelwert aller Items zu "Eigenschaften von
Modellen" (Modellkompetenz) nach Z-Standardisierung, Zeitpunkt 0'.
MISSING VALUES E_mean_0 (-99).
```

## **Mittelwertbildung** für Ratingskalen, am Beispiel des Mittelwerts aller Items zu den gefühlsbezogenen Valenzen

```
*Gefühlsbezogene Valenzen (Fachinteresse)
COMPUTE GV_mean_0=MEAN (GV_1_0, GV_2_0, GV_3_0, GV_4_0).
VARIABLE LEVEL GV_mean_0 (SCALE).
VARIABLE LABELS GV_mean_0 'Mittelwert aller Items zu den Gefühlsbezogenen
Valenzen (Fachinteresse), Zeitpunkt 0'.
MISSING VALUES GV_mean_0 (-99).
VALUE LABELS GV_mean_0
  1 "trifft gar nicht zu"
  2 "trifft wenig zu"
  3 "trifft teilweise zu"
  4 "trifft ziemlich zu"
  5 "trifft völlig zu".
```

## **Summenbildung** aller Items mit Wissensbezug, am Beispiel der Summe aller Items zum Vorwissen

```
*Summe des Vorwissens, Zeitpunkt 0
COMPUTE V_sum_0=SUM (V_1_0, V_2_0, V_3_0, V_4_0).
VARIABLE LEVEL V_sum_0 (SCALE).
VARIABLE LABELS V_sum_0 'Summe aller Vorwissensfragen, Zeitpunkt 0, Range:
0-11 Punkte'.
MISSING VALUES V_sum_0 (-99).
```

## Drop-out Analysen

```
T-TEST GROUPS=Drop_0_1 (1 2)
  /MISSING=ANALYSIS
  /VARIABLES=FI_mean_0 FSK_mean_0 SL_mean_0 V_sum_0 MK_mean_0 MBK_mean_0
MBK_mean_1 F_sum_0 F_sum_1
  /ES DISPLAY(TRUE)
  /CRITERIA=CI(.95).
```

## Unterschiede zu T=0

**ANOVAs** für die Einzelskalen, am Beispiel der Skalen Zweck, Testen und Ändern von Modellen

```
ONEWAY Z_mean_0 T_mean_0 Ae_mean_0 BY ExpBed_0
  /STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY WELCH
  /PLOT MEANS
  /MISSING ANALYSIS
  /CRITERIA=CILEVEL(0.95)
  /POSTHOC=TUKEY GH ALPHA(0.05).
```

**Chi-Quadrate-Tests** für nominalskalierte Prädiktorvariablen, am Beispiel des Geschlechts und der Schulform

```
CROSSTABS
  /TABLES=ExpBed_0 BY Geschlecht_0 Schulform_0
  /FORMAT=AVALUE TABLES
  /STATISTICS=CHISQ CC PHI LAMBDA
  /CELLS=COUNT EXPECTED ROW COLUMN TOTAL SRESID BPROP
  /COUNT ROUND CELL
  /METHOD=EXACT TIMER(5).
```

## Varianzanalysen mit Messwiederholung

**2-faktorielle MANOVA mit Messwiederholung** für die Modellbildungskompetenz mit ihren Subdimensionen Zweck, Testen und Ändern von Modellen, als Kovariate dient in diesem Fall nur das Vorwissen:

```
GLM MBK_mean_0 MBK_mean_1 Z_mean_0 Z_mean_1 T_mean_0 T_mean_1 Ae_mean_0
Ae_mean_1 BY dig_0 dif_0
  WITH V_sum_0
  /WSFACTOR=Zeit 2 Polynomial
  /MEASURE=MBK Z T Ae
  /CONTRAST(dig_0)=DIFFERENCE
  /CONTRAST(dif_0)=DIFFERENCE
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /PLOT=PROFILE(Zeit*dif_0*dig_0) TYPE=LINE ERRORBAR=CI MEANREFERENCE=YES
YAXIS=AUTO
  /PLOT=PROFILE(Zeit*dig_0*dif_0) TYPE=LINE ERRORBAR=CI MEANREFERENCE=YES
YAXIS=AUTO
  /PRINT=DESCRIPTIVE ETASQ HOMOGENEITY
  /CRITERIA=ALPHA(.05)
  /DESIGN= V_sum_0 dig_0 dif_0 dif_0*dig_0.
```

**2-faktorielle ANOVA mit Messwiederholung** für das Fachwissen, als Kovariate dienen in diesem Fall das Vorwissen und Zweck von Modellen im Vortest:

```
GLM F_sum_0 F_sum_1 BY dig_0 dif_0 WITH V_sum_0 Z_mean_0
  /WSFACTOR=Zeit 2 Polynomial
  /MEASURE=Fachwissen
  /CONTRAST(dig_0)=DIFFERENCE
  /CONTRAST(dif_0)=DIFFERENCE
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /PLOT=PROFILE(Zeit*dif_0*dig_0) TYPE=LINE ERRORBAR=CI MEANREFERENCE=YES
YAXIS=AUTO
  /PRINT=DESCRIPTIVE ETASQ HOMOGENEITY
  /CRITERIA=ALPHA(.05)
  /DESIGN= V_sum_0 Z_mean_0 dig_0 dif_0 dif_0*dig_0.
```

## Korrelations- und Regressionsanalysen

### **Bildung der Differenzvariable, am Beispiel der Differenz der Modellbildungskompetenz T=1-T=0**

\*Differenzvariablen (T1-T0) bilden und deklarieren

```
COMPUTE Diff_MBK_1_0=MBK_mean_1- MBK_mean_0.
```

```
VARIABLE LEVEL Diff_MBK_1_0 (SCALE).
```

```
VARIABLE LABELS Diff_MBK_1_0 'Differenz der Modellbildungskompetenz der  
Zeitpunkte T1 und T0'.
```

```
MISSING VALUES Diff_MBK_1_0 (-99).
```

### **Korrelationsanalyse, am Beispiel der Zusammenhänge zwischen der Differenzvariable der Modellbildungskompetenz und den Prädiktorvariablen zu T=0 (Modellbildungskompetenz mit Subdimensionen, Vorwissen, Fachinteresse, Fähigkeitsselbstkonzept und Modellkompetenz:**

```
CORRELATIONS
```

```
/VARIABLES=Diff_MBK_1_0 MBK_mean_0 Z_mean_0 T_mean_0 Ae_mean_0 V_sum_0  
FI_mean_0 FSK_mean_0 MK_mean_0  
/PRINT=TWOTAIL NOSIG LOWER  
/MISSING=PAIRWISE.
```

### **Regressionsanalyse, am Beispiel der Regression der Differenzvariable der Modellbildungskompetenz mit dem Zweck, Testen und Ändern von Modellen zu T=0, Modellbildungskompetenz, Modellkompetenz und Fachinteresse jeweils im Vortest:**

```
REGRESSION
```

```
/DESCRIPTIVES MEAN STDDEV CORR SIG N  
/MISSING LISTWISE  
/STATISTICS COEFF OUTS CI(95) R ANOVA COLLIN TOL ZPP  
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)  
/NOORIGIN  
/DEPENDENT Diff_MBK_1_0  
/METHOD=ENTER Z_mean_0 T_mean_0 Ae_mean_0 MBK_mean_0 FI_mean_0 MK_mean_0  
/PARTIALPLOT ALL  
/RESIDUALS DURBIN HISTOGRAM(ZRESID) NORMPROB(ZRESID)  
/CASEWISE PLOT(ZRESID) OUTLIERS(3)  
/SAVE PRED COOK LEVER SRESID SDRESID.
```