

Die Rolle der Chemielehrkraft im basiskonzeptorientierten Unterricht der organischen Chemie

Eine empirische Studie zu den epistemologischen Überzeugungen und professionellen Kompetenzen von erfahrenen Chemielehrkräften und Chemie-Lehramtsstudierenden zur Struktur-Eigenschafts-Beziehung in der organischen Chemie.

The Role of Chemistry Teachers in Concept-Oriented Organic Chemistry Lessons

An empirical study about epistemological beliefs and content knowledge of teacher and students regarding the structure and property relationships on organic chemistry.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Vom Fachbereich Chemie
der Technischen Universität Darmstadt
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)

genemigte

Dissertation

vorgelegt von

OStR`in Esther von Estorff

aus München

Referent: Prof. Dr. Boris Schmidt


Korreferent: Prof. Dr. Verena Pietzner

Tag der Einreichung: 03. Juli 2017

Tag der mündlichen Prüfung: 23. Oktober 2017

Darmstadt 2017

D 17



Die vorliegende Arbeit wurde unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Boris Schmidt am Clemens Schöpf-Institut für Organische Chemie und Biochemie der Technischen Universität Darmstadt und Frau Prof. Dr. Verena Pietzner Didaktik der Chemie der Universität Oldenburg von Juli 2013 bis Juli 2017 angefertigt.

Danksagung

Für die Möglichkeit an der Technischen Universität Darmstadt in der Fachdidaktik Chemie promovieren zu können möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Boris Schmidt bedanken. Insbesondere für die finanzielle und organisatorische Unterstützung. Herrn Prof. Dr. Markus Prechtel danke ich für die Möglichkeit eines gemeinsamen Didaktikseminars.

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Verena Pietzner, ohne deren Unterstützung und fachlichen Rat diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Trotz des Umstandes, dass wir häufig nur über Skype kommunizieren konnten.

Meinen Kolleginnen und Kollegen an der Adolf-Reichwein-Schule in Langen/Hessen möchte ich ebenfalls für ihre Unterstützung danken. Insbesondere der Schulleitung, die mich bei dienstlichen Terminen und Klassenführungsaufgaben entlastet haben.

Den größten Dank gilt meinem Mann und meinem Sohn, die so manche Ferienplanung unter dem Aspekt von Fortbildungen und Tagungsterminen mitgetragen haben.



Zusammenfassung

In den letzten Jahren zeigten verschiedene Studien wie PISA oder TIMSS, dass bei vielen Jugendlichen Defizite in der Anwendung chemischer Konzepte bestehen. Die Universitäten führen die hohe Abbruchquote im Fach Chemie auf diese Defizite zurück. So beschreibt insbesondere das „Eisberg-Phänomen der organischen Chemie“ die Problematik der Überforderung vieler Studierender durch einen Mangel an konzeptorientierten Lernstrategien. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach der schulischen Ausbildung der Chemiestudierenden. Als Folge der Ergebnisse von internationalen Vergleichsstudien sollte in Deutschland ein Paradigmenwechsel im Chemieunterricht in der Hinsicht stattgefunden haben, das nun das Erlernen von Konzepten den Jugendlichen eine heuristische Herangehensweise an naturwissenschaftlichen Aufgaben ermöglicht. Der konzeptorientierte Unterricht ist jedoch noch nicht in der Praxis angekommen. Um dies zu ermöglichen bedarf es von Chemielehrkräften neben entsprechenden fachdidaktischen Kompetenzen auch eine entsprechende epistemologische Einstellung. In dieser Studie wurde daher untersucht, welche fachlichen und didaktischen Voraussetzungen Chemielehrkräfte für einen konzeptorientierten Unterricht besitzen. Wie die Ergebnisse der Studie zeigen, hat das Studium im untersuchten Themengebiet nur einen geringen Einfluss auf die fachlichen und fachdidaktischen Kenntnisse der Lehrkräfte. Es ist zu befürchten, dass die Einstellungen und Kenntnisse nicht geeignet sind, einen konzeptorientierten Unterricht zur organischen Chemie zu unterstützen.

Summary

In recent years, different studies like PISA or TIMSS have shown that many young people suffer from a lack of lasting scientific knowledge. Universities explain that this lack is responsible for the high dropout rate of students in the subject chemistry. So, the „Iceberg-Phenomenon of Organic Chemistry“ in particular describes the problem that many students aren't able to keep up because they lack conceptual learning strategies. In this context, the question of schooling of chemistry students arises. As a consequence of the results of international comparative studies, a paradigm change in chemistry schooling should have taken place in Germany. Now, the students should have been enabled to solve scientific tasks by learning heuristic methods. But heuristic conceptual schooling hasn't found its way into teaching reality yet. In order to achieve this, chemistry teachers also need to have the according epistemological attitude in addition to subject - related skills. So, this study investigated the question, which subject - related and educational qualifications do chemistry teachers have to enable them to do conceptual teaching. The results of this study show that university education doesn't have main impact on the investigated subject - related and educational knowledge of teachers. It can be assumed that attitudes and knowledges probably don't support conceptual teaching very much.

Inhaltsverzeichnis

1.....Einleitung	13
2.....Theoretischer Hintergrund	14
2.1. Kompetenzbereiche der Naturwissenschaften	15
2.1.1. Basiskonzepte der Chemie	18
2.1.1. Implementation der Bildungsstandards in der Schule	19
2.2. Der kompetenzorientierte Unterricht	22
2.2.1. Der basiskonzeptorientierte Unterrichtsweg	22
2.3. Modellverständnis und Modellkompetenz	24
2.3.1. Modell zur Modellkompetenz	26
2.4. Atom- und Molekülmodelle	27
2.5. Modellversuche zu den Basiskonzepten der Chemie	30
2.6. Formelschreibweisen	32
2.7. Die Rolle des molekularen Verständnis beim Struktur-Eigenschafts-Konzept der organischen Chemie	33
2.7.1. Intermolekulare Kräfte	34
2.7.2. Struktur und Bindungen	36
2.8. Animismen	37
2.9. Der Modellcharakter von Animationen und Simulationen	37
2.10. Die Rolle der Lehrkraft im kompetenzorientierten Unterricht	38
2.10.1. Epistemologische Überzeugungen	39
2.11. Untersuchung des professionellen Wissens der Lehrkraft	41
2.11.1. Die COAKTIV-Studie und das ProwiN-Projekt	42
3.....Fragestellung der Studie	45
3.1. Hypothesen der Untersuchung	45
4.....Durchführung der Studie	46
5.....Methodik	47
5.1. Aufbau der Fragebögen	47
5.2. Pilotierung	47
5.3. Konstruktion der Items zum Modellverständnis	48
5.4. Methode der Auswertung zum Modellverständnis	48
5.5. Konstruktion der Items zum modellbezogenen Fachwissens	49
5.6. Methode zur Auswertung des modellbezogenen Fachwissens	50
5.7. Statistische Methoden	50
6.....Ergebnisteil	51
6.1. Beschreibung der Stichprobe	51
6.2. Auswertung der Seminararbeiten	53
6.3. Ergebnisse der Fragbogenstudien	57

6.3.1.	Antwortverhalten der Probanden	57
6.3.2.	Ergebnisse der epistemologischen Überzeugungen zum Modellverständnis	58
6.3.3.	Ergebnisse der Faktorenanalyse zum Modellverständnis	60
6.3.4.	Reliabilitätsanalyse	62
6.3.5.	Ergebnisse der Modellvorstellungen bei Lehrkräften und Studierenden	63
6.3.6.	Zusammenfassung der Ergebnisse zum Modellverständnis	70
6.3.7.	Ergebnisse zum modellbezogenen Fachwissen	70
6.3.8.	Ergebnisse zum modellbezogenen Fachwissen der Lehrkräfte	74
6.3.9.	Ergebnisse zum modellbezogenen Fachwissen der Studierenden	75
6.3.10.	Ergebnisse zu den Kenntnissen zur Formelschreibweise	76
6.3.11.	Erklärungen der Van-der-Waals-Kräfte der Studierenden	79
6.3.12.	Erklärungen der V.d.W.K. durch erfahrene Lehrkräfte	81
6.3.13.	Zusammenfassung der Ergebnisse zu den modellbezogenen Kenntnissen der Lehrkräfte und Studierenden.	85
6.3.14.	Ergebnisse zum Verständnis von Modellexperimenten	87
6.3.15.	Ergebnisse zum Modellexperiment Ethanol-Wasser	90
6.3.16.	Auswertung Animismus Wasserstoffbrückenbindung	91
6.3.17.	Auswertung Besuch von Seminaren und Fortbildungsangeboten zu „Modelle im Chemieunterricht“	92
6.3.18.	Auswertung Einsatz digitaler Medien	93
7.	Diskussion der Ergebnisse	97
7.1.	Diskussion der Ergebnisse zum Modellverständnis	97
7.2.	Diskussion der Ergebnisse zum modellbezogenen Fachwissen	98
7.3.	Diskussion der Ergebnisse zu den Kenntnissen und Einsatz von Modellexperimenten	100
7.4.	Diskussion des Ergebnisses Einsatz digitaler Medien und Animismen	101
7.5.	Diskussion der Ergebnisse zum Besuch von Didaktikseminaren und Fortbildungen	101
8.	Fazit	103
9.	Ausblick	105
10. ..	Literaturverzeichnis	106
12. ..	Anhang	120

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kompetenzbereiche im Fach Chemie	15
Abbildung 2: Kompetenzbereiche und Anforderungsbereiche für die Chemie (KMK, 2004) .	16
Abbildung 3: Basiskonzepte für die Sekundarstufe I (Hoy, 2017)	17
Abbildung 4: Auszug aus dem Lehrplan (2010) und Kerncurricula (2016)	20
Abbildung 5: Auszug aus dem Kerncurricula Niedersachsen Auszug Kerncurricula Niedersachsen, verbindlich für die Qualifikationsphase im Schuljahr 2017/18 (Kultusministerium-Niedersachsen, 2009)	21
Abbildung 6: Skizze einer möglichen curricularen Entwicklung des Struktur-Eigenschafts- Konzepts (Parchmann, Scheffel & Stäudel, 2010).	23
Abbildung 7: Erklärungsebenen der Schulchemie (Parchmann, Scheffel, & Stäudel, 2010)...	24
Abbildung 8: Darstellung der Beziehung von Original, Denk- und Anschauungsmodellen nach Steinbruch (1977) entnommen aus Johannsmeyer (2014).	25
Abbildung 9: Modellkompetenz im Kontext Biologieunterricht nach Upmeier von Belzen & Krüger entnommen aus (Trier & Upmeier zu Belzen, 2009)	27
Abbildung 10: Der Eisberg der organischen Chemie entnommen aus Graulich (2011).....	34
Abbildung 12: Darstellungen der Intermolekularen Kräfte aus der Studie von Cooper (2015)	36
Abbildung 13: Doppelbindung in einem Alken	36
Abbildung 14: Animismen	37
Abbildung 15: Aspekte professioneller Kompetenz	38
Abbildung 16: Hofers Modell zum Einfluss epistemologischer Überzeugungen auf das Lernen in der Schule (Urhahne und Hopf, 2004, 76).....	41
Abbildung 17: Modell zur Konstruktion von Aufgaben zum chemiespezifischen Professionswissen aus Dollny (2011, 55)	43
Abbildung 18: Teilweise programmierte App der Seminargruppe 5.....	56
Abbildung 19: Antwortverhalten der Lehrkräfte und Studierenden zum Modellverständnis	57
Abbildung 20: T58 Darstellung der Skelettschreibweise in Mischform.....	76
Abbildung 21: Zeichnungen der Kategorie 1	79
Abbildung 22: Zeichnungen der Kategorie 2	79
Abbildung 23: Zeichnungen der Kategorie 3	80
Abbildung 24: Zeichnungen der Kategorie 4	80
Abbildung 25: Antwort T44-Studierende.....	91
Abbildung 26: Van-der-Waals-Kräfte aus www.schule-studium.de 2015 und aus Wikibooks, 2013.....	99

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erläuterungen der Basiskonzepte, aus: Bildungsstandards-Chemie Hessische Kultusministerium Beschluss 2004_12_16.pdf (KMK, 2004)	18
Tabelle 2: Übersicht schulrelevanter Atom- und Molekülmodelle	28
Tabelle 3: Modellversuche zur submikroskopischen Ebene	31
Tabelle 4: Typische formale Schreibweisen in der organischen Chemie	33
Tabelle 5: Molekulare Darstellung der Wasserstoffbrückenbindungen und der Van-der-Waals-Kräfte.....	35
Tabelle 6: Mehrdimensionales Modell epistemologischer Überzeugungen (Urhahne, Hopf 2004)	40
Tabelle 7: Beschreibung der Stichproben der Studierenden und Lehrkräfte	51
Tabelle 8: Alter der befragten Personen	51
Tabelle 9: Studiendauer bzw. Dienstalter der befragten Studierenden und Lehrkräfte	52
Tabelle 10: Zweites Unterrichtsfach der befragten Studierenden und Lehrkräfte.....	52
Tabelle 11: Amtstitel und Schulform der befragten Lehrkräfte	53
Tabelle 12: Df-Werte für die Niveaustufen bei Lehrkräften und Studierenden	58
Tabelle 13: Hauptkomponenten des Modellverständnisses; nur Faktorenladungen > 0,4 wurden berücksichtigt.	61
Tabelle 14: Hauptkomponenten zum Modellverständnis; Cronbachs-Alpha-Werte.....	62
Tabelle 15: Vergleich der Einstellungen zum Modellverständnis der Lehrkräfte und Studierenden in den Hauptkomponenten	64
Tabelle 16: Kruskal-Wallis-Test Hauptkomponenten mit der Variablen Amtstitel.....	65
Tabelle 17: Kruskal-Wallis-Test Hauptkomponenten und Schulform	66
Tabelle 18: Hauptkomponenten und Schulform; Gymnasiallehrkräfte und Realschullehrkräften.....	67
Tabelle 19: Kruskal-Wallis-Test Hauptkomponenten und Unterrichtserfahrung	68
Tabelle 20: Kruskal-Wallis-Test Hauptkomponenten Anzahl der Semester der Studierenden.....	69
Tabelle 21: Mittelwerte/Median zu den untersuchten Molekülmodellen für die Gesamtstichprobe n = 212.....	70
Tabelle 22: Vergleich modellbezogene Fachwissen von Studierenden und erfahrenen Lehrkräften	71
Tabelle 23: Auswertung zum modellbezogenen Fachwissen von Lehrkräften und Studierenden.	73
Tabelle 24: Kruskal-Wallis Test Moleküldarstellungen und Variable Unterrichtserfahrung ...	75
Tabelle 25: Kruskal Wallis Test modellbezogene Fachwissen und Anzahl der Semester	75
Tabelle 26 Angabe der korrekten Antworten der Studierenden zur Formelschreibweise in Prozent. Die Berechnung erfolgte aus der Datenbank Studierende.	76
Tabelle 27: Kruskal-Wallis-Test zum fachbezogenen Wissen der Formelschreibweisen und der Semesterzahl.	77
Tabelle 28: Kruskal-Wallis-Test zur Formelschreibweise und Semesteranzahl	78

Tabelle 29: Darstellungsweisen der molekularen Vorstellung zu den Van-der-Waals-Kräfte der Studierenden	80
Tabelle 30: Modelle, die zur Erklärung der van der Waals Bindungen von den Lehrkräften genutzt wurden	82
Tabelle 31: Modelle, mit der die Lehrkräfte die Wasserstoffbrückenbindung erklären	82
Tabelle 32: Kruskal-Wallis-Test; Verwendung von Modellen zur Erklärung der WBB und Zweitfach	83
Tabelle 33: Kruskal-Wallis Test, Verwendung von Modellen zur Erklärung der WBB und Alter	84
Tabelle 34: Definition von Modellexperimenten	87
Tabelle 35: Themenbereiche zu denen Modellexperimente eingesetzt werden	88
Tabelle 36: Beispiele für Modellversuche	89
Tabelle 37: Didaktische Kenntnisse zum Modellversuch Ethanol/ Wasser im Zusammenhang mit der Teilchenvorstellung	90
Tabelle 38: Angebote von Seminaren zum Thema Modelle in der Chemie	92
Tabelle 39: Besuch eines Didaktikseminars zum Thema <i>Modelle in der Chemie</i>	92
Tabelle 40: Einstellungen der Lehrkräfte und Studierende zu digitalen Medien.	93
Tabelle 41: Einsatzbereiche digitaler Medien im Unterricht	94
Tabelle 42: Mann-Whitney–U-Test Vergleich erfahrene Lehrkräfte und Studierende in der Nutzung digitaler Medien	95
Tabelle 43: Mann-Whitney–U-Test Einsatzbereiche digitaler Medien im Unterricht	95
Tabelle 44: Kruskal-Wallis-Test Digitale Medien und Unterrichtserfahrung	96

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Art.	Artikel
Aufl.	Auflage
Ausg.	Ausgabe
Bd.	Band
COAKTIV	<i>Cognitive Activation in the Classroom</i>
DF-Wert	Differenzwert
d.h.	das heißt
et al.	und andere
GDCh	Gesellschaft deutscher Chemiker
Hrsg.	Herausgeber
Jg.	Jahrgang
MNU	Deutscher Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts
ProwiN	Professionswissen in den Naturwissenschaften
S.	Seite
s.	siehe
T.	Teilnehmer
u.a.	und andere
V.d.W.K.	Van der Waals Kräfte
Verf.	Verfasser
vgl.	vergleiche
VSEPR	Valence Shell Electron Pair Repulsion
WBB	Wasserstoffbrückenbindungen
z.B.	zum Beispiel

Abkürzungen mit Erläuterungen

KMK	<i>Kultusministerkonferenz</i> ist die ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. Die Beschlüsse haben keinen Rechtsansatz und müssen daher in den jeweiligen Ländern als Landesrechtsvorschrift erlassen werden.
KM	<i>Kultusministerien</i> der Bundesländer. HKM= Hessische Kultusministerium. Ist unter anderem für die Bildungsplanung und Lehrplanentwicklung verantwortlich.
SI	<i>Sekundarstufe I</i> umfasst im Bildungsgang G8 die Klassenstufen 5 bis 9. Im Bildungsgang G9 die Klassenstufen 5 bis 10. Sie wird auch als Mittelstufe bezeichnet.
SII	<i>Sekundarstufe II</i> umfasst im Bildungsgang G8 die Jahrgangsstufe 10 bis 12. Im Bildungsgang G9 die Jahrgangsstufe 11 bis 13. Sie wird auch als Oberstufe bezeichnet.
PISA	<i>Programme for International Student Assessment</i> . Programm zur internationalen Schülerbewertung. Sie wird im Auftrag der Regierungen durchgeführt und untersucht Schüler einer Altersstufe, nicht einer schulischen Klassenstufe. Deutschland hat an den Vergleichsstudien 2003, 2009, 2012 und 2015 teilgenommen.
TIMSS	<i>Trends in International Mathematics and Science Study</i> . Erfasst das mathematische und naturwissenschaftliche Grundverständnis von Schülerinnen und Schüler am Ende der 4. Jahrgangsstufe in einem vierjährigen Rhythmus. An der dritten TIMSS –Studie (1997) nahmen darüber hinaus auch Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I und Sekundarstufe II teil.

Einleitung

Das Ziel des Chemieunterrichtes wird darin gesehen, Schülerinnen und Schülern ein allgemeines Chemieverständnis zu vermitteln, damit diese Alltagsphänomene verstehen (Duit, 1997). Aus diesem Ansatz leitet sich die Begründung ab, chemische Kenntnisse als Allgemeinbildung zu betrachten. Insbesondere von den Vertretern der *kritischen Bildungstheorie* wird dies jedoch infrage gestellt. In ihrer Definition findet im naturwissenschaftlichen Unterricht kein Verständnisprozess statt, es ist vielmehr nur ein Lernprozess für Prüfungen. In diesem Zusammenhang wird auch häufig von Wissensbulimie gesprochen (Bierbaum, 2009). Tatsächlich zeigt die Unterrichtspraxis, dass das Ziel, Chemieverständnis zu generieren, häufig nicht erreicht wird. Der Grund wird vor allem darin gesehen, dass Schülerinnen und Schüler keine nachhaltigen naturwissenschaftlichen Kompetenzen besitzen (Schipe-Tiska, et al., 2016; Baumert, Klieme & Bos, 2001 et al.). In der Fachliteratur kann die Kritik am Chemieunterricht über Jahrzehnte hin verfolgt werden (Buck, 2006, Merzyn, 2008; Schmitkunz, 1995 et al.). Ein Grund hierfür ist vermutlich, dass Verbesserungsvorschläge aus der Fachdidaktik sich nur selten in verbindliche Kompetenzbeschreibungen für eine naturwissenschaftliche Lehrkraft oder in curricularen Vorgaben wiederfinden (Mikelskis-Seifert, 2003a). Erst die schlechten Ergebnisse der deutschen Schülerinnen und Schüler in internationalen Vergleichstudien wie PISA oder TIMSS führten dazu, dass von der Kultusministerkonferenz (KMK) ein für alle Bundesländer gültiger Paradigmenwechsel *verordnet* wurde. Die Einführung der Bildungsstandards werden daher auch als eine der wichtigsten Bildungsreformen in Deutschland verstanden.

Für den Chemieunterricht bedeuten die Bildungsstandards in erster Linie, dass das Erlernen fachlicher Inhalte über Basiskonzepte erfolgen soll. Schülerinnen und Schülern ermöglicht dieser Ansatz eine heuristische Herangehensweise an naturwissenschaftliche Fragestellungen. Die Basiskonzepte waren bereits vor der Einführung der Bildungsstandards für den Chemieunterricht relevant; der Unterschied besteht jedoch darin, dass diese nicht mehr isoliert betrachtet werden, sondern kontinuierlich in allen Themenbereichen angewendet werden sollen. Dieser basiskonzeptorientierte Unterrichtsansatz findet sich jedoch nach fast zwölf Jahren Bildungsreform kaum wieder (Schipe-Tiska et al., 2016). Um Neuerungen in der Unterrichtspraxis zu implementieren, spielen die subjektiven Theorien und Kompetenzen der Lehrkraft eine entscheidende Rolle (Zeidler, Heller & Asbrand, 2012; Sembill, Seifried, 2009; Stern, 2009). Im Zentrum der Studie steht daher das modellbezogene Fachwissen, das für die Umsetzung der Bildungsstandards eine wichtige Voraussetzung bildet. Es wird zunächst der Kompetenzbegriff im schulischen Kontext betrachtet und wie ein kompetenzorientierter Unterricht zu gestalten ist. Der Schwerpunkt der Studie wurde dabei auf den Aspekt der Basiskonzeptorientierung gelegt. Es interessiert in diesem Zusammenhang besonders, inwieweit Chemielehrkräfte und Chemie-Lehramtsstudierende über ein basiskonzeptionelles Verständnis, insbesondere zum Struktur-Eigenschafts-Konzept der organischen Chemie, verfügen.

1. Theoretischer Hintergrund

Die Einführung verbindlicher Bildungsstandards zum Schuljahr 2004/2005 für alle Schulen in der Bundesrepublik wird als einer der bedeutendsten Bildungsreformen in Deutschland gesehen (Zeidler, Heller & Asbrand, 2012). In den Erläuterungen der Kultusministerkonferenz (KMK) werden Bildungsstandards als die Grundprinzipien des jeweiligen Unterrichtsfaches verstanden, die den Schülerinnen und Schülern ein langfristiges systematisch vernetztes Lernen ermöglichen und somit dem Prinzip des kumulativen Kompetenzerwerbs folgen. Gleichzeitig wird durch die Standards festgelegt, welche Kompetenzen Schülerinnen und Schüler zu einem bestimmten Zeitpunkt erreicht haben sollen (KMK, 2005).

Kompetenzen beschreiben Dispositionen zur Bewältigung bestimmter Anforderungen. Solche Kompetenzen sind fach- bzw. lernbereichsspezifisch ausformuliert, da sie an bestimmten Inhalten erworben werden müssen. Die vorgelegten Standards konzentrieren sich damit auf überprüfbare, fachbezogene Kompetenzen und vermessen keineswegs das gesamte Spektrum von Bildung und Erziehung. Kompetenzen sind abgrenzbar, d. h. man kann bestimmen, ob eine Schülerin oder ein Schüler über eine bestimmte Kompetenz verfügt oder nicht. Deshalb werden die Kompetenzen möglichst konkret beschrieben, sodass sie in Aufgabenstellungen umgesetzt und prinzipiell mithilfe von Testverfahren erfasst werden können. Die Orientierung an Kompetenzen hat zur Folge, dass

- *der Blick auf die Lernergebnisse von Schülerinnen und Schülern gelenkt wird,*
- *das Lernen auf die Bewältigung von Anforderungen und nicht nur auf den Aufbau von zunächst ungenutztem Wissen ausgerichtet wird,*
- *das Lernen als kumulativer Prozess organisiert wird.*

Schülerinnen und Schüler haben fachliche Kompetenzen ausgebildet, wenn sie

- *zur Bewältigung einer Situation vorhandene Fähigkeiten nutzen,*
- *dabei auf vorhandenes Wissen zurückgreifen und sich benötigtes Wissen beschaffen,*
- *die zentralen Zusammenhänge eines Lerngebietes verstanden haben,*
- *angemessene Lösungswege wählen,*
- *bei ihren Handlungen auf verfügbare Fertigkeiten zurückgreifen,*
- *ihre bisher gesammelten Erfahrungen in ihre Handlungen mit einbeziehen (KMK, 2005,16).*

Mit dem Kompetenzansatz der KMK steht der Lernende im Mittelpunkt der Bildung und nicht mehr der fachliche Inhalt. Es ist somit nicht mehr das Ziel der Bildung, möglichst viele Lernziele zu erreichen, sondern die Nützlichkeit und Anwendbarkeit dessen, was gelernt wird. Kompetenzen werden als ein wichtiger Schlüsselbegriff in der fachdidaktischen Diskussion gesehen, wobei sich das didaktische Interesse durch die Kompetenzorientierung vom *Wissen* zum *Können* verschiebt (Hofer R., 2011). Damit tritt die konstruktivistische Lernauffassung stärker in den Fokus, wodurch die Rolle der Lehrkräfte als reine Wissensvermittler infrage gestellt wird. Betrachtet man jedoch die Definition von Kompetenzen durch die KMK, die im Wesentlichen auf Weinert (2001) basieren, so muss Wissen und Kompetenzen in einem engen Zusammenhang gesehen werden. Nach Ossner (2007) ist der Unterricht ein Ort, an dem Wissen und Kompetenzen systematisch erarbeitet werden. Der Kompetenzbegriff wird im schulischen Kontext vor allem anforderungsorientiert verstanden und dient der beruflichen Qualifikation der Schülerinnen und Schüler. Wird Kompetenz als die Fähigkeit verstanden, angemessene Lösungswege zu finden, so bedarf es hierfür jedoch fundiertes fachliches Verständnis. Demnach ist das domänenspezifische Wissen auch weiterhin ein wichtiger Aspekt im Unterricht und wird daher explizit als Fachkompetenz aufgeführt.

1.1. Kompetenzbereiche der Naturwissenschaften

In den von der Kultuskonferenz beschlossenen Bildungsstandards werden die naturwissenschaftlichen Kompetenzen für die Fächer Physik, Chemie und Biologie in den Kerncurricula beschrieben. Neben den inhaltsbezogenen Kompetenzen des jeweiligen Unterrichtsfaches sind gleichberechtigt auch prozessbezogene Kompetenzen wie *Erkenntnisgewinnung*, *Kommunikation* und *Bewertung* aufgeführt. (Kultusministerium-Niedersachsen, 2007). Für das Fach Chemie werden diese in der Abbildung 1 aufgeführt. Im naturwissenschaftlichen Unterricht sollen die Kompetenzen aus unterschiedlichen Bereichen berücksichtigt werden. Fachwissen und Methoden der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung sind dabei ebenso von Bedeutung wie Kommunikationsfähigkeit und reflektierte Anwendung der erworbenen Kompetenzen im Alltag. Die Erweiterung des Kompetenzbegriffes wird bewusst mit einer Einschränkung der fachspezifischen Inhalte gesehen (Kultusministerium-Niedersachsen, 2007).

Kompetenzbereiche im Fach Chemie	
Fachwissen	chemische Phänomene, Begriffe, Gesetzmäßigkeiten kennen und Basiskonzepten zuordnen
Erkenntnisgewinnung	experimentelle und andere Untersuchungsmethoden sowie Modelle nutzen
Kommunikation	Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen
Bewertung	chemische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten

Abbildung 1: Kompetenzbereiche im Fach Chemie

Der Lernweg wird in den Bildungsstandards nicht weiter festgelegt; den Lehrkräften wird somit eine größere Freiheit und Verantwortung bei der Unterrichtsgestaltung gegeben (Zeidler, Heller & Asbrand, 2012). Die Aufgabe der Schule und insbesondere der Fachschaften besteht darin, die verbindlichen Kerncurricula in schulinterne Fachcurricula umzusetzen. Die Fachlehrkräfte sollen den Kompetenzbereichen des Kerncurriculums inhaltliche Konzepte zuordnen. Für die Überprüfung von Kompetenzen wurden verschiedene Anforderungsbereiche formuliert:

Anforderungsbereich I: Wiedergeben und beschreiben

Fakten und einfache Sachverhalte reproduzieren; fachspezifische Arbeitsweisen, insbesondere experimentelle, nachvollziehen bzw. beschreiben; einfache Sachverhalte in einer vorgegebenen Form unter Anleitung darstellen; Auswirkungen fachspezifischer Erkenntnisse benennen; Kontexte aus fachlicher Sicht erläutern.

Anforderungsbereich II: Anwenden und strukturieren

Fachspezifisches Wissen in einfachen Kontexten anwenden; Analogien benennen; Strategien zur Lösung von Aufgaben nutzen; einfache Experimente planen und durchführen; Sachverhalte fachsprachlich und

strukturiert darstellen und begründen; zwischen fachspezifischen und anderen Komponenten einer Bewertung unterscheiden.

Anforderungsbereich III: Transferieren und verknüpfen

Fachspezifisches Wissen auswählen und auf teilweise unbekannte Kontexte anwenden; Fachmethoden kombiniert und zielgerichtet auswählen und einsetzen; Darstellungsformen auswählen und anwenden; fachspezifische Erkenntnisse als Basis für die Bewertung eines Sachverhaltes nutzen.

Dabei sollte der Schwerpunkt in den Bereichen I und II liegen (Kultusministerium-Niedersachsen, 2007). Für das Fach Chemie sind die entsprechenden Anforderungsbereiche in Abbildung 2 aufgeführt.

		Anforderungsbereich		
		I	II	III
Kompetenzbereich	Fachwissen	Kenntnisse und Konzepte zielgerichtet wiedergeben	Kenntnisse und Konzepte auswählen und anwenden	komplexere Fragestellungen auf der Grundlage von Kenntnissen und Konzepten planmäßig und konstruktiv bearbeiten
	Erkenntnisgewinnung	bekanntere Untersuchungsmethoden und Modelle beschreiben, Untersuchungen nach Anleitung durchführen	geeignete Untersuchungsmethoden und Modelle zur Bearbeitung überschaubarer Sachverhalte auswählen und anwenden	geeignete Untersuchungsmethoden und Modelle zur Bearbeitung komplexer Sachverhalte begründet auswählen und anpassen
	Kommunikation	bekanntere Informationen in verschiedenen fachlich relevanten Darstellungsformen erfassen und wiedergeben	Informationen erfassen und in geeigneten Darstellungsformen situations- und adressatengerecht veranschaulichen	Informationen auswerten, reflektieren und für eigene Argumentationen nutzen
	Bewertung	vorgegebene Argumente zur Bewertung eines Sachverhaltes erkennen und wiedergeben	geeignete Argumente zur Bewertung eines Sachverhaltes auswählen und nutzen	Argumente zur Bewertung eines Sachverhaltes aus verschiedenen Perspektiven abwägen und Entscheidungsprozesse reflektieren

Abbildung 2: Kompetenzbereiche und Anforderungsbereiche für die Chemie (KMK, 2004)

In der fachdidaktischen Diskussion wird der Kompetenzbegriff sehr kontrovers diskutiert. So wird unter anderem zwischen Fachkompetenz und Kompetenzen kein Unterschied gesehen, da sich Kompetenzen immer auf fachliche Ansprüche beziehen. Diese sind durch die Domäne des Faches vorgegeben. Andererseits verliert die Fachkompetenz durch die Erweiterungen und Differenzierungen des Kompetenzbegriffes immer mehr an Bedeutung (Hofer R., 2011). In den naturwissenschaftlichen Fächern

stellt jedoch der fachwissenschaftliche Aspekt eine wichtige Grundlage für die Entwicklung von Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler dar. Fachliches Wissen soll sich dabei nicht nur auf fallspezifische Beispiele beschränken, sondern dazu dienen, Prinzipien und Konzepte auf verschiedene Phänomene anzuwenden. Für ein solches grundlegendes Verständnis der naturwissenschaftlichen Fächer wurden für die Physik, Biologie und Chemie Basiskonzepte formuliert, die die fachspezifischen Denkmuster des Faches widerspiegeln. Diese werden in der folgenden Abbildung gezeigt.

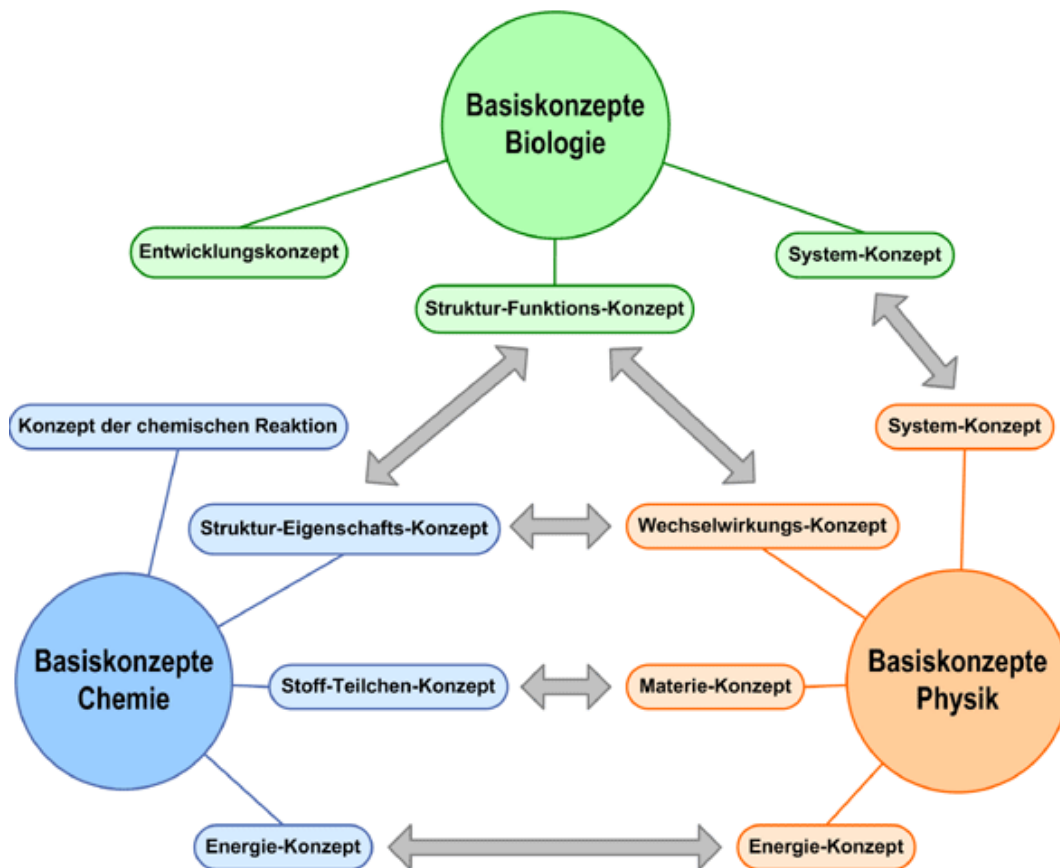


Abbildung 3: Basiskonzepte für die Sekundarstufe I (Hoy, 2017)

1.1.1. Basiskonzepte der Chemie

Basiskonzepte werden als Denkschemata einer Wissenschaft verstanden. In der Chemie basiert dieses vor allem darauf, dass Phänomene auf der atomaren Ebene gedeutet werden. Die in der Tabelle 1 beschriebenen Basiskonzepte werden als besonders wichtig für ein Verständnis chemischer Prozesse erachtet. Mit diesen sollen Schülerinnen und Schüler an chemische Probleme konzeptionell und weniger algorithmisch herangehen. Die Basiskonzepte wurden schon vor der Einführung der Bildungsstandards als bedeutsame Strukturprinzipien für den Chemieunterricht diskutiert und gefordert (Parchmann, Scheffel & Stäudel, 2010). Diese fanden sich in der Unterrichtspraxis jedoch oft nur als isolierte Themen wieder.

Tabelle 1: Erläuterungen der Basiskonzepte, aus: Bildungsstandards-Chemie Hessische Kultusministerium Beschluss 2004_12_16.pdf (KMK, 2004)

Stoff-Teilchen-Konzept	Die Beziehung zwischen makroskopischer und submikroskopischer Sicht soll hergestellt werden. Die Deutungen und Erklärungen erfolgen auf der Teilchenebene. Das Konzept ermöglicht Aussagen über Atome, Ionen und Moleküle, sowie die Anordnung dieser Teilchen in Verbindung mit Modellen und Modellvorstellungen.
Struktur-Eigenschafts-Konzept	Es wird der Bezug zwischen den atomaren Strukturen (Art, Aufbau, Anordnung, intermolekulare Kräfte) und den beobachteten Eigenschaften und Reaktionen der Stoffe hergestellt. Einen Schwerpunkt bildet dabei die Darstellung und Beschreibung chemischer Strukturen mit differenzierten Modellvorstellungen.
Donator-Akzeptor-Konzept	Das Konzept beschreibt das Grundprinzip von Reaktionen. An einer Reaktion beteiligte Teilchen (Atome, Ionen oder Moleküle) bzw. funktionelle Gruppen können anhand ihrer Reaktionsweise als Donator bzw. Akzeptor charakterisiert werden. Diese lassen sich auch auf Reaktionsmechanismen übertragen.
Energiekonzept	Befasst sich mit dem Energiegehalt von Stoffen und dem Austausch von Energie. Mithilfe dieses Konzeptes können Vorhersagen über den Ablauf und die Richtung von chemischen Reaktionen getroffen werden.
Gleichgewichtskonzept	Unterstützt ein Verständnis für den Antrieb und die Steuerung chemischer Vorgänge. Es richtet den Blick auf den zeitlichen Verlauf und die Ausbeute chemischer Reaktionen.

Für ein Verständnis der Chemie sollen die beschriebenen Basiskonzepte im Unterricht entwickelt und implementiert werden. Der bisherige inhaltslastige Unterricht, der sich aus der traditionellen fachsystematischen Sicht entwickelt hatte, wird nun durch das Lernen von fachspezifischen Denkweisen ersetzt.

1.1.1. Implementation der Bildungsstandards in der Schule

Betrachtet man den zeitlichen Rahmen zwischen dem sogenannten *PISA-Schock* 2000 und der verbindlichen Einführung der Bildungsstandards für alle allgemeinbildenden Schulen in Deutschland zum Schuljahr 2005/2006, so erfolgte die Konzeption der Bildungsreform in einer relativ kurzen Zeit. Dies zeigt, welche große Relevanz das schlechte Abschneiden der deutschen Schülerinnen und Schüler für die Gesellschaft hatte. Bildung ist in Deutschland in den letzten Jahrzehnten eines der wichtigsten gesellschaftlichen Themen geworden. Die PISA-Studie wird jedoch häufig zu sehr auf die Rangliste reduziert, die in den Begleitstudien aussagekräftigeren Ergebnisse finden dagegen weniger Beachtung. So konnte zum Beispiel gezeigt werden, dass im naturwissenschaftlichen Unterricht in Deutschland das Anwenden von Konzepten auf naturwissenschaftliche Phänomene sowie das Herstellen eines Bezuges zur alltäglichen Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler kaum eine Rolle spielt. In der PISA-Studie 2015 wurde herausgearbeitet, dass sich im Vergleich zu PISA 2006 der naturwissenschaftliche Unterricht in seiner Grundstruktur kaum geändert hat (Schipe-Tiska, et al. 2016, 133). Inwieweit die Bildungsreform in den Schulen implementiert wurde und ob diese auch zur Qualitätssteigerung des Unterrichts führt, wird insbesondere durch die Implementationsforschung untersucht. Diese benennt verschiedene Implementationsstrategien, wobei grundsätzlich zwischen der Top-down-Strategie und der symbiotischen Strategie unterschieden werden kann. Bei der Top-down-Strategie werden Neuerungen in einem hierarchischen System durchgeführt. Dies bedeutet, dass Neuerungen von *oben* nach *unten* erfolgen. Im Gegensatz dazu steht die symbiotische Strategie; hier wird von einer gemeinsamen Problemstellung der Beteiligten ausgegangen. Es sollen keine fertigen Konzepte umgesetzt, sondern in einer gemeinsamen langfristigen Zusammenarbeit Neuerungen realisiert werden (Zeidler, Heller & Asbrand, 2012). Beiden Strategien ist gemein, dass Änderungen über die Lehrkräfte erfolgen soll, sei es durch Fortbildungen oder Kooperationsprojekte. Inzwischen wird deutlich, wie wenig bei den Implementationsversuchen der Einfluss von Erfahrungswissen, epistemologischen Überzeugungen und Handlungsrouinen der Lehrkräfte für die Umsetzung von Neuerungen berücksichtigt wurde. Die Ergebnisse der Implementierung von Neuerungen in der Schulpraxis fallen dementsprechend ernüchternd aus. Ungeachtet dessen wurden die Bildungsstandards mit der Top-down-Strategie eingeführt (Gräsel & Parchmann, 2004). Ein Blick in die Praxis zeigt, dass Lehrkräfte häufig den früheren Lernzielen nur entsprechende Begriffe aus den Kompetenzbereichen zuordnen. Damit sind die Schulcurricula zwar richtlinienkonform, jedoch belanglos (Kremer, 2012). Betrachtet man die erste Entwurfsfassung der Kerncurricula, so waren die Inhalte bezüglich der Basiskonzeptorientierung sehr offen formuliert (KMK, 2004). Die Schwierigkeiten in der Umsetzung eines kompetenzorientierten Unterrichts führten dazu, dass die Kerncurricula in einigen Bundesländern überarbeitet wurden. In Hessen erfolgte zum Beispiel 2014 ein online-gestütztes Beratungsverfahren zu den Kerncurricula, über dieses konnten die Lehrkräfte Einfluss auf die endgültige Textfassung nehmen. Betrachtet man die neue Fassung des Kerncurricula (2016), so kann wie Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigt, kaum ein Unterschied zu den alten Lehrplänen festgestellt werden.

Auszug aus den alten Lehrplan Hessen (Kultusministerium-Hessen, 2010)

Verbindliche Unterrichtsinhalte/Aufgaben:

2.1 Eigenschaften und Reaktionen von Kohlenstoff-Wasserstoff-Verbindungen

Alkane, Alkene, Alkine

Anknüpfend an die Vorkenntnisse der Sekundarstufe I:
Homologe Reihen
Nomenklatur, räumliche Strukturen, Isomerie (Konstitution, Konfiguration),
Stoffeigenschaften der Alkane, Alkene, Alkine (z.B. Löslichkeit, Schmelz- und Siedetemperaturen)
Begründung der Eigenschaften anhand der Strukturformeln

Stoffeigenschaften isomerer Alkane, Alkene, Alkine vergleichen und auf Molekülebene begründen
Begriffe im Zusammenhang erläutern können: polar, unpolar, Hydrophilie/Lipophilie, Dipolmoleküle, Wasserstoffbrücken, Van-der-Waals-Kräfte

Auszug Kerncurricula Hessen (Kultusministerium-Hessen, 2016)

E.3 Einführung in die Chemie organischer Verbindungen (10 Wochen)

Aufgreifen von Kenntnissen aus der Sekundarstufe I:

- *Elektronenpaarbindung, Elektronegativität, unpolare und polare Bindung*
- *Wasser als Dipolmolekül, Wasserstoffbrücke.*

Erweiterung und Vertiefung von Kenntnissen:

- *qualitative Elementaranalyse: Kohlenstoff und Wasserstoff*
- *homologe Reihe der Alkane und Alkene: Nomenklatur, Isomerie, Darstellung in Strukturformeln, räumliche Struktur*
- *Reaktionen der Alkane und Alkene mit Brom im Vergleich, einschließlich des Reaktionsmechanismus der radikalischen Substitution*
- *Einfluss der Van-der-Waals-Kräfte auf Schmelz- oder Siedetemperaturen bei Alkanen oder Alkenen, Löslichkeit in polaren und unpolaren Lösungsmitteln*
- *Ethanol: räumliche Struktur, Hydroxygruppe und deren Einfluss auf die Stoffeigenschaften, Wirkung von Ethanol im menschlichen Körper*

Bezug zu den Basiskonzepten: Bei der Bearbeitung des Themas des Kurshalbjahres sind insbesondere das Struktur-Eigenschafts-Konzept und das Donator-Akzeptor-Konzept angemessen und unter entsprechender Schwerpunktsetzung zu erarbeiten sowie das Gleichgewichtskonzept in Ansätzen zu berücksichtigen.

Abbildung 4: Auszug aus dem Lehrplan (2010) und Kerncurricula (2016)

Andere Bundesländer wie zum Beispiel Niedersachsen haben die ursprüngliche Fassung der Kerncurricula im Wesentlichen beibehalten und den Schwerpunkt weiterhin auf die Basiskonzepte gelegt.

Basiskonzept Struktur-Eigenschaft

Fachwissen/ Fachkenntnisse	Erkenntnisgewinnung/ Fachmethoden	Kommunikation/ Kommunikation	Bewertung/ Reflexion
Die Schülerinnen und Schüler...	Die Schülerinnen und Schüler...	Die Schülerinnen und Schüler...	Die Schülerinnen und Schüler...
<ul style="list-style-type: none"> erklären Stoffeigenschaften (Löslichkeit, Mischbarkeit, Siede-, Schmelztemperaturen) anhand des Bindungstyps bzw. der zwischenmolekularen Wechselwirkungen (Van-der-Waals-Kräfte, Wasserstoffbrückenbindungen). 	<ul style="list-style-type: none"> planen Experimente zur Überprüfung von Lösemitteeigenschaften (Hydrophilie / Lipophilie). nutzen Tabellen zu Siede- und Schmelztemperaturen. 	<ul style="list-style-type: none"> erklären zwischenmolekulare Wechselwirkungen mit den passenden Modellen unter Anwendung der Fachsprache. stellen die Daten in geeigneter Form dar. 	<ul style="list-style-type: none"> nutzen ihre Erkenntnisse zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen zur Erklärung von Phänomenen in ihrer Lebenswelt.
<ul style="list-style-type: none"> deuten die chemische Reaktion als Spaltung und Bildung von Bindungen. 	<ul style="list-style-type: none"> formulieren entsprechende Reaktionsgleichungen mit der Lewis-Schreibweise. 		<ul style="list-style-type: none"> reflektieren die Bedeutung technischer Verfahren unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit, Gesundheit und Umweltverträglichkeit.

Abbildung 5: Auszug aus dem Kerncurricula Niedersachsen Auszug Kerncurricula Niedersachsen, verbindlich für die Qualifikationsphase im Schuljahr 2017/18 (Kultusministerium-Niedersachsen, 2009)

Vergleicht man die verschiedenen Kerncurricula, Rahmenpläne, Lehrpläne der Bundesländer so fällt auf, dass die Umsetzung der Bildungsstandards unterschiedlich interpretiert wird. Von den sechzehn Bundesländern haben acht wie Hessen konkrete Inhalte angegeben, die anderen acht Bundesländer haben wie Niedersachsen den Fokus auf die Basiskonzepte mit einer freien Themenwahl gelegt (vgl. Bildungserver.de, 2017).

Studien zu den Einstellungen deutscher Lehrkräfte zeigen, dass weniger die Lehrpläne als das persönliche Erfahrungswissen für das Handeln entscheidend ist (Zeidler, Heller & Asbrand, 2012). Für die Umsetzung der Bildungsstandards im Unterricht ist es daher entscheidend, dass Lehrkräfte nicht nur ein Verständnis, sondern auch entsprechende professionelle Kompetenzen für einen basiskonzeptorientierten Unterricht besitzen. Es muss daher zwischen dem Kompetenzbegriff in den Bildungsstandards, was Schüler *können* sollen, und dem Kompetenzbegriff der Lehrkraft unterschieden werden. Kompetenz wird in diesem Kontext als Fähigkeit verstanden, mit denen die Anforderungen des Lehrerberufes bewältigt werden können (KMK, 2004). Dementsprechend muss sich in den professionellen Kompetenzen einer Chemielehrkraft auch ein basiskonzeptionelles Verständnis der Chemie widerfinden.

1.2. Der kompetenzorientierte Unterricht

Die bisherige Vorstellung für einen guten Unterricht ging davon aus, dass Lernende am Ende einer Unterrichtsstunde über mehr Wissen verfügen sollten. Keine Schülerin oder Schüler wird jedoch in einer Unterrichtsstunde Kompetenzen erwerben können. Dies bedeutet, dass sich die Auffassungen vom naturwissenschaftlichen Unterricht verändern müssen. Für die Planung eines kompetenzorientierten Unterrichts sollten dabei die folgenden vier Aspekte beachtet werden (Lersch, 2010; Suwelack, 2010; Leisen, 2017).

Kompetenzorientierung

Kompetenz wird hier als handelnder Umgang mit Wissen verstanden. Wissen soll dazu dienen, selbstständig verschiedene Anforderungssituationen zu bewältigen. Ein rein deklaratives Faktenwissen ohne ein Verständnis eines Verwendungszweckes wird als inhaltsleeres Lernen verstanden, das zu keinem Aufbau einer Kompetenz führt. Für die Unterrichtsplanung sollte aus den Kompetenzbereichen (vgl. Abbildung 1) ein Schwerpunkt gewählt werden, da zu viele Kompetenzbereiche in einer Unterrichtseinheit oft dazu führen, dass der Wissenserwerb vernachlässigt wird.

Kontextorientierung

Inhalte und Themen sollten so gewählt werden, dass sich Fragen- und Problemstellungen aus der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler ergeben. Die Rechtfertigung für bestimmte Inhalte, die sich aus der Fachsystematik ergeben, müssen unter diesem Aspekt neu bewertet werden.

Basiskonzeptorientierung

Basiskonzepte werden als Denkmuster verstanden, mit denen die naturwissenschaftlichen Sachverhalte grundsätzlich betrachtet werden. Inhalte sollten so gewählt werden, dass über diese Basiskonzepte entwickelt und implementiert werden können.

Lernprozessorientierung

Der Unterricht soll so gestaltet werden, dass der Lernprozess im Fokus des Unterrichts steht. Die Rolle der Lehrkraft verändert sich von der Instruktion (Wissensvermittler) hin zu Moderation, Beratung und Organisation von Lernprozessen. Die prozessbezogenen Kompetenzen besitzen den gleichen Stellenwert wie die fachlichen Kompetenzen.

1.2.1. Der basiskonzeptorientierte Unterrichtsweg

Um den Schülerinnen und Schülern die Denkmuster der Chemie zu vermitteln, reicht es nicht aus, Basiskonzepte nur aufzulisten. Die Aufgabe der Lehrkraft besteht vielmehr darin, einen Unterricht zu gestalten, der es den Schülerinnen und Schülern ermöglicht, diese Denkschemata zu entwickeln und zu implementieren (Eilks, 2007; Parchmann, Scheffel & Stäudel, 2010; Rehm; Stäudel, 2012). Für die Umsetzung eines basiskonzeptorientierten Unterrichts wurden in den letzten Jahren durch die Chemiedidaktik vermehrt Theorien und Unterrichtskonzeptionen publiziert (Suwelack, 2010; Bösterli, Rehm & Wilhelm, 2010, Parchmann, Scheffel & Stäudel, 2010; Eilks, 2007 et al.). Die Unterrichtsgestaltung orientiert sich dabei an dem chemischen Dreieck nach Johnstone (vgl. Johnstone 2000). Das Modell beschreibt drei Repräsentationsebenen im Verständnisprozess chemischer Prozesse:

- die makroskopische Ebene (Experiment, beobachtbare Phänomene),
- submikroskopische Ebenen und
- die formale Ebene.

Es wird davon ausgegangen, dass ein Verständnis nur durch die Verknüpfung der Ebenen erfolgen kann (Johnstone, 2000; Johannsmeyer, 2014; Nakoinz, 2015).

Ein Modell für eine mögliche curriculare Entwicklung des Struktur-Eigenschafts-Konzepts für die Unterrichtspraxis zeigt das Stufenmodell von Parchmann, Scheffel & Stäudel (2010), s. Abbildung 6. Es wird dabei schrittweise von der Beobachtung von Dingen, dann von Stoffen über die Beschreibung von Atomen und Bindungstypen bis zur Struktur von Verbänden und Wechselwirkungen vorgegangen. Indem diese klar strukturierten Schritte kontinuierlich bei verschiedenen Themenbereichen angewendet werden, erhalten die Schülerinnen und Schüler Routine in der Anwendung des Konzeptes. Eine weitere Möglichkeit der Umsetzung von Basismodellen im Unterricht erfolgt über Erklärungsebenen (vgl. Abbildung 7), welches als Erweiterung des chemischen Dreiecks von Johnstone zu verstehen ist. Damit sich die Basiskonzepte der Chemie entwickeln und implementieren, müssen diese mit den Schülerinnen und Schülern gemeinsam in einer sinnvollen Reihenfolge erschlossen und kontinuierlich miteinander verbunden werden. Nur so kann ein vernetztes Verständnis der Basiskonzepte erfolgen. Schülerinnen und Schüler lernen so Eigenschaften besser zu verstehen und Modelle und Konzepte prädiktiv auf neue Fragestellungen anzuwenden (Parchmann, Scheffe & Stäudel, 2010). Anders als bisher stehen die Basiskonzepte nicht mehr isoliert, sondern werden in die fachlichen Themengebiete kontinuierlich integriert und bilden somit die Grundlage eines basiskonzeptorientierten Unterrichtsansatzes.

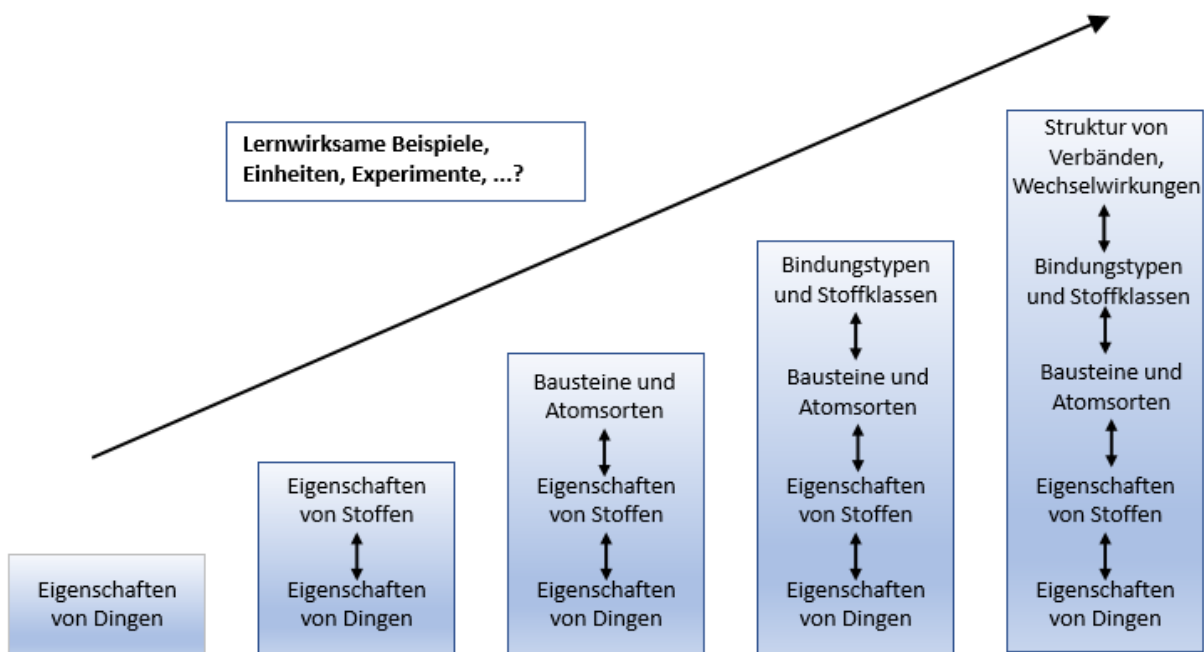


Abbildung 6: Skizze einer möglichen curricularen Entwicklung des Struktur-Eigenschafts-Konzepts (Parchmann, Scheffel & Stäudel, 2010).

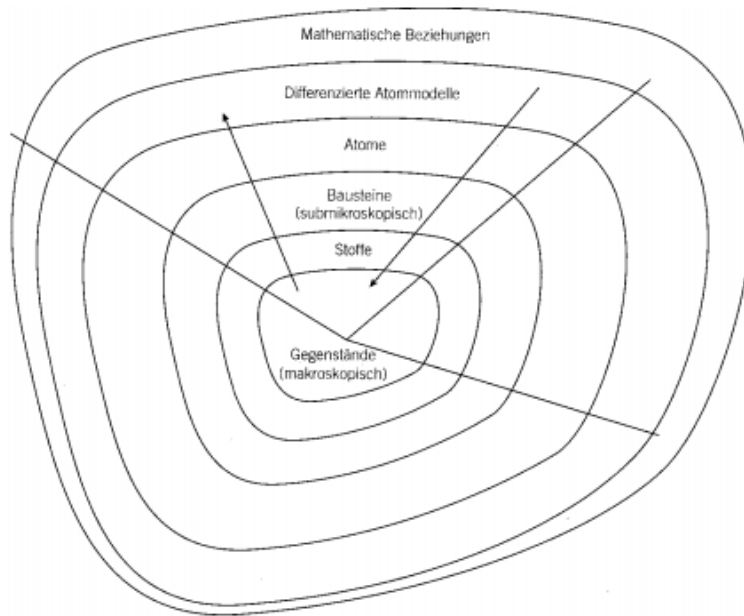


Abbildung 7: Erklärungsebenen der Schulchemie (Parchmann, Scheffel & Stäudel, 2010)

Weitere Vorschläge für eine Umsetzung von Basiskonzepten im Unterricht wurden insbesondere für das Stoff-Teilchen-Konzept entwickelt. Auch in diesen Ansätzen erfolgt die Entwicklung über die molekulare Ebene. Es wird hierbei insbesondere auf die Rolle des historisch – chronologischen Unterrichtsweges als Hemmnis für die Kompetenzentwicklung eingegangen und Alternativen vorgeschlagen (Eilks, 2007; Mikelskis-Seifert & Fischer, 2003b). Die Implementation in die Unterrichtspraxis findet jedoch nur in geringem Umfang statt (Reinhold, 2004; Riese, 2010, Mikelskis, Fischler, Willer & Klinger, 1997). Im Interesse der Fachdidaktik steht daher immer mehr die Frage, welche Rolle die fachlichen wie fachdidaktischen Kenntnisse der Lehrkraft bei der Umsetzung in die Unterrichtspraxis haben. Verschiedene Studien zeigen, dass das fachdidaktische Wissen in einem engen Zusammenhang mit fachlichen Verständnis gesehen werden muss (Baumert & Kunter, 2006; Cauet, Borowski & Fischer, 2011; Dollny & Tepner, 2011). Für die Umsetzung neuer didaktischer Konzepte sind demnach fachliche Kenntnisse von großer Bedeutung. Für einen basiskonzeptorientierten Unterricht benötigen Lehrkräfte daher vor allem ein gutes molekulares Verständnis.

1.3. Modellverständnis und Modellkompetenz

Für eine konzeptionelle Denkweise der Chemie ist ein Verständnis der molekularen Ebene von besonderer Bedeutung. Atome und Moleküle können nur über Denkmodelle beschrieben werden, wofür ein entsprechendes Modellverständnis benötigt wird. Dieses wird über das Modellwissen als auch der Modellmethode definiert (Leisner, 2005; Meisert, 2008; Terzer & Upmeyer zu Belzen, 2007). Es wird davon ausgegangen, dass ein differenziertes Modellverständnis positive Auswirkungen auf die Problemlösefähigkeit hat. In den Kompetenzerwartungen der Bildungsstandards finden sich dementsprechend Aspekte, die das Denken in und mit Modellen fördern sollen (Wellnitz, et al., 2012). Ein Modell, welches das Denken in Modellen in der Wissenschaft veranschaulicht wird in Abbildung 8 dargestellt.

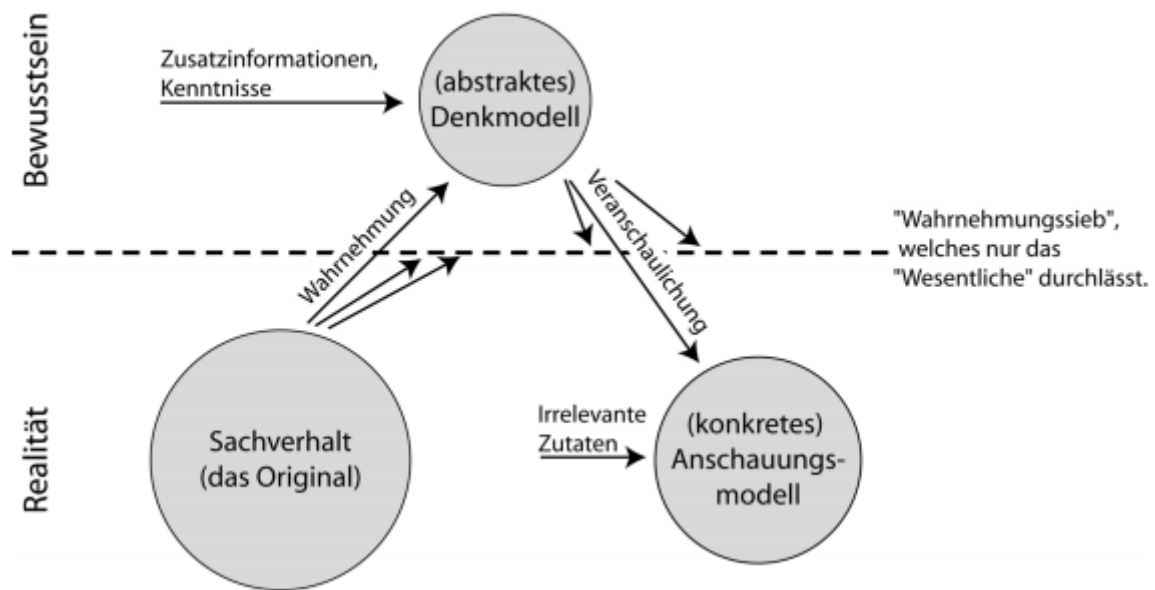


Abbildung 8: Darstellung der Beziehung von Original, Denk- und Anschauungsmodellen nach Steinbruch (1977) entnommen aus Johannsmeyer (2014).

Aus der Abbildung geht hervor, dass eine wissenschaftliche Modellbildung über verschiedene Schritte verläuft. So wurde zum Beispiel von Bohr über Messergebnisse ein Denkmodell zum Aufbau von Atomen postuliert. Um ein solches abstraktes Denkmodell zu erläutern, wurde ein entsprechendes Anschauungsmodell, das Schalenmodell, entwickelt. Dieses Modell ist eine Vereinfachung des Denkmodells von Bohr und stellt nicht die Realität dar.

In der Schule erfolgt jedoch die Umkehrung der Schritte. Es wird in der Regel über Anschauungsmodelle ein abstraktes Denkmodell erläutert, um damit auf ein mögliches Original zu schließen. Es konnte gezeigt werden, dass dieser Unterrichtsweg zur Modellbildung dazu führt, dass Modelle in erster Linie als Abbildungen der Realität wahrgenommen werden (Meisert, 2008; Johannsmeyer, 2014). Die Aufgabe des Chemieunterrichts besteht nicht darin, neue wissenschaftliche Denkmodelle zu entwickeln, es sollte aber die Denkweise wie Erklärungsprozesse in der Wissenschaft erfolgen, vermittelt werden. Lehrkräfte sollten dementsprechend ein Verständnis über die wissenschaftliche Modellbildung besitzen. Das Modellverständnis wird als Bestandteil des Wissenschaftsverständnisses angesehen, eine Differenzierung des Modellverständnisses erfolgt daher auf dieser Grundlage (Terzer & Upmeyer zu Belzen, 2007). In der Regel unterscheidet man drei Niveaustufen. Die erste Stufe wird als ein naiv-realistisches Modellverständnis definiert. Modelle werden als reine Abbildungen der Wirklichkeit verstanden, Wissenschaft ist eine Ansammlung von Fakten. Die zweite Stufe ist das relativistische Wissenschaftsverständnis. Der Zweck von Modellen liegt in der Kommunikation und Veranschaulichung von Ideen; die modellhafte Realität steht im Mittelpunkt. Der dritten Niveaustufe wird ein konstruktivistisches Wissenschaftsverständnis (wissenschaftliches Modellverständnis) zugeordnet: Der Zweck von Modellen wird in der Erprobung und Testung von Hypothesen gesehen. Modelle haben damit eine heuristische Funktion (Grosslight, Unger Jay & Smith, 1991; Terzer & Upmeyer zu Belzen, 2007). Bisherige Studien ordnen Schülerinnen und Schülern, aber auch den Lehrkräften ein Modellverständnis zwischen der ersten und zweiten Niveaustufe zu (Bindernagel & Eilks, 2008; Bolte, Schanze, Thörmählen

& Saballus, 2005; Chittleborough, Treagust, Mamiala & Mocerino, 2005; Van Driel & Verloop, 2002 et al.). Weitere Studien zum Modellverständnis zeigen, dass Biologie-, Chemie- und Physiklehrkräfte, unabhängig von ihrer Berufserfahrung und der verschiedenen Domänen, grundsätzlich die gleichen Vorstellungen besitzen. Es zeigt sich jedoch, dass das fachliche Wissen zu Modellen eher begrenzt ist (Van Driel und Verloop, 1999). Meist erfolgten die Untersuchungen im Alltagskontext der Lehrkräfte, sodass der Aspekt eines wissenschaftlichen Verständnisses eventuell nicht als relevant erschien (Meisert, 2008). So konnten zum Beispiel Justi & Gilbert (2002) zeigen, dass Lehrkräfte sich über die Rolle der Modelle in der Wissenschaft bewusst sind, sich in der Rolle von Modellen im Unterricht aber unsicher waren. Einschränkend muss gesagt werden, dass die Ergebnisse nur schwer zu replizieren sind (Borrmann, Reinhardt, Krell & Krüger, 2014). Die unterschiedlichen Forschungsergebnisse zur Bestimmung des Modellverständnisses insbesondere bei den Lehrkräften lassen sich auf die unterschiedlichen Untersuchungsmethoden zurückführen. Es wurden vorwiegend Interviews durchgeführt, wobei die Stichprobenanzahl der Lehrkräfte eher gering war (Grosslight, Unger, Jay & Smith, 1991; Justi & Gilbert, 2002; Bindernagel & Eilks, 2008). Ergebnisse, die über Fragebögen erfolgten wie von van Driel und Verloop (1999), konnten dagegen nicht repliziert werden (Borrmann, Reinhardt, Krell & Krüger, 2014).

1.3.1. Modell zur Modellkompetenz

In Deutschland wurde in den letzten Jahren aus den Studien zum Modellverständnis ein Modell der Modellkompetenz entwickelt (vgl. Leisner 2005 und Upmeier zu Belzen & Krüger; 2010 Grünkorn, 2014). Modellkompetenz zeigt sich darin, dass Modelle als Mittel zur Erkenntnisgewinnung angewendet werden. Wie in Abbildung 9 dargestellt, umfasst die Modellkompetenz die Dimension *Kenntnisse von Modelle* und die Dimension *Modellbildung*. Den Dimensionen werden Teilkompetenzen zugeordnet, die wiederum in drei Komplexitätsniveaus ausgeprägt sind. Die Teilkompetenzen wurden auf der Grundlage der Strukturierungsansätze von Crawford und Cullin (2005), Grosslight et al. (1991) sowie Justi und Gilbert (2003) abgeleitet (Grünkorn, 2014, p.45). Zur Erfassung der Modellkompetenz in der Biologie wurde inzwischen ein standardisierter Fragebogen entwickelt, mit dem die Modellkompetenz von Schülerinnen und Schülern, aber auch Lehramtsstudierenden diagnostiziert werden kann (Terzer, 2012; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010).

Entwicklung Dimen- sionen mit Teilkompetenzen	Niveau I	Niveau II	Niveau III
Modellkenntnisse			
Eigenschaften von Modellen	Modelle sind Kopien <i>von</i> etwas	Modelle sind idealisierte Repräsentationen <i>von</i> etwas	Modelle sind theoretische Rekonstruktionen <i>von</i> etwas
Alternative Modelle	Unterschiede zwischen den <i>Modellobjekten</i> beschreiben	Ausgangsobjekt ermöglicht Herstellung verschiedener Modelle <i>von</i> etwas	Hypothesengeleiteter Vergleich verschiedener Modelle <i>für</i> etwas
Modellbildung			
Zweck von Modellen	Einsatz des <i>Modellobjekts</i> / Beschreibung <i>von</i> etwas	<i>Für</i> die Erklärung von Zusammenhängen und Korrelationen <i>von</i> Variablen im Ausgangsobjekt	Voraussage über Zusammenhänge von Variablen <i>für</i> zukünftige neue Erkenntnisse
Testen von Modellen	Strukturelle oder funktionale Prüfung des <i>Modellobjekts</i>	Parallelisieren mit dem Ausgangsobjekt Modell <i>von</i> etwas testen	Überprüfen von Hypothesen bei der Anwendung Modell <i>für</i> etwas testen
Ändern von Modellen	Strukturelle oder funktionelle Mängel am <i>Modellobjekt</i> beheben	Revision des Modells als Modell <i>von</i> etwas durch neue Erkenntnisse oder zusätzliche Perspektiven	Revision des Modells <i>für</i> etwas aufgrund falsifizierter Hypothesen

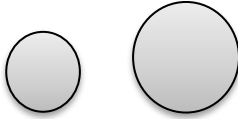
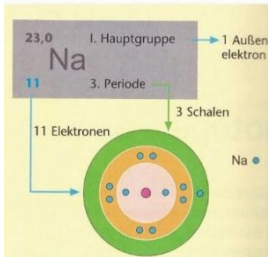
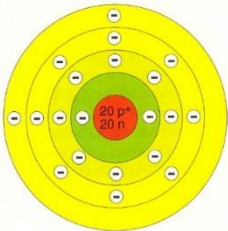
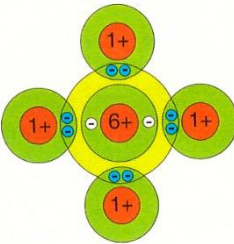
Abbildung 9: Modellkompetenz im Kontext Biologieunterricht nach Upmeier von Belzen & Krüger entnommen aus (Trier & Upmeier zu Belzen, 2009)

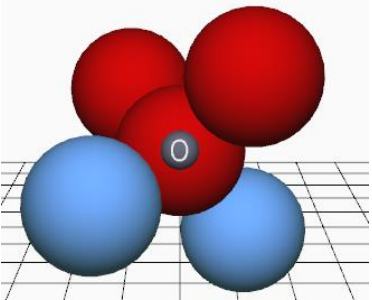
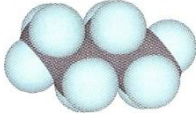
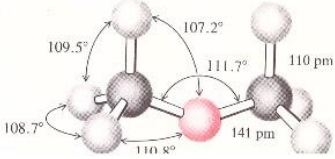
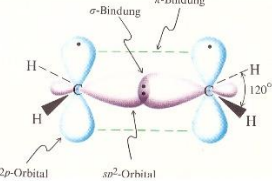
In den nationalen Bildungsstandards wurden die Aspekte der Modellkompetenz in der Beschreibung für eine naturwissenschaftliche Modellbildung aufgenommen. Diese umfasst einmal die Funktionalität von Modellen, die Modellanwendung und den Aspekt der Grenzen von Modellen (Wellnitz, et al., 2012). Die Bildung einer naturwissenschaftlichen Modellkompetenz bei den Lehrkräften sollte als eine wichtige Voraussetzung für einen basiskonzeptorientierten Unterrichtsansatz gesehen werden, da davon auszugehen ist, dass der Erkenntnisprozess der Schülerinnen und Schüler vom Modellverständnis und den molekularen Kenntnissen der Lehrkraft abhängt. Fachliche und fachdidaktische Kenntnisse zu den unterrichtsrelevanten Modellen werden daher als wichtiger Bestandteil der fachwissenschaftlichen Kompetenz einer Chemielehrkraft gesehen (Bindernagel & Eilks, 2008; Gilbert, 2005).

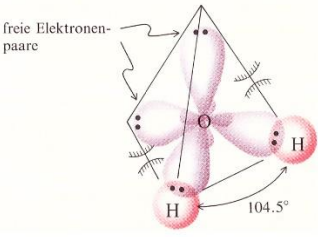
1.4. Atom- und Molekülmodelle

Die submikroskopische Erklärung von Phänomenen wird als der zentrale Aspekt im Verständnisprozess der Chemie verstanden. Es gibt daher eine Vielzahl von Modellen, die im Unterricht genutzt werden. Diese Curriculum Modelle beschreiben den Aufbau von Atomen oder Molekülen wie auch chemische Bindungen (Bindernagel & Eilks, 2008). Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick über die wichtigsten unterrichtsrelevanten Modelle.

Tabelle 2: Übersicht schulrelevanter Atom- und Molekülmodelle

Modelle	Beschreibungen
<p>Undifferenziertes Teilchenmodell bzw. Dalton-Modell</p> 	<p>Es wird von der Vorstellung ausgegangen, dass Atome aus kleinen, massiven, unteilbaren Kugeln bestehen. Die Atome unterscheiden sich in ihrem Radius und Masse. Der Begriff Atom ist hier nicht eindeutig definiert, da auch Moleküle dargestellt werden. Als Beispiel sind die verschiedenen Aggregatzustände des Wassers im Teilchenmodell zu nennen.</p>
<p>Schalenmodell</p>  <p>(Prisma Chemie, 2013, 204)</p>  <p>Schalenmodell des Calcium-Atoms</p> <p>(Chemie heute SI, 2006, 197)</p>  <p>(Chemie heute SI, 2006, 195.)</p>	<p>Das Elektronenschalenmodell (ESM)</p> <p>In den letzten Jahren werden unter dem Begriff Schalenmodell in den Schulbüchern zwei unterschiedliche Modelle beschrieben. In der einen Darstellung wird die gegenseitige Abstoßung der Elektronen vernachlässigt. Die Schulbucheklärung der Darstellung beschreibt den Aufbau des Schalenmodells als Weiterentwicklung vom Kern-Hüllen-Modell. Die Elektronenhülle stellt verschiedene Aufenthaltsbereiche der Elektronen dar (Prisma Chemie, Gietz et al. 2013).</p> <p>Erklärungen anderer Schulbücher und Lehrwerke beziehen sich bei der Darstellung des Schalenmodells auf die von Bohr beschriebenen Energiebahnen, wobei die Elektronen in gleichmäßigem maximalen Abstand auf den Bahnen eingezeichnet werden (Asselborn, Jäckel & Risch, 2009; Asselborn, Jäckel, Risch, Sieve, 2006; Riedel, 1990; Holleman & Wiberg, 1985)</p> <p>Die Vorstellung der kovalenten Bindung beruht darauf, dass sich die Atome ein gemeinsames Elektronenpaar teilen. Sie werden auch als Bindungselektronen bezeichnet. Als kritisch muss hier jedoch gesehen werden, dass die Erklärung der kovalenten Bindung zu Widersprüchen und Missverständnissen führt. In der Chemiedidaktik besteht daher die Meinung, dass dieses Modell weniger geeignet ist, die kovalente Bindung korrekt zu erklären (Ansari, Demuth & Hilpert, 1994, 11).</p>

Modelle	Beschreibungen
<p data-bbox="240 277 504 304">Kugel-Wolken-Modell</p>  <p data-bbox="240 696 603 808">Erstellt mit dem 3D-Kugelwolkenmodell der Universität Rostock.</p>	<p data-bbox="639 277 1430 595">Die Vorstellung beruht darauf, dass sich die Elektronen in einer Kugelwolke (Elektronenwolke) befinden. Diese wurden ursprünglich als Vereinfachungen der verschiedenen Orbitalformen entwickelt. Die Elektronenwolke ist ein <i>Aufenthaltsraum</i>, in dem sich die Elektronen bewegen. Entsprechend dem Pauli Prinzip kann jede Kugelwolke maximal zwei Elektronen beinhalten, sie werden erst einfach und dann doppelt besetzt. Bindungen werden durch Überlapung der Kugelwolken angezeigt.</p> <p data-bbox="639 629 967 656">(Universität Rostock, 2017)</p>
<p data-bbox="240 853 427 880">Kalottenmodell</p>  <p data-bbox="240 1099 568 1167">(Asselborn, Jäckel, & Risch, 2009, 280)</p>	<p data-bbox="639 853 1430 1077">Im Kalottenmodell werden die Atome durch sich teilweise durchdringende Kugeln (Kalotten) dargestellt. Dies entspricht den gemeinsamen Elektronenwolken bei Elektronenpaarbindungen. Bindungslängen und Bindungswinkel werden maßstabgerecht wiedergegeben. Die Raumerfüllung von Molekülen wird besonders deutlich (Asselborn, Jäckel & Risch, 2009, 280).</p>
<p data-bbox="240 1209 464 1236">Kugel-Stab-Modell</p>  <p data-bbox="240 1480 488 1507">(Vollhardt, 1988, 31)</p>	<p data-bbox="639 1209 1430 1433">Beim Kugel-Stab-Modell stellt man die Zentren der Atome durch Kugeln und die Elektronenpaarbindungen durch Stäbchen dar. Die Größe und Farbe der Kugeln wird im Allgemeinen dazu benutzt, um atomare Eigenschaften wie Atomradien, Atomtypen und Atomladungen darzustellen (Asselborn, Jäckel, & Risch, 2009, 280).</p>
<p data-bbox="240 1554 408 1581">Orbitalmodell</p>  <p data-bbox="240 1839 504 1865">(Vollhardt, 1988, 427)</p>	<p data-bbox="639 1554 1430 1939">Unter der Berücksichtigung des Welle-Teilchen-Dualismus und der Unschärfebeziehung kann man für die Elektronen keine definierten Bahnen mehr angeben, sondern nur noch Aufenthaltsräume, die als Orbitale bezeichnet werden. Elektronenpaarbindung im Orbitalmodell: Erst die Quantentheorie liefert einen Ansatz, der die quantitative Beschreibung von Elektronen im elektrischen Feld eines Atomkerns ermöglicht. Es werden Raumbereiche berechnet, in denen ein Elektron mit hoher Wahrscheinlichkeit anzutreffen ist. Diese Atomorbitale haben verschiedenen Formen (Asselborn, Jäckel & Risch, 2009, 67).</p>

Modelle	Beschreibungen
<p data-bbox="167 280 534 309">Elektronenabstoßungs-Modell</p>  <p data-bbox="167 604 414 638">(Vollhardt, 1988, 21)</p>	<p data-bbox="566 280 1348 548">Das Elektronenpaarabstoßungsmodell wird auch als VSEPR-Konzept (valence shell electron pair repulsion) bezeichnet. Mit diesem Konzept können Molekülgeometrien vorhergesagt werden. Anhand dieses Modells lässt sich die räumliche Struktur von Molekülen aus der Lewisformel herleiten. Nach der Oktettregel sind die Atome im Molekül von vier Elektronenpaaren umgeben, die sich gegenseitig abstoßen (Asselborn, Jäckel & Risch, 2009, 280).</p>

1.5. Modellversuche zu den Basiskonzepten der Chemie

In den Bildungsstandards werden Experimente vorwiegend im Zusammenhang mit dem Kompetenzaspekt der Erkenntnisgewinnung gesehen (vgl. Abbildung 1). Die Auswahl sowie ihre Vor- und Nachbereitung haben auf das naturwissenschaftliche Denken und die Arbeitsweisen der Schülerinnen und Schüler einen großen Einfluss (Dollny, 2011). Neben den Experimentierfähigkeiten gehören zur Kompetenz der Lehrkraft daher auch Kenntnisse über die didaktische Funktion des Experiments im Unterricht.

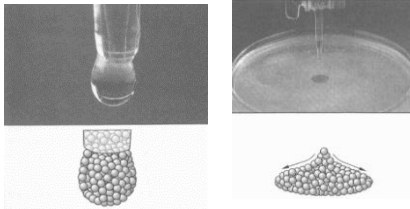
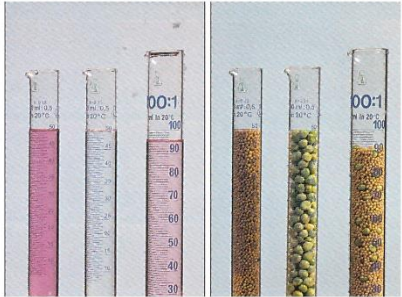
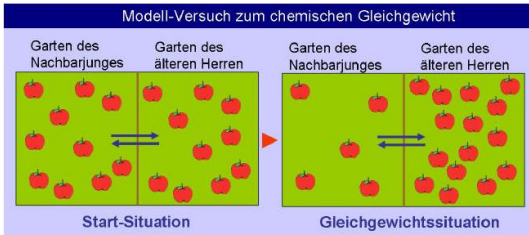
Zum Struktur-Eigenschafts-Konzept und Gleichgewichts-Konzept werden in der Unterrichtspraxis häufig Modellexperimente eingesetzt. Durch die Verwendung von Analogien haben sie eine wichtige Funktion in der heuristischen Erkenntnisgewinnung. Es besteht jedoch in der chemiedidaktischen Literatur und in den Chemieschulbüchern keine eindeutige Definition des Begriffes. Sommer et al. (2017) versuchen daher Kriterien für Modellexperimente zu formulieren, um diese von Simulationsmodellen, Denkmodellen und Funktionsmodellen etc. zu unterscheiden:

- **Experimentelle Tätigkeit**
Es wird hier von einem planmäßig durchgeführten Experiment ausgegangen, wobei neben Chemikalien und Geräten auch Modelle zugelassen sind. Gedankenexperimente sind nicht gemeint.
- **Bezug zum Zielbereich**
In diesem Kriterium wird auf den Modellcharakter Bezug genommen. Jedes Modellexperiment sollte sich auf ein Original beziehen.
- **Modellierung des Zielbereiches**
Jedes Modellexperiment besitzt bestimmte Modellierungsmerkmale, wonach bestimmte Aspekte des Originals besonders hervorgehoben werden (Sommer, K.; Klein, M.; Steff, H.; Pfeifer, P., 2012).

Eine der wenigen Studien, die sich in Deutschland zum Thema Lernwirksamkeit von Analogien bei chemischen Modellexperimenten beschäftigt, ist die Studie von Steff (2015). Wie entsprechende Studien aus Singapur oder den USA (Goh & Chia, 1985; Orgill, 2005) kommt auch er zu dem Fazit, dass Analogien in Lehr-Lern-Prozessen nicht unüberlegt erfolgen sollen. Studien über die Nutzung von Analogien

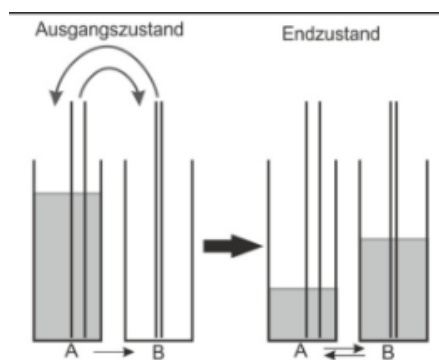
im Unterricht haben gezeigt, dass diese zu einer besseren Übernahme von wissenschaftlichen Konzepten führen als traditionelle Methoden, andererseits führen Analogien auch zu Verwirrungen, zum Beispiel wenn zu *starke Analogien* ein weiterführendes Verständnis verhindern (Steff, 2015; Özmen, 2008; Orgill, 2005). In Tabelle 3 erfolgt eine kurze Übersicht von Modellexperimenten, die in der Unterrichtspraxis zur submikroskopischen Ebene eingesetzt werden.

Tabelle 3: Modellversuche zur submikroskopischen Ebene

Modellversuche	
<p>Öltropfversuch</p>  <p>(Asselborn, Jäckel, Risch, Sieve, 2006)</p>	<p>Der Versuch dient der Veranschaulichung, dass Stoffe aus kleinsten Teilchen aufgebaut sind, die gemäß der Brown'schen Bewegung, ständig in Bewegung sind.</p>
<p>Volumenkontraktion</p>  <p>(Asselborn, Jäckel, Risch, Sieve, 2006, 23)</p>	<p>Durch diesen Versuch wird die Vorstellung veranschaulicht, dass Stoffe aus unterschiedlich großen Teilchen bestehen. Kritiker dieses Versuches führen an, dass hier Missverständnisse entstehen können, da die Volumenkontraktion durch intermolekulare Kräfte erklärt werden müssen. Zudem gibt es andere Mischungen, die zu einer Volumenvergrößerung führen.</p>
<p>Apfelkrieg</p>  <p>(Müller, 2017)</p>	<p>Dieser Modellversuch veranschaulicht das chemische Gleichgewicht. Zu Beginn befinden sich auf beiden Seiten die gleiche Anzahl von Äpfel. Beide Gruppen werfen sich die Äpfel gegenseitig auf das Grundstück des Anderen. Nach einiger Zeit stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein.</p>

Modellversuche

Stechhebersversuch



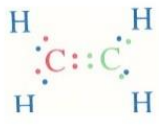
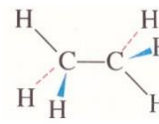

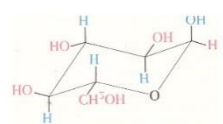
(Hölzel, 2017)

Dieser Modellversuch veranschaulicht ebenfalls das chemische Gleichgewicht. Mit Hilfe eines dickeren Glasrohres wird Wasser in einen zweiten leeren Zylinder überführt (der Glasstab muss den Boden berühren). Mit einem dünneren Glasrohr wird eine entsprechende Wassermenge zurück übertragen. Das wird solange wiederholt, bis der jeweilige Wasserstand der beiden Zylinder konstant bleibt.

1.6. Formelschreibweisen

Die gängigste Darstellungsweise der molekularen Ebene sind die Formelschreibweisen. Sie stellen eine Kurzschreibweise dar, die sich verschiedener fachspezifischer Symbole bedient. Die Formelschreibweise oder Formelsprache erfüllt in der Chemie vor allem den Zweck der Kommunikation. Gerade dieser Aspekt wird in der Chemiedidaktik kritisch hinterfragt, da Schülerinnen und Schüler die Symbole oft nicht verstehen (Ansari & Demuth, 1976; Woest & Lipski, 1997). Als Grund für die Verständnisschwierigkeiten werden die unzureichenden Kenntnissen zur Symbolsprache und die mangelnde Fähigkeit zum Beispiel Summenformeln als räumliche Anordnung zu interpretieren, gesehen (Nakoinz, 2015). Zudem scheinen Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten zu besitzen aus Reaktionsgleichungen Erkenntnisse zu ziehen. Dies hat zur Folge, dass chemische Symbole ohne Sachverständnis auswendig gelernt werden und kein nachhaltiges Verständnis vorhanden ist (Graulich, 2015; Nakoinz, 2015). Dieser Umstand muss dahingehend als kritisch gesehen werden, da viele Erklärungen zu den Sachverhalten der organischen Chemie über Reaktionsmechanismen erfolgen, wobei die Formelschreibweisen, wie in Tabelle 4 dargestellt, immer abstrakter werden.

Tabelle 4: Typische formale Schreibweisen in der organischen Chemie

Formelschreibweise Bildquelle (Vollhardt, 1988)	Beschreibungen der Formelschreibweisen aus <i>chemie heute SII</i> (Aselborn, Jäckel, & Risch, 2009)	
Strukturformel $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_3$	In der vereinfachten Strukturformel wird die Anordnung der Atome dargestellt. Dabei werden nur die Bindungen zwischen den Kohlenstoff-Atomen angegeben.	
Lewisformel 	Der Aufbau von Molekülen lässt sich mit der Lewisformel beschreiben. Dabei muss die Oktettregel beachtet werden. In der Lewis-Formel wird das Molekül in die Papierebene projiziert. Alle Atome sowie alle bindenden und freien Elektronenpaare werden angegeben.	
Keil-Strichformel 	Die Keil-Strich-Formel beschreibt zusätzlich den dreidimensionalen Bau des Moleküls.	
Halbstrukturformel $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2=\text{CH}_2$	Skelettformel 	Sesselform 

1.7. Die Rolle des molekularen Verständnis beim Struktur-Eigenschafts-Konzept der organischen Chemie

In der Hochschuldidaktik wird angeführt, dass sowohl Studierende als auch Doktoranden in der organischen Chemie ein eher fragmentarisches konzeptionelles Verständnis aufweisen (Graulich & Schreiner, 2011; Komuç & Tekin, 2011). Lernstrategien beruhen auf Auswendiglernen oder fallbasiertem Denken, welches auf das Fehlen geeigneter Lernstrategien zurückgeführt wird (Graulich, 2015). Basiskonzepte wie zum Beispiel die Struktur-Eigenschaftsbeziehung mit ihrem heuristischen Charakter ermöglichen es, die vielen Verbindungen und Prozesse der organischen Chemie zu strukturieren, wobei dass schlussfolgernde Denken auf der Basis der Molekülstruktur und der Anwendung von Modellen, Konzepten und Prinzipien erfolgt (Graulich & Schreiner, 2011). In Abbildung 10 wird dieser Zusammenhang mit einer Analogie eines Eisberges dargestellt.

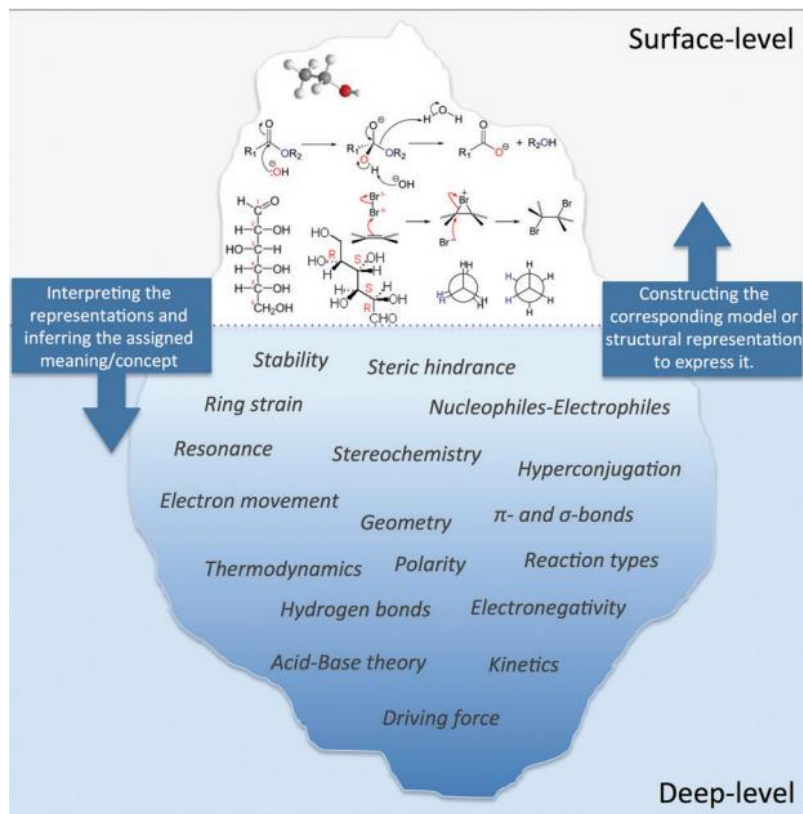
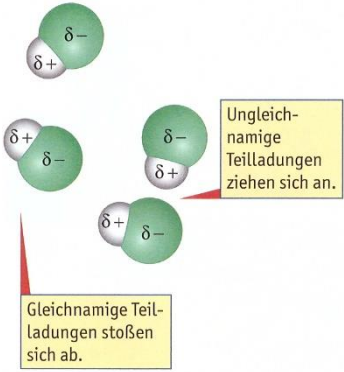
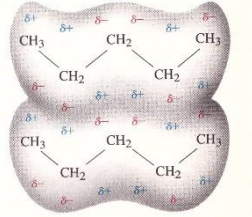


Abbildung 10: Der Eisberg der organischen Chemie entnommen aus Graulich (2011)

1.7.1. Intermolekulare Kräfte

Für die Struktur-Eigenschafts-Beziehung ist ein Verständnis der intermolekularen Kräfte von besonderer Bedeutung. Unter intermolekularen Kräften versteht man die Anziehungskräfte die zwischen den Molekülen auftreten. Man unterscheidet hierbei die Wasserstoffbrückenbindung und die Van-der-Waals-Kräfte. Wasserstoffbrückenbindungen bilden sich durch die starke polare Bindung zwischen dem Wasserstoffatom und einem sehr elektronegativen Atom, wie zum Beispiel dem Sauerstoffatom, aus. Van-der-Waals-Kräfte beschreiben die Anziehungskräfte zwischen weniger polarisierten Molekülen, zum Beispiel zwischen Alkanen. Ein Vergleich der intermolekularen Kräfte ist in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Molekulare Darstellung der Wasserstoffbrückenbindungen und der Van-der-Waals-Kräfte

Intermolekulare Kräfte	Beschreibung
 <p>(Asselborn, Jäckel & Risch, 2009)</p>	<p>Das Wassermolekül bildet einen sogenannten permanenten Dipol aus, der in der Zeichnung mit den Partialladungen dargestellt wird.</p> <p>Bei einem Dipol muss zusätzlich die Molekülstruktur unsymmetrisch sein, da sich sonst keine zwei Pole bilden können.</p>
<p>London-Kräfte</p>  <p>(Vollhardt, 1988, 55).</p>	<p>In diesen Darstellungen treten die gesamten Elektronenwolken der einzelnen Moleküle miteinander in Wechselwirkung, wodurch Partialladungen entgegengesetzten Vorzeichen induziert werden. Dies ist kein statischer Zustand, die Elektronenverteilungen ändern sich kontinuierlich mit der Bewegung der Elektronen (Vollhardt, 1988, 55).</p>

Die intermolekularen Kräfte sind für viele Eigenschaften wie zum Beispiel der Löslichkeit, Siedetemperatur oder Viskosität der Stoffe verantwortlich. In einer Studie zum Verständnis der Van-der-Waals-Kräfte konnte gezeigt werden, dass Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten haben, die Siedepunkte von unverzweigten und verzweigten Alkanen vorherzusagen. Als Grund wurde das mangelnde Verständnis zu den Van-der-Waals-Kräften genannt, so dass nur die Kettenlänge eines Moleküls als Vorhersagekriterium von den Schülerinnen und Schülern verwendet wurde (Schmidt, Kaufmann & Treagust, 2009). Betrachtet man die Ergebnisse einer Studie zu den molekularen Vorstellungen der intermolekularen Kräfte von College-Studenten mit der Fachrichtung Chemie (Abbildung 11), so kann vermutet werden, dass Fehlvorstellungen nicht nur bei Schülerinnen und Schülern auftreten. Es zeigt sich, dass 55 % der Studierenden diese innerhalb eines Moleküls zeichneten. Nur etwa 10 bis 30 % veranschaulichten diese als Wechselwirkung zwischen Molekülen. Bei 59 % der Probanden waren die Zeichnungen mehrdeutig, so dass die Probanden diese in einem Interview erläutern mussten. Cooper (2015) kommt in ihrer Untersuchung zu dem Fazit, dass das räumliche Verständnis auf molekularer Ebene für ein adäquates Verständnis der intermolekularen Kräfte eine wichtige Rolle spielt. Dieses Erkenntnis findet sich jedoch nicht in der Unterrichtspraxis wieder, in der die molekularen Vorstellungen der intermolekularen Kräfte eine eher untergeordnete Rolle spielen (König, 2003).

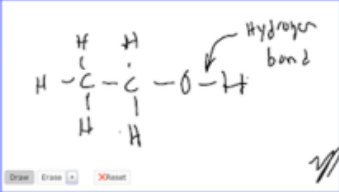
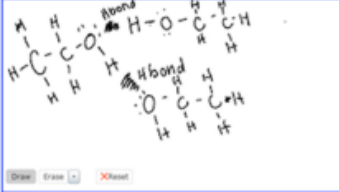
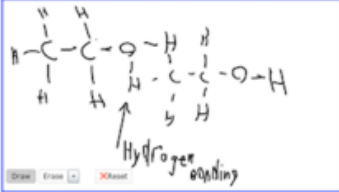
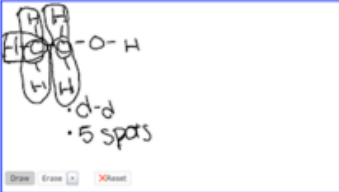
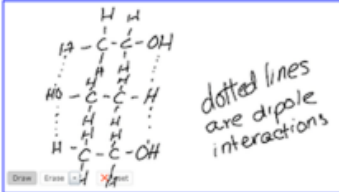

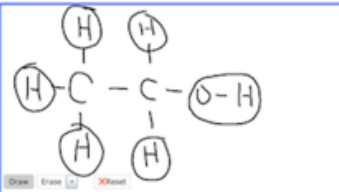
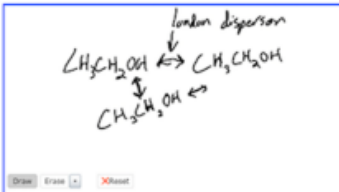
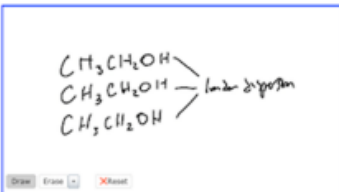
IMF Type	Code for IMFA Response Drawings Characterizing IMF Locations		
	Within the Molecule	Between Molecules	Ambiguous
Hydrogen Bonding			
Dipole-Dipole Interactions			
London Dispersion Forces			

Abbildung 11: Darstellungen der Intermolekularen Kräfte aus der Studie von Cooper (2015)

1.7.2. Struktur und Bindungen

Neben den intermolekularen Bindungen sind für ein Verständnis der in der Struktur-Eigenschafts-Beziehung auch die Bindungen im Molekülen relevant. So haben zum Beispiel Alkene aufgrund ihrer Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindung besondere strukturelle Eigenschaften. Da neben der Einfachbindung auch eine Doppelbindung (pi-Bindung) vorhanden ist, sind die Kohlenstoffatome nicht mehr frei drehbar. Diese strukturelle Eigenschaft hat wiederum Einfluss auf das Reaktionsverhalten der Moleküle, die mit der cis-trans Isomerie beschrieben wird. Bindungswinkel und Bindungslänge werden ebenfalls verändert, da durch die höhere Elektronendichte in der Doppelbindung der Abstand der beiden Kohlenstoff geringer ist. Der typischer Bindungswinkel an der Doppelbindung beträgt 120° , wodurch eine trigonal-planare Struktur auftritt.

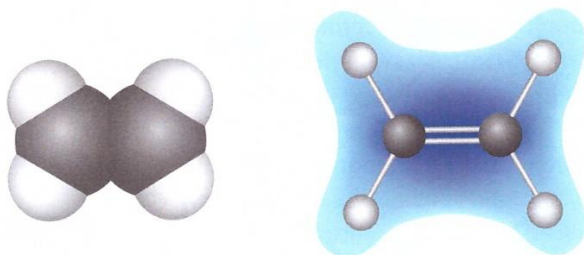


Abbildung 12: Doppelbindung in einem Alken

Es gibt noch viele weitere Beispiele, die hier nicht alle aufgeführt werden können. Beide Beispiele zeigen jedoch, dass für eine heuristische Lösung chemischer Fragestellungen ein Verständnis der molekularen Ebene der Moleküle notwendig erscheint.

1.8. Animismen

Neben den formalen Darstellungen finden sich in Schulbüchern auch bildhafte Darstellungen, um chemische Sachverhalte zu veranschaulichen. Diese werden auch als Animismus bezeichnet oder als *Be-seelung der unbelebten Natur* (Püttschneider & Lück, 2004). In der folgenden Abbildungen werden einige Beispiele für Animismen gezeigt.

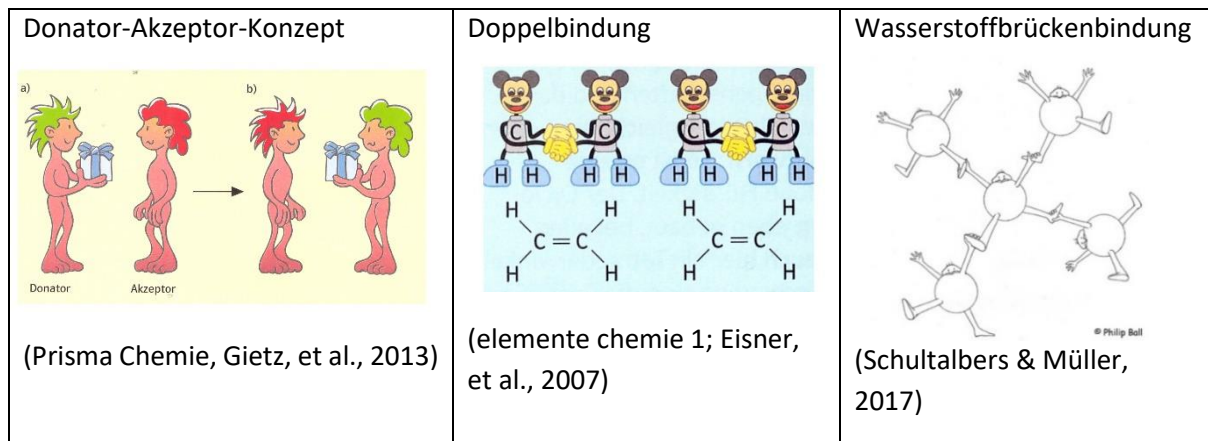


Abbildung 13: Animismen

Die Verwendung didaktischer Animismen wird insbesondere in Deutschland kontrovers diskutiert, da sie als unwissenschaftlich und als Hindernis bei der Entwicklung eines naturwissenschaftlichen Verständnisses gelten. Jedoch werden im Chemieunterricht häufig bewusst oder unbewusst Animismen verwendet.

Wasserteilchen mögen sich und halten sich fest (Wiechoczek, 2004).

Ergebnisse aus Studien wie von Püttschneider und Lück (2004) zeigen, dass Schülerinnen und Schüler die Verwendung von Animismen durchaus positiv bewerten und ihnen der Modellcharakter bewusst wird. Ein Unterrichtskonzept, in dem Animismen eine große Rolle spielen, ist der narrative Chemieunterricht (Binder, Steinkirchner & Hock, 2012; Rauch, 2007). Dieser Unterrichtsansatz verwendet Bildergeschichten um chemische Sachverhalte zu verdeutlichen. Es zeigt sich, dass diese nicht nur einen motivierenden Charakter besitzen, sondern auch die Schülerinnen und Schüler darin unterstützen die makroskopische Ebene und die submikroskopische Ebene mit einander zu verknüpfen. Um zwischen wissenschaftlicher Darstellung und Animismen abwägen zu können, bedarf es von der Lehrkraft entsprechende didaktische Kenntnisse.

1.9. Der Modellcharakter von Animationen und Simulationen

Auch Animationen und Simulationen besitzen einen Modellcharakter. Sie geben vereinfachend und reduzierend reale Prozesse wieder. Bei Computeranimationen als Unterrichtsmittel handelt es sich meist um kurze Sequenzen, die einen ausgewählten Sachverhalt zeigen. Die didaktische Funktion besteht in der Visualisierung dynamischer Prozesse. Im Gegensatz zu Filmen können Computeranimationen individuell und flexibel eingesetzt werden. Computervisualisierungen von molekularen Darstel-

lung können zu einem besseren Verständnis der Struktur und chemischer Bindungen beitragen, es besteht jedoch auch die Gefahr, dass diese von Schülerinnen und Schülern für die Realität gehalten werden. Der Lehrkraft kommt damit die wichtige Aufgabe zu, den Schülerinnen und Schülern zu verdeutlichen, dass die Molekülmodelle Denkmodelle sind und nicht die Realität darstellen (Ansari, Demuth & Hilpert, 1994; Saborowski, 2000). Insbesondere Schülerinnen und Schüler mit einem eher geringeren räumlichen Vorstellungsvermögen profitieren von Animationen, da dynamische Reaktionsabläufe visualisiert werden (Salomon, 1979).

Computersimulationen sind dagegen interaktiv; dies bedeutet, dass durch vorher festgelegte Parameter ein Prozess aktiv verändert werden kann. Der Vorteil wird darin gesehen, dass sie die Bedeutung und Zusammenhänge verschiedener Faktoren in einem chemischen Prozess verdeutlichen. Die teilweise hohen Erwartungen von Computersimulationen wurden nur teilweise erfüllt. Die Motivation der Schülerinnen und Schüler war am Anfang meist hoch, doch fand oft nur eine oberflächliche Auseinandersetzung mit dem Programm statt. Teilweise war auch eine Überforderung zu beobachten, insbesondere wenn die Parameter zu komplex oder die Bedienung der Programme zu aufwendig waren (Engler, 2003; Lorenz, 2000; Urhane, Prenzel, von Davier, Senkbeil & Bleschke, 2000).

1.10. Die Rolle der Lehrkraft im kompetenzorientierten Unterricht

Die didaktische Forschung geht inzwischen davon aus, dass für das Lehrerhandeln verschiedene Aspekte von Bedeutung sind (Cauet, Borowski & Fischer, 2011). Diese werden in Abbildung 14 dargestellt. Die Aspekte der professionellen Kompetenz von Lehrkräften spiegeln die Komplexität und Vielfalt der Aufgaben der Lehrkräfte wider. Für die Lehrerbildung stellt sich die Frage, wann und wie die professionellen Kompetenzen erworben werden und ob sich diese im Verlauf der Berufsbiografie verändern bzw. beeinflussen lassen.



Abbildung 14: Aspekte professioneller Kompetenz

Die Lehrerbildung erfolgt in Deutschland in zwei Phasen, die akademische Ausbildung an der Universität oder Hochschule und der praktischen Ausbildung, die durch Fachausbilder und erfahrene Lehrkräfte an Schulen stattfindet. Inzwischen wird auch eine dritte Phase, die der Weiterbildung, benannt (Huber, 2009). Studien zur Professionalisierung der Lehrkraft gehen inzwischen davon aus, dass die subjektiven Erfahrungen der Lehrkräfte aus der eigenen Schulzeit einen großen Einfluss auf die Unterrichtsgestaltung besitzt. Es wird vermutet, dass die akademische Ausbildung den geringsten Einfluss auf das Lehrerhandeln hat (Stern, 2009). Untersuchungsergebnisse zum Einfluss von Lehrervorstellungen auf die Unterrichtsstrategie kommen zu keinen einheitlichen Ergebnis. Es kann jedoch eine Tendenz gesehen werden, dass traditionelle Vorstellungen die Sichtweisen der Lehrkräfte prägen (Fischler, 2000; Stern, 2009). Für die Unterrichtsgestaltung sind demnach weniger didaktische Erkenntnisse als viel mehr persönliche Erfahrungen von Bedeutung. Traditionelle Unterrichtsmethoden führen nicht selten zu sogenannten *hausgemachten Fehlvorstellungen* (Barke, 2006). Die Umsetzung eines basis-konzeptionellen Unterrichts impliziert eine Änderung bzw. Umstrukturierung traditioneller Unterrichtswege, hierfür bedarf es von der Lehrkraft neben einer positiven Einstellung auch entsprechende fachliche Voraussetzungen.

1.10.1. Epistemologische Überzeugungen

Im Mittelpunkt der Wirksamkeit von Unterricht wird vor allem die Lehrkraft gesehen (Steffens & Höfer, 2014), wobei nicht bestimmte Persönlichkeitsmerkmale der Lehrkraft, sondern ihre Einstellung zum Unterricht entscheidend sind (Kaube, 2014). Für die Gestaltung von Lehr-Lernprozessen spielen demnach die epistemologischen Überzeugungen der Lehrkraft eine wichtige Rolle. Unter epistemologischen Überzeugungen sind hier die individuellen Vorstellungen über die Struktur des Wissens und des Wissenserwerbs gemeint. Epistemologische Überzeugungen beziehen neben den entwicklungspsychologischen auch einen fachdidaktischen Forschungsansatz mit ein. In diesem werden epistemologische Überzeugungen als ein System von Eigenschaften verstanden, wobei weniger die Ontogenese epistemologischer Überzeugungen im Interesse stehen, sondern der Bezug zu Lernprozessen. In dem Modell *Epistemological Belief* von Schommer (1990) werden die epistemologischen Überzeugungen in verschiedene Dimensionen unterteilt, die sich verändern können (Klopp, 2014). Es wird von der Annahme ausgegangen, dass zu Beginn der Entwicklung von epistemologischen Überzeugungen Wissen als richtig oder falsch bewertet wird und nur Autoritäten die richtige Antwort kennen. Insbesondere Kinder und Jugendliche besitzen ein solch absolutistisches Wissen, wonach Wissen entweder mit der Wirklichkeit übereinstimmt oder nicht (Krettenauer, 2005). Erst nach einer Entwicklung erkennt der Lernende, dass es unterschiedliche Meinungen gibt, wobei beide Positionen gleich legitim sind. Wissen wird als subjektiv und personenrelativ verstanden. Nach dieser relativistischen Einstellung folgt die sogenannte postrelativistische epistemologische Überzeugung. Sie geht davon aus, dass die Wirklichkeit unterschiedlich aufgefasst wird. Beide Positionen werden als legitim akzeptiert, aber eine Position ist fundierter (Krettenauer, 2005; Urhahne & Hopf, 2004). In Tabelle 6 wird ein vierdimensionale Modell nach Urhahne und Hopf (2004) dargestellt.

Tabelle 6: Mehrdimensionales Modell epistemologischer Überzeugungen (Urhahne, Hopf 2004)

Vorstellung über die Struktur des Wissens	Vorstellung über die Struktur des Wissenserwerbs
<ul style="list-style-type: none"> • Dimension Sicherheit des Wissens Beschreibt die Einstellung, ob Wissen veränderlich ist. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimension Quelle des Wissens Diese beschreibt die Einstellung, ob Wissen von außen über Autoritäten erworben wird oder durch Interaktion mit anderen.
<ul style="list-style-type: none"> • Dimension Komplexität des Wissens Diese beschreibt die Einstellung, ob Wissen eher eine Ansammlung von Fakten ist oder eine Wechselbeziehung zwischen verschiedenen Konzepten besteht. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimension Quelle des Wissens Diese beschreibt, wie Lernende Behauptungen und Beweise verwenden.

Es hat sich dabei gezeigt, dass Veränderungen im Niveau epistemologischer Überzeugungen bereits im Jugendalter zu beobachten sind, wobei die Entwicklung individuell verläuft. Auch scheinen Untersuchungen zu zeigen, dass insbesondere zu naturwissenschaftlichen Erkenntnissen eher seltener eine relativistische Entwicklungsstufe erreicht wird als zum Beispiel zu sozialen Erkenntnissen (Krettenauer, 2005). Ein theoretisches Modell, das den Zusammenhang zwischen epistemologischer Überzeugung und dem Lernen in der Schule zeigt, ist das Modell von Hofer (2002), welches in Abbildung 15 gezeigt wird. Dabei sind die epistemologischen Überzeugungen der Lehrkraft Ausgangspunkt für Unterrichtstätigkeit und pädagogisches Handeln. Demnach beeinflussen epistemologische Überzeugungen die Lernleistung und Lernstrategien der Schülerinnen und Schüler, wobei Hofer, im Gegensatz zu Schommer-Atkins (2004), nur eine indirekte Wirkung annimmt.

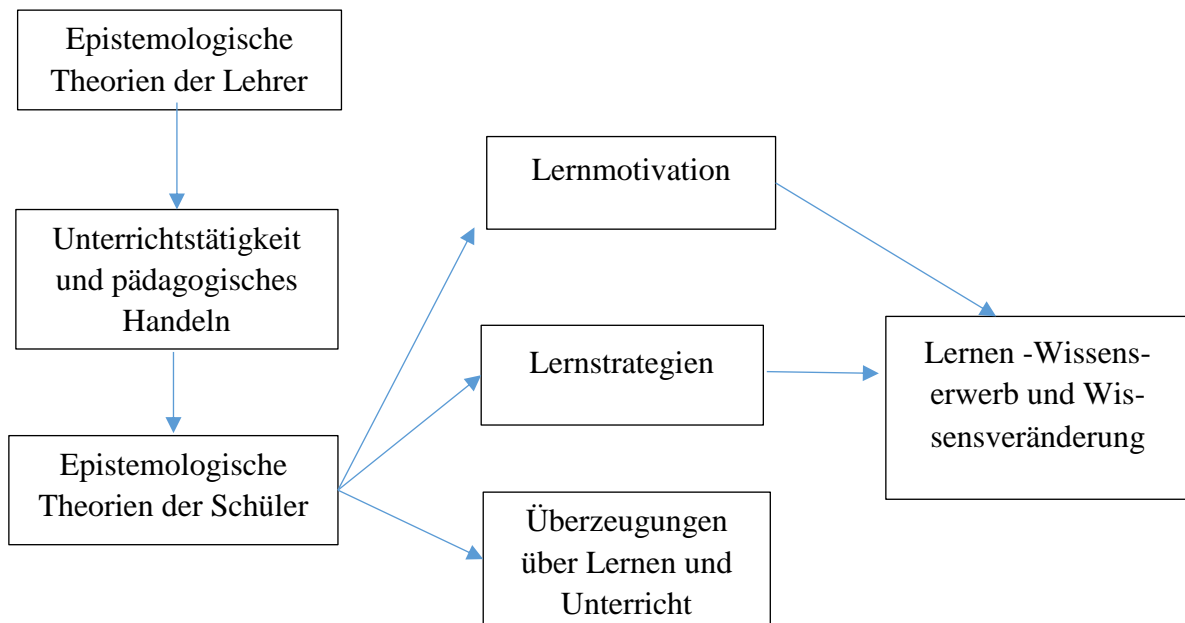


Abbildung 15: Hofers Modell zum Einfluss epistemologischer Überzeugungen auf das Lernen in der Schule (Urhahne und Hopf, 2004, 76)

Über die Erfassung von epistemologischen Überzeugungen zum Modellverständnis können Aussagen getroffen werden, wie Modelle im Erklärungsprozess eingesetzt werden, sie sind somit ein wichtiger Aspekt des Professionswissens. Hierbei ist vor allem der Zusammenhang zwischen einem wissenschaftlichen Modellverständnis der Lehrkraft und einem prädiktiven Umgang von Modellen im Unterricht zusehen (Chittleborough, Treagust, Mamiala & Mocerino, 2005; Justi & Gilbert, 2003; Trier & Upmeier zu Belzen, 2009). Entsprechende standardisierte Untersuchungsmethoden zur Erfassung des Modellverständnisses sind daher in der Lehrerbildung ein wichtiger Aspekt. Betrachte man jedoch die Studienlage, so gibt es keine validen und reliable Testinstrument, um epistemologische Überzeugungen zu erfassen (Priemer, 2006).

1.11. Untersuchung des professionellen Wissens der Lehrkraft

Betrachtet man die Untersuchungsmethoden, um die Merkmale einer *guten Lehrkraft* zu charakterisieren, so unterscheidet man drei wesentliche Forschungsrichtungen. Zu Beginn waren vor allem die persönlichen Eigenschaften der Lehrkraft von Interesse. In diesen *Persönlichkeitsparadigma* wurde versucht einen Zusammenhang persönlicher Eigenschaften der Lehrkraft und den Schülerleistungen herzustellen. Dieser Ansatz gilt heute als nicht haltbar, da sich so gut wie keine Zusammenhänge zeigen ließen (vgl. Bromme, 1997). In den 1970er Jahren fand ein Wechsel von den Persönlichkeitsmerkmalen der Lehrkraft zum Unterrichtshandeln statt. In diesem *Prozess-Produkt Paradigma* wird zum Beispiel der Zusammenhang zwischen Fragen der Lehrkraft und dem Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler untersucht. Dieser Ansatz gilt auch heute noch als aktuell (Krauss, et al., 2008; Blömke, 2009). In den letzten Jahren wurde durch das sogenannte *Expertenparadigma* wieder vermehrt der Fokus auf die Lehrkraft gelegt, allerdings nicht die Charaktereigenschaften, sondern die fachlichen und fachdidaktischen Kompetenzen der Lehrkräfte. Eine gängige Untersuchungsmethode seit etwa den 1980er Jahren ist das *Experten-Novizen-Paradigma* (vgl. Leinhardt & Greeno, 1986). Die Ergebnisse lassen die Vermutung zu, dass das Professionswissen der Lehrkraft von großer Bedeutung für den erfolgreichen

Unterricht darstellt (Bromme, 1992; Palmer, Stough, & Burdinski, 2005). Im Experten-Novizen-Paradigma wird vor allem das domänenspezifische Professionswissen der Lehrkraft thematisiert. Dieses wird ausgehend von Shulman (1986 und 1987) in verschiedene Anforderungsbereiche unterteilt: Fachwissen (Content knowledge; CK), pädagogisches Wissen (pedagogical knowledge, PK) und fachdidaktisches Wissen (pedagogical content knowledge; PCK). Diese wurden um die Aspekte des Wissens über das Schulcurriculum, Wissen über die Lernenden und ihre Charakteristika, Wissen über den unterrichtlichen Kontext und Wissen über die Ziele und Werte von Unterricht erweitert (Tepner, et al., 2012), wobei die ersten drei Kategorien als besonders relevant erachtet werden. Diese bilden dementsprechend auch die Kernbereiche der Lehrerbildung in Deutschland. Die Kompetenzen werden sowohl im Lehramtsstudium als auch im Referendariat erworben. Eine erste groß angelegte Untersuchung des Professionswissens von Lehrkräften erfolgte im Jahr 2003 durch die COAKTIV Studie (Cognitive Activation in the Classroom: The Orchestration of Learning Opportunities for the Enhancement of Insightful Learning in Mathematics), die die Kompetenzen von Mathematiklehrkräften untersuchte. Für die Naturwissenschaften folgte im Jahr 2011 in Anlehnung an die COAKTIV Studie das ProwiN-Projekt (Professionswissen von Lehrkräften in den Naturwissenschaften). Ziel war es, ein theoretisches Kompetenzmodell für Lehrkräfte zu entwickeln, welches die Besonderheiten der Naturwissenschaften berücksichtigt. Es basiert ebenfalls auf den drei Dimensionen von Shulman (Tepner, et al., 2012).

1.11.1. Die COAKTIV-Studie und das ProwiN-Projekt

Es besteht heute weitestgehend ein Konsens darüber, dass das Fachwissen der Lehrkraft sowohl für den Lehrprozess als auch für die Kompetenzbildung eine große Bedeutung besitzt (Ball, Lubienski und Mewborn, 2001, Hofer, 2011). Gleichzeitig liegen relativ wenige Daten zum Fachwissen in den einzelnen fachspezifischen Domänen vor (Riese & Reinhold, 2012; Tepner, et al., 2012). Im Rahmen der PISA-Studie 2003 wurden durch die COAKTIV-Studie auch die fachlichen wie fachdidaktischen Kenntnisse der Mathematiklehrkräfte untersucht. Diese methodisch sehr aufwendige Untersuchung erfolgte in verschiedenen Phasen über Fragebögen und videobasierte Unterrichtsbeobachtungen (Krauss, et al., 2008). Die Studie untersuchte das Fachwissen der Mathematiklehrkräfte in Einzelsitzungen (Power-Test), zusätzlich wurden zahlreiche personenbezogenen Variablen erfasst. Der fachwissenschaftliche Test beinhaltete vor allem curriculares schulrelevantes Wissen, wobei in erster Linie schulformrelevante Unterschiede, die Bedeutung der Lehrerbildung und die Berufserfahrung für das fachliche wie fachdidaktische Wissen von Interesse war. Die Studie konnte zeigen, dass Gymnasiallehrkräfte ein deutlich höheres Fachwissen als Hauptschullehrkräfte haben, welches sich auch im fachdidaktischen Wissen widerspiegelt. Es zeigte sich, dass bei den Mathematiklehrkräften das fachliche Wissen vorwiegend während der universitären Ausbildung generiert wird, während die Berufserfahrung einen geringeren Einfluss auf das fachliche Wissen hat. In diesem Zusammenhang wurden die Abiturnoten sowie die Note des ersten und zweiten Staatsexamens betrachtet. Es konnte hier gezeigt werden, dass Gymnasiallehrkräfte eine signifikant bessere Abiturnote aufwiesen als Hauptschullehrkräfte. Bei gleicher Abiturnote ist die Art der Professionalisierung jedoch als wichtiger einzustufen. In weiteren Untersuchungen waren auch die subjektiven Theorien der Lehrkräfte interessant. Es zeigte sich, dass Mathematiklehrkräfte mit einem hohen fachlichen Wissen vor allem konstruktivistische Lerntheorien besitzen. Das wichtigste Untersuchungsziel der Studie war jedoch, ob sich fachliches und fachdidaktisches Wissen der Mathematiklehrkraft als Prädiktor des Lernzuwachses der Schülerinnen und Schüler nachweisen lassen. Durch die günstige Untersuchungssituation konnten die Ergebnisse der Schülerinnen

und Schüler im PISA-Test und die fachdidaktischen Kompetenzen ihrer Mathematiklehrkräfte verglichen werden. Hier zeigte sich, dass das fachdidaktische Wissen der Mathematiklehrkraft einen signifikanten Einfluss auf den Wissenserwerb hatte.

Die Untersuchungsmethodik der COAKTIV-Studie bildet die Grundlage für Untersuchungen des fachlichen und fachdidaktischen Wissens für naturwissenschaftliche Lehrkräfte. Insbesondere die TIMSS-Studie (Trends in International Mathematics and Science Study) zeigte, dass deutsche Schülerinnen und Schüler vor allem in problemlösenden Aufgaben Schwierigkeiten besitzen. Im ProwiN-Projekt wurden daher die fachlichen und fachdidaktischen Kompetenzen der Lehrkräfte untersucht. Die Grundlage der Leistungstests bilden auch hier die drei Dimensionen des Professionswissens nach Shulman. Im Interesse steht inwieweit diese im Zusammenhang mit der Unterrichtsqualität stehen. Das ProwiN-Projekt verläuft in zwei Phasen. In der ersten Phase werden in Anlehnung an die COAKTIV-Studie, Testinstrumente zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens entwickelt. In einer zweiten Phase möchte das Projekt, über eine Videostudie, Zusammenhänge zwischen dem Professionswissen und dem Handeln der Lehrkräfte im Unterricht untersuchen. Die erste Phase wurde in der Physik von Cauet, Borowski & Fischer (2011) und in der Biologie von Jüttner (2013) durchgeführt. Im Fach Chemie untersuchte Dollny (2011) die Entwicklung und Evaluation des fachspezifischen Wissens von Chemielehrkräften. Entsprechend der Testkonstruktion der COAKTIV-Studie basiert der fachwissenschaftliche Test auf schulrelevantes curriculares Wissen. Es wurden für die Studie Chemie-Lehramtsstudierende, erfahrende Chemielehrkräfte und Fachchemiker (Doktoranden) verglichen. Entsprechend der Testkonstruktion konnte bei den erfahrenen Chemielehrkräften das höchste schulrelevante Wissen gezeigt werden, die Chemie-Lehramtsstudierenden zeigten das geringste. Das schulrelevante Wissen wird über das *Inhaltswissen* (Faktenwissen), *Handlungswissen*, und dem *Begründungswissen* definiert. Die Befragung erfolgte über geschlossene Aufgabenformate (Multiple Choice-Single Select – Aufgaben). Die Konstruktion der fachspezifischen Aufgaben basiert auf in der Abbildung 16 dargestellte Modell.

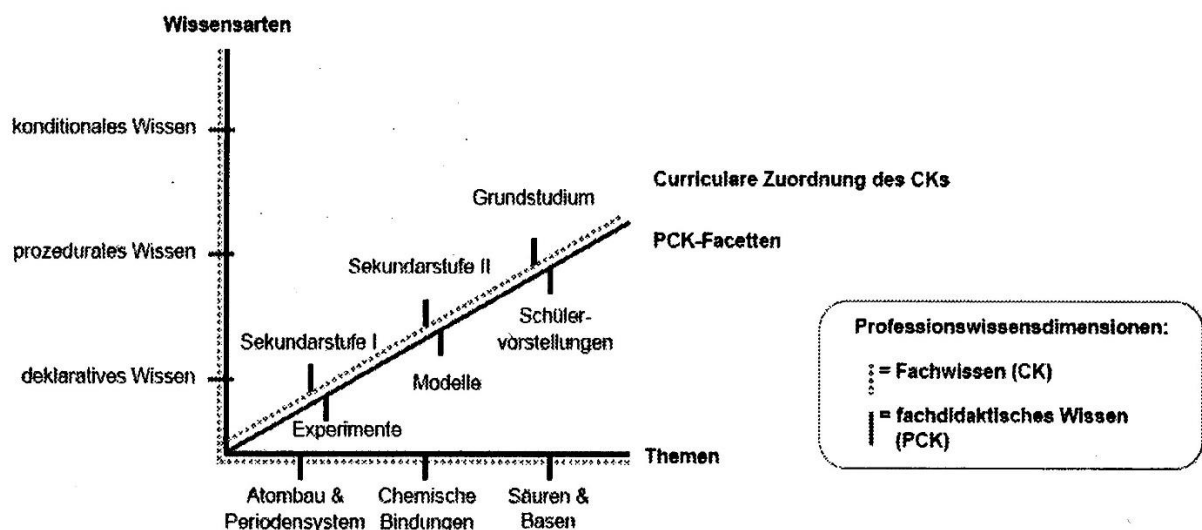


Abbildung 16: Modell zur Konstruktion von Aufgaben zum chemiespezifischen Professionswissen aus Dollny (2011, 55)

Die Ergebnisse der Studie zeigen sowohl Parallelen als auch Unterschiede zur COAKTIV-Studie. In beiden Studien konnte ein geschlechtsspezifischer Unterschied gezeigt werden. Weibliche Probanden besitzen demnach ein geringeres fachliches Wissen, wobei sich bei den Chemielehrkräften dieser Unterschied vor allem bei den 30 bis 40 jährigen zeigen lässt. Dies wurde mit einer stärkeren *Familienorientierung* begründet, da weibliche Chemielehrkräfte in dieser Phase durch Stundenreduzierung weniger Unterrichtseinsatz besäßen. Eine Unterscheidung des fachlichen Wissens zwischen Hauptschullehrkräften und Gymnasiallehrkräften war aufgrund der geringen Anzahl an Hauptschullehrkräften nur bedingt möglich, wobei auch in der Chemie die Gymnasiallehrkräfte höhere Testergebnisse erreichten als Hauptschullehrkräfte. Da die Chemie als Nebenfach nicht die gleiche Relevanz besitzt wie die Mathematik, wurde nach der Kurswahl der Chemielehrkräfte in der Oberstufe gefragt, es zeigte sich, dass 80 bis 90 % der erfahrenen Chemielehrkräfte auch in der Oberstufe Chemiekurse belegt hatten. Es wurde jedoch keine Unterscheidung in Leistungskurs und Grundkurs angegeben. Die befragten Lehrkräfte hatten im Durchschnitt etwa 15 Jahre Berufserfahrung. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Studien zum Vorwissen von Studienanfängern im Fach Chemie. Demnach hatten 14 % der Lehramtsstudierenden einen Chemieleistungskurs, 60 % einen Grundkurs und etwa 7 bis 24 % keinen Chemiekurs in der Oberstufe besucht (Freyer, Asikainen, Hirvonen & Sumfleth, 2015; Freyer, 2013; Busker, 2010). Wie bei der COAKTIV-Studie zeigen Lehrkräfte, die in der Oberstufe durchgehend einen Chemiekurs belegt hatten, einen signifikanten Fachwissensvorsprung. Bei den Chemielehrkräften an Gymnasien konnte das höchste schulrelevante Fachwissen bei den Lehrkräften mit 5 bis 10 Berufsjahren gezeigt werden, wohingegen längere Berufserfahrung keinen Einfluss mehr auf das Fachwissen hatte. In der COAKTIV-Studie wurde das fachliche Wissen dagegen auf die akademische Ausbildung zurückgeführt. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass bei den Chemielehrkräften die Routine in den behandelten Unterrichtsthemen einen großen Einfluss auf das in der Studie untersuchte schulrelevante Wissen hat. Eine differenzierte Auswertung des Fachwissens zu den einzelnen Teilgebieten, anorganische Chemie, organische Chemie oder physikalische Chemie, erfolgte nicht. Nach Tepner et al. (2012) können hier jedoch Unterschiede bestehen.

2. Fragestellung der Studie

Um chemiespezifische Denkmuster zu verstehen ist vor allem ein molekulares Verständnis notwendig. Ein solcher Gesichtspunkt wurde in der Untersuchung zum fachspezifischen Professionswissen nicht explizit aufgeführt. Diese Studie möchte daher die bisherigen Ergebnisse um den Aspekt des modellbezogenen Fachwissens ergänzen. Der Fokus des fachspezifischen Professionswissens der Lehrkräfte wurde auf die folgenden Punkte gelegt.

1. Modellverständnis

Die epistemologischen Überzeugungen von Lehrkräften zum Modellverständnis sind im Lehr-Lernprozess von großer Bedeutung. In der hier durchgeführten Untersuchung stand nicht eine differenzierte Beschreibung der Modellvorstellungen im Vordergrund, sondern wann sich Modellvorstellungen bilden und in welcher Phase der Lehrerbildung eventuelle Veränderungen in den Modellvorstellungen zu zeigen sind.

2. Das modellbezogene Fachwissen

Modelle zur curricularen Entwicklung und Implementation des Struktur-Eigenschafts-Konzeptes zeigen, dass die modellbezogenen Fachkenntnisse der Lehrkräfte von Bedeutung sind. Es interessierte hier vor allem die Kenntnisse zu den Aussagemöglichkeiten und Grenzen von Modellen.

3. Molekulare Vorstellungen der Van-der-Waals-Kräfte

Wie gezeigt werden konnte, sind für ein Verständnis der intermolekularen Kräfte auch entsprechende adäquate Vorstellungen auf molekularer Ebene notwendig. In diesem Zusammenhang interessierten die subjektiven Ansichten, wie die molekulare Ebene dargestellt wird.

4. Kenntnisse zu Modellexperimenten

Was verstehen Lehrkräfte unter Modellexperimente, zu welchen Themenbereichen werden sie eingesetzt? Welche didaktischen Kenntnisse besitzen Lehrkräfte zu Modellversuchen?

2.1. Hypothesen der Untersuchung

Hypothese 1: Es sollte sich zum modellbezogenen Wissen keine auf Routine basierten Unterschiede ergeben, da diese als Basis eines chemiespezifischen Denkmuster zu sehen sind. Unterschiede zum Beispiel in Bezug der *Familienorientierung (Geschlecht und Alter)* sollten sich demnach weniger zeigen.

Hypothese 2: Es ist zu erwarten, dass sich konform der bisherigen Untersuchungen in Abhängigkeit vom Alter der Probanden ein Zuwachs an professionellen Kompetenzen zeigen lässt.

3. Durchführung der Studie

Die Studie erfolgte über drei Teilstudien. In einem ersten Schritt wurde in einem Kooperationsprojekt mit einem Didaktikseminar zum Thema *Organische Chemie unterrichten – Methoden für die Praxis*, Chemie-Lehramtsstudierende über eine Seminararbeit zu ihren Kenntnissen und persönlichen Erfahrungen mit Modellen im Chemieunterricht befragt. An dem Seminar nahmen ca. 40 bis 50 Studierende aus unterschiedlichen Semestern teil. Nach einem gemeinsamen Seminarteil wurde der Kurs in eine Anfänger- und Fortgeschrittenengruppe (n = 21) unterteilt. Die Aufgabe der Fortgeschrittenengruppe bestand darin, ein theoretisches Storyboard für eine App, die eine basiskonzeptionelle Unterrichtsmethode in der organischen Chemie unterstützen soll, zu entwickeln. Die Teilnehmer wurden in Gruppen von vier bzw. fünf Studierenden eingeteilt. Der theoretische Schwerpunkt wurde auf die persönlichen Kenntnisse zu den schulrelevanten Modellen und intermolekularen Kräften gelegt. Die Studierenden sollten zusätzlich die Perspektive wechseln und aus Sicht der Lehrenden Alternativen zu ihrer eigenen Unterrichtserfahrung aufzeigen.

Im zweiten Schritt erfolgte eine Fragebogenstudie. An dieser nahmen insgesamt 120 Chemie-Lehramtsstudierende aus zwei Universitäten in Deutschland teil, wobei jede Gruppe aus etwa 60 Studierenden bestand. Die Befragung erfolgte schriftlich während eines Didaktikseminars und betrug 20 bis 25 Minuten, eine Zeitbeschränkung gab es nicht. 12 Fragebögen wurden nicht ausreichend beantwortet, sodass insgesamt 108 Fragebögen ausgewertet werden konnten.

In einem dritten Schritt wurde der schriftliche Fragebogen der Studierenden an verschiedene Schulen geschickt und im Schülerlabor der Technischen Universität Darmstadt an Chemielehrkräfte verteilt. Der Rücklauf betrug 19 Fragebögen. Die Befragung der erfahrenen Lehrkräfte erfolgte daher mittels eines Online-Fragebogens. Hierfür wurde ein eigener Fragebogen für die erfahrenen Lehrkräfte entwickelt. Der Zeitraum der Befragung betrug drei Monate, der Link mit Passwort wurde direkt an Chemielehrkräfte versendet. Insgesamt antworteten 130 Chemielehrkräfte; davon konnten 104 Fragebögen für die Studie ausgewertet werden.

4. Methodik

Die Studie erfolgte im Rahmen eines Experten-Novizen-Paradigma. Die Methodik wurde gewählt, da das domänenspezifische Wissen von Experten als Erklärung für die Expertenleistung identifiziert wurde (Gruber, 1996). Es zeigte sich, dass Experten vor allem deshalb besser sind, weil sie über ein größeres und vernetzteres Wissen verfügen (Krauss, et al., 2008). Die Befragung der beiden Gruppen erfolgte über eine Fragebogenstudie.

4.1. Aufbau der Fragebögen

Die Fragebögen wurden in drei Teilbereiche aufgeteilt. Im ersten Teil wurden die epistemologischen Einstellungen zum Modellverständnis erfasst. Einen guten Überblick verschiedener Untersuchungsmethoden zur Erfassung epistemologischer Überzeugungen wird von Primer (2006) beschrieben, als schwierig wird bei der Erfassung von epistemologischen Überzeugungen erachtet, dass die Studien häufig wenig reliabel und valide sind. Für die Erfassung von persönlichen Ansichten sind Interviews in der Regel besser geeignet, jedoch haben sie den Nachteil, dass sie häufig nur eine kleine Stichprobe umfassen. Eine Kombination von quantitativen Fragebögen und qualitativem Interview wird in aktuelleren Studien als Möglichkeit gesehen, die Vorteile und Nachteile beider Erhebungsverfahren zu kompensieren (Müller, Paechter & Rebmann, 2008).

Da für die Fragestellung der Studie nicht eine präzise Angabe des Modellverständnisses der Probanden im Vordergrund stand, wurde auf eine Kombination beider Methoden zurückgegriffen. Die Konstruktion des Fragebogens basiert auf der Methode nach Krettenauer (2005). Hierfür wurden Aussagen aus einer Interviewstudie (vgl. Bindernagel, 2010) in einen Fragebogen überführt. Über eine vierstufige Likert-Skala (stimmt, stimmt eher, eher nicht, stimmt nicht) sollten die Befragten angeben inwieweit die Aussagen ihrer eigenen Auffassung entspricht. Dieser Teil war in beiden Fragebögen identisch.

Im zweiten Teil wurde das fachliche Wissen zu Moleküldarstellungen der organischen Chemie, den intermolekularen Kräften, das fachdidaktische Wissen zu Modellexperimenten sowie die Einstellungen zu Animismen erfasst. Aufgrund der eingeschränkten Eingabemöglichkeiten des Online-Fragebogens der erfahrenen Lehrkräfte ergaben sich hier Unterschiede in den Fragen mit offenem Antwortformat. Im Online-Fragebogen wurde nicht nach den Kenntnissen zu den Formelschreibweisen und Animismen gefragt, da die Eingabemöglichkeiten des Online-Fragebogens beschränkt waren. Die Lehrkräfte konnten aus dem selben Grund die Frage zu der molekularen Darstellung der Van-der-Waals-Kräfte nur in Textform beantworten.

Teil drei war bei beiden Fragebögen wieder identisch. Es wurde mit einer vierstufigen Likert-Skala (stimmt, stimmt eher, eher nicht, stimmt nicht) die Einstellungen zum Einsatz digitaler Medien für den Unterricht untersucht. Bei den erfahrenen Chemielehrkräften wurde bei den persönlichen Angaben zusätzlich nach dem Amtstitel, Schulform, in der die Befragten unterrichten, und der Dauer des Schuldienstes gefragt.

4.2. Pilotierung

Beide Fragebögen wurden mit sechs erfahrenen Chemielehrkräften diskutiert. Dabei wurden insbesondere die korrekten Antwortmöglichkeiten für das fachliche Wissen zu den Moleküldarstellungen

der organischen Chemie evaluiert. Mit derselben Gruppe erfolgte die Auswertung der offenen Antwortformate, die Einteilung der Probanden in die verschiedenen Antwortkategorien entspricht daher einem Konsens der Gruppe.

Die Pilotierung des Fragebogens der Studierenden erfolgte mit 30 Chemie-Lehramtsstudierenden. Der Fragebogen der Lehrkräfte erfolgte mit 19 erfahrenen Chemielehrkräften. Die Reliabilität der Items zur Modellvorstellung und zum Einsatz digitaler Medien ergab bei den Studierenden einen Wert von $\alpha = 0,6$ und $\alpha = 0,8$. Bei den Lehrkräften für die Items zum Modellverständnis einen Wert von $\alpha = 0,5$ und Einsatz digitaler Medien einen Wert von $\alpha = 0,6$. Die geringen Cronbachs-Alpha-Werte sind damit zu begründen, dass der Schwerpunkt eher auf eine größere Bandbreite der Variablen gelegt wurde.

Die Ergebnisse der Studie wurden mit einer Gruppe von acht Chemie-Lehramtsstudierenden, die nicht an der Studie teilgenommen hatten, evaluiert.

4.3. Konstruktion der Items zum Modellverständnis

Zur Erfassung des Modellverständnisses wurde die Interviewstudien von Bindernagel (2010) gewählt, da diese zusätzlich einen Zusammenhang zum Unterrichtsweg der Lehrkräfte in Bezug der verschiedenen Modelle im Unterricht untersuchte. Die Itemformulierungen entsprachen den Aussagekriterien der Interviewstudie, die Erfassung der Einstellungen erfolgte in einem geschlossenen Antwortformat über eine vierstufige Likert-Skala (stimmt, stimmt eher, stimmt eher nicht, stimmt). Da eine höhere Entwicklungsstufe nicht nur dadurch zum Ausdruck kommt, dass einem Item aus einer höheren Niveaustufe zugestimmt wird, sondern auch durch die Ablehnung von einer Aussage aus einer niedrigeren Niveaustufe (Krettenauer, 2005), wurden aus der Interviewstudie aus jeder Niveaustufe und Dimension Aussagen ausgewählt.

4.4. Methode der Auswertung zum Modellverständnis

Durch die Konstruktion des Fragebogens mussten die Probanden, um eine hohe Niveaustufe zu erreichen, häufig die Skalenwerte *stimmt* oder *stimmt nicht* ankreuzen. Da jedoch von Probanden häufig bewusst oder unbewusst eine mittlere Antwortkategorie gewählt wird, kann dies zur Verzerrung der Ergebnisse führen (Moosbrugger, 2012, 60-61). Die Auswertung der Aussagen für die drei Niveaustufen nach Bindernagel (2010) erfolgte daher in Anlehnung an Krettenauer (2005) über einen Differenzwert (Df-Wert). Dieser wurde aus der Summe der zustimmenden Antworten (Prozent) und der Summe der ablehnenden Antworten ermittelt. Ein negativer Df-Wert lehnt eine Aussage ab, während ein positiver Df-Wert einer Aussage zustimmt.

Für die Auswertung, ob zwischen den Modellvorstellungen Unterschiede zwischen den Chemie-Lehramtsstudierenden und erfahrenen Lehrkräften besteht bzw. ob sich eine Änderung der Modellvorstellungen durch das Studium oder Unterrichtserfahrungen ergeben, wurde eine Faktorenanalyse durchgeführt. Diese diente in erster Linie einer Reduktion der Variablenzahl. Da durch die Faktorenanalyse keine Unterscheidung der Aussagen bezüglich ihrer Niveaustufe möglich war, erfolgte eine Differenzierung über ein Punktesystem (Bolte, Schanze, Thörmählen & Saballus, 2005). Die Items wurden so umkodiert, dass die Antwort „stimmt“ einer wissenschaftlichen Modellvorstellung entspricht. Die Abstufung erfolgte entsprechend der Likert-Skala mit „stimmt eher“ = 3 Punkten, „eher nicht“ = 2 Punkte

und „stimmt nicht“ =1 Punkt. Die maximale Punktzahl für eine Hauptkomponente errechnet sich somit aus der Anzahl der Items multipliziert mit der maximalen Punktzahl von 4. Eine hohe Gesamtpunktzahl gibt somit eine hohe Zustimmung bezüglich eines wissenschaftlichen Modellverständnisses wieder.

4.5. Konstruktion der Items zum modellbezogenen Fachwissens

Die Items zum modellbezogenen Fachwissen ergaben sich aus den Schulbuchbeschreibungen zu den Möglichkeiten und Grenzen der Modelle (vgl. Tabelle 2). Im nächsten Schritt wurden die Aussagen mit entsprechender Fachliteratur verglichen (Riedel, 1990; Sykes, 1988; Vollhardt, 1988). Die Beantwortung der Fragen erfolgte in einem geschlossenen Antwortformat. Die Antwortalternativen waren disjunkt und entsprachen dem Wissensstand eines Grundkurses Chemie.

Beispielaufgabe:

Der Schulbuchtext zum Kugel-Stab-Modell lautet: *„Das Kugel-Stab-Modell gibt Bindungswinkel und Bindungslängen sehr anschaulich wieder. Auch die freie Drehbarkeit um die C-C-Einfachbindung lässt sich gut demonstrieren. Die Raumerfüllung und damit äußere Form der Moleküle wird aber nicht deutlich“* (Asselborn, Jäckel & Risch, 2009, 280).

Fragebogen: Kreuzen Sie an, welche der Aussagen zutrifft. Es sind auch mehrere Aussagen möglich.

Das Kugel-Stab-Modell

- gibt die Bindungswinkel und Bindungslängen sehr anschaulich wieder.
- zeigt die freie Drehbarkeit um die C-C-Einfachbindung.
- gibt gut die Raumerfüllung und damit die äußere Form der Moleküle wieder.

Formelschreibweisen

Das Fachwissen der Studierenden zu den Formelschreibweisen wurde über ein offenes Antwortformat ermittelt. Es sollten verschiedene Moleküle in der Sesselform, Skelettforn, Halbstrukturformel und Strukturformel gezeichnet werden. Es wurden einfache Moleküle gewählt, da nicht die Kenntnisse zur Nomenklatur der Moleküle von Interesse war, sondern ob die verschiedenen Schreibweisen bekannt sind. Da die Gruppe auch Studienanfänger umfasst, entsprach die Auswahl der Moleküle dem Niveau eines Chemiegrundkurses.

Intermolekulare Kräfte

Die Frage nach den Van-der-Waals-Kräften war in beiden Fragebögen gleich, die Lehrkräfte konnte diese jedoch nur in Textform beantworten. Die Lehrkräfte wurden zusätzlich nach den vorher eingeführten Modellen befragt, dies fand in einem geschlossenen Antwortformat statt. Es konnten dabei mehrere Modelle angegeben werden.

Animismen

Die Auswahl des Bildes für die Einstellung zu Animismen erfolgte auf der Grundlage, dass der Schwerpunkt auf intermolekulare Kräfte gelegt wurde. Das Bild der Wasserstoffbrückenbindung (vgl. Abbildung 13) wurde nicht weiter erläutert, da auch die Interpretation des Animismus der Wasserstoffbrückenbindung interessierte.

4.6. Methode zur Auswertung des modellbezogenen Fachwissens

Die Auswertung des modellbezogenen Fachwissens erfolgte über ein Punktesystem. Es wurde für eine korrekte Antwort 1 Punkt vergeben, bei keiner korrekten Antwort 0 Punkte. Es konnten pro Modell maximal 3 Punkte erreicht werden. Bei der Pilotierung zeigten sich verschiedene Ansichten zu den Aussagen des Schulbuchtextes und der Anwendung mit Molekülbaukästen zum Kugel-Stab-Modell. Im Schulbuchtext wurde angegeben, dass sich mit dem Kugel-Stab-Modell neben den Bindungswinkeln auch die Bindungslängen anschaulich darstellen lassen. In den Molekülbaukästen zum Kugel-Stab-Modell sind jedoch alle Bindungslängen gleich lang. In verschiedenen Computerprogrammen können jedoch auch die Bindungslängen mit dem Kugel-Stab-Modell veranschaulicht werden. Für die Auswertung zum Kugel-Stab-Modell wurde die Schulbuchdefinition mit einem Punkt codiert, die Zuordnung stellt dabei keine inhaltliche Bewertung der Aussage dar.

Die Auswertung der Formelschreibweisen erfolgte über eine Einteilung in korrekte Antwort, teilweise korrekte Antwort und keine korrekte Antwort. Als eine teilweise korrekte Antwort wurden Zeichnungen gewertet, bei denen die Wasserstoffatome nicht korrekt angegeben wurden. Eine falsche oder fehlende Darstellung wurde als nicht korrekt bewertet. Kenntnisse zur Nomenklatur wurden nicht berücksichtigt, sondern nur die korrekte Schreibweise.

Die Zeichnungen der Studierenden zu den Van-der-Waals-Kräften konnten in vier Kategorien eingeteilt werden. Die Aussagen der Lehrkräfte in Textform konnten den entsprechenden Kategorien nur bedingt zugeordnet werden, es wurde daher eine eigene Antwortkategorie für die Textaussagen erstellt.

4.7. Statistische Methoden

Es wurden Methoden der deskriptiven Statistik und Interferenzstatistik angewendet. Die Testvariablen wurden mit der grafischen Methode des Histogramm auf Normverteilung untersucht. Die Tests ergaben, dass die Normalverteilungsannahme nicht gilt. Es wurden daher für die Datenauswertung nicht-parametrische Tests wie der Mann-Whitney-U-Test und der Kruskal-Wallis-Test verwendet. Die Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS 22 und SPSS 24. Der Df-Wert wurde über eine Exceltabelle berechnet.

5. Ergebnisteil

5.1. Beschreibung der Stichprobe

Die Zusammensetzung der zwei Stichproben kann den Tabelle 7 bis 10 entnommen werden. Insgesamt nahmen 212 Personen an der Studie teil, das Verhältnis von Männern und Frauen kann als relativ ausgeglichen angesehen werden. Die befragten Studierenden waren meist jünger als 24 Jahre, wobei der überwiegende Teil sich im Masterstudiengang befand. Bei den erfahrenen Lehrkräften war die Altersstruktur gleichmäßig verteilt, die meisten besaßen mehr als zwanzig Jahre Berufserfahrung und waren an einem Gymnasium tätig. Die in Deutschland häufigste Fächerkombination von Chemie und Biologie bzw. Mathematik fand sich sowohl bei den Studierenden als auch den erfahrenen Lehrkräften wieder. Bei den Studierenden wurde eine weitere Gruppe der Fachbachelor benannt. Diese Gruppe beschreibt die Berufsschullehrkräfte, die in der Regel eine Berufsausbildung absolviert haben.

Tabelle 7: Beschreibung der Stichproben der Studierenden und Lehrkräfte

	Studierende		Lehrkräfte	
Ausgewertete Fragebögen	108	51 %	104	49 %
Anzahl weiblicher Probanden	53	49,1 %	46	44,2 %
Anzahl männlicher Probanden	40	37,0 %	44	42,3 %
Keine Angabe	15	13,9 %	14	13,5 %

Tabelle 8: Alter der befragten Personen

Studierende n = 108			Lehrkräfte n = 104		
< 24 Jahre	79	73,1 %	25-29 Jahre	5	4,8 %
25-29 Jahre	21	19,4 %	30-39 Jahre	15	14,4 %
30-34 Jahre	4	3,7 %	40-44 Jahre	14	13,5 %
40-44 Jahre	2	1,9 %	45-49 Jahre	15	14,4 %
			50-54 Jahre	17	16,3 %
			55-59 Jahre	15	14,4 %
			Älter als 60 Jahre	9	8,7 %
Keine Angabe:	2	1,9 %	Keine Angabe	14	13,5 %

Tabelle 9: Studiendauer bzw. Dienstalster der befragten Studierenden und Lehrkräfte

Studiendauer (Studierende) n = 108			Dienstalster (Lehrkräfte) n = 104		
1.-2. Semester	26	24,1 %	1-2 Jahre	3	2,9 %
3.-6. Semester	28	25,9 %	3-5 Jahre	15	14,4 %
7.-12. Semester	48	44,4 %	6-10 Jahre	10	9,6 %
			11-15 Jahre	11	10,6 %
			16-20 Jahre	5	4,8 %
			Über 20 Jahre	35	33,7 %
Keine Angabe	6	5,6 %	Keine Angabe	25	24,0 %

Tabelle 10: Zweites Unterrichtsfach der befragten Studierenden und Lehrkräfte

Studierende n = 108			Lehrkräfte n = 104		
Biologie	37	34,3 %	Biologie	50	48,1 %
Mathematik	25	23,1 %	Mathematik	12	11,5 %
Physik	6	5,6 %	Physik	8	7,7 %
Sprachen (Deutsch und Englisch)	5	4,6 %	Sprachen (Deutsch und Englisch)	5	4,8 %
Gesellschaft (Politik und Wirtschaft, Geschichte, Erdkunde, Kunst, Ethik)	14	13,0 %	Gesellschaft (Politik und Wirtschaft, Geschichte, Erdkunde, Kunst, Ethik)	11	10,6 %
Sport	5	4,6 %	Sport	3	2,9 %
Fachbachelor (Berufsschullehramt)	13	12,0 %		-	-
Keine Angabe	3	2,8 %	Keine Angabe	15	14,4 %

Tabelle 11: Amtstitel und Schulform der befragten Lehrkräfte

Amtstitel n = 104			Schulform n = 104		
Vorbereitungsdienst	2	1,9 %	Gymnasium	56	53,9 %
Lehrer Klasse 5-10	24	23,1 %	Gesamtschule	21	20,1 %
Studienrat	39	37,5 %	Realschule	11	10,6 %
Oberstudienrat	18	17,3 %			
Keine Angabe	21	20,2 %	Keine Angabe	16	15,4 %

5.2. Auswertung der Seminararbeiten

Von den insgesamt fünf Gruppen haben nur drei Gruppen eine ausführliche Analyse ihrer eigenen Kenntnisse zu den schulrelevanten Modellen und Unterrichtserfahrung durchgeführt. Die beiden anderen bezogen sich in ihrer Analyse eher auf Literaturwissen. Es zeigte sich, dass die Planung der Unterrichtseinheiten zu den intermolekularen Kräften eher fallbasiert erfolgte. Keiner der Gruppen gab in der Analyse an, Modelle oder intermolekulare Kräfte im Zusammenhang mit einem Basiskonzept gelernt zu haben.

Zitat aus der Gruppe 2:

Bei mir wurden zuerst die Wasserstoffbrückenbindungen im Unterricht eingeführt vor den Van der Waals Kräften. Als wir in der Mittelstufe polare Bindungen und damit Dipole eingeführt haben, hat unser Lehrer erklärt, dass Wasserstoff eine positive Partialladung hat und Sauerstoff eine negative Partialladung aufgrund der Elektronegativitätsdifferenz. Die beiden verschiedenen Ladungen ziehen sich an. Leider wurde uns nicht erklärt, dass auch ein anderes elektronegatives Atom den Sauerstoff ersetzen könne und daher dachte ich lange Zeit, dass Wasserstoffbrückenbindungen nur mit den Atomen Sauerstoff und Wasserstoff funktionieren und das der Akzeptor auch ein Sauerstoffatom sein muss. Als wir in der Oberstufe mit der organischen Chemie und der homologen Reihe der Alkane angefangen haben, hat unser Lehrer uns erklärt, dass in einer Atombindung die Elektronen zeitlich bei den gebundenen Atomen sind und somit auch in einer unpolaren Bindung Teilladungen entstehen können. Die schwachen zwischenmolekularen Wechselwirkungen nennt man Van-der-Waals-Kräfte. Das sähe man daran, dass die Alkane mit steigender Kohlenstoffanzahl von dem gasförmigen Zustand in den festen Zustand übergehen. Er hat dann auch die verschiedenen Isomere des Hexan an die Tafel gezeichnet und die jeweiligen Siedepunkte daran geschrieben und uns somit erklärt, dass durch die Verzweigung die Oberfläche des jeweiligen Moleküls abnimmt und somit die Kontaktfläche kleiner wird und dadurch auch wiederum die Van-der-Waals-Kräfte schwächer werden. Ohne das Orbitalmodell habe ich jedoch nicht verstanden gehabt, wie die Elektronen von ihren Bahnen zeitlich sich immer mal entfernen und wie sie das ohne Energieaufwendung möglich sei.

Zitat aus der Gruppe 3:

Als Erstes lässt sich sagen, dass bei keinem von uns im Chemieunterricht größere Bedeutung auf diese Thematik gelegt wurde. Eine Doppelstunde war das Maximale, was an Zeit zur Verfügung stand. Üblicherweise wurden die van-der-Waals-Kräfte über die temporäre Dipol-Induzierung erklärt. Permanente Dipole (insbesondere Wasser) sind aus der Mittelstufe bekannt. Erklärt wird dieses Phänomen über die unterschiedliche Elektronegativität der am Molekülaufbau beteiligten Elemente. Es folgt ein Text, der für die Einführung der van-der-Waals-Kräfte in einem Chemie-LK verwendet wurde:

„Die Atombindung zwischen H und C ist annähernd gleich verteilt, die Elektronegativität annähernd null, d. h. kaum Ladungsunterschiede (vernachlässigbar). Demnach ist Methan, Ethan, Propan, Butan ein Gas. In derselben Reihenfolge nimmt aber das Molekulargewicht zu. Ab einem bestimmten Molekulargewicht werden die Alkane flüssig. Wenn diese Alkane flüssig sind, müssen Anziehungskräfte vorhanden sein. Durch die Brown'sche Molekularbewegung erfolgen Zusammenstöße, die vorübergehend einen kleinen Dipol erzeugen (= Van-der-Waals-Kräfte). Man nennt diese Dipole auch induzierte Dipole.“

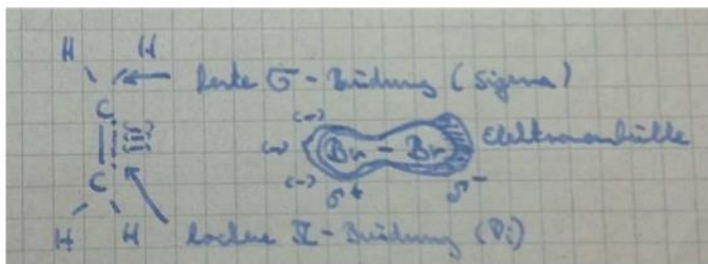


Abbildung 1 aus der Seminararbeit Gruppe 3.

Induzierte Wechselwirkungen bei der elektrophilen Addition.

Dabei ist zu beachten, dass zu diesem Zeitpunkt das Orbitalmodell noch nicht eingeführt worden war. Stattdessen wurde scheinbar das Modell einer verformbaren Elektronenhülle verwendet, wie die Zeichnung in Abbildung 1 zeigt. Wie und ob dieses Modell theoretisch begründet wurde, konnte leider nicht mehr rekonstruiert werden. Interessant ist, dass die Begrifflichkeiten δ - und δ -Bindung ohne das Orbitalmodell eingeführt wurden. Vermutlich sind diese Begriffe zu diesem Zeitpunkt „vom Himmel gefallen“ und wurden nicht weiter theoretisch hinterlegt. Auch bei den anderen Gruppenmitgliedern wurde bei der Einführung der Wechselwirkungen kein gesteigerter Wert auf die Vermittlung der Theorie gelegt. Die Einführung des Orbitalmodells geschah dann Bezug nehmend auf das Bohr'sche Atommodell und die Einführung von Haupt- und Unterschalen (Bohr-Sommerfeldsches Atommodell).

Die subjektiven Erfahrungen der Studierenden zeigen, dass sie trotz der Widersprüche und anfänglichen Fehlvorstellungen den Eindruck haben, die fachlichen Inhalte verstanden zu haben. Nur eine Gruppe hatte einen Zusammenhang mit den Themen des Didaktikseminars hergestellt und Überlegungen für einen alternativen Unterrichtsgang ansatzweise diskutiert.

Zitat aus der Gruppe 3:

Da zu dem Zeitpunkt der Einführung der intermolekularen Wechselwirkungen kein Fokus auf die aktuell akzeptierte Theorie gelegt, sondern der Sachverhalt stark didaktisch reduziert dargeboten wurde, hat man sich als SuS nicht sonderlich an diesem Konzept gestört. Durch die Verbindung zum bekannten Effekt der Dipol-Ausbildung konnte das neue Konzept „induzierter Dipol“ gut in vorhandenes Wissen integriert werden. Natürlich ist es aus didaktischer Sicht nicht optimal, wenn Begriffe ohne Begründung eingeführt werden und die zum Verständnis benötigte Theorie auf einen späteren Zeitpunkt verschoben wird oder im Extremfall gar nicht behandelt wird. Die SuS werden so mit dem Verstehensproblem und der Integration der neuen Sachverhalte alleingelassen. Auch wenn diese Leistung häufig vielen SuS gelingt, ist dies doch ein Punkt, bei dem leicht Fehlvorstellungen auftreten können, die im späteren Verlauf oft nur schwer zu korrigieren sind. Ich kann für mich sagen, dass die Erklärung über Dipol-Dipol-Wechselwirkungen für mich zu dem Zeitpunkt verständlich war. Da das dahinterliegende Atommodell zumindest in meinen Aufzeichnungen nicht zur Sprache kam, war die gegebene Erklärung wohl ausführlich genug, um damit den weiteren Stoff zu bearbeiten. Optimaler wäre es sicher gewesen, das zugehörige Atommodell zeitgleich mit einzuführen.

Zwei Gruppen gehen in ihren Ausführungen auf Kompetenzbereiche und Basiskonzepte im Unterricht ein. Insgesamt kann kein Perspektivwechsel der Studierenden gezeigt werden. Ihre Analysen erfolgten immer aus der Sicht von Lernenden. In ihrer fachlichen Einschätzung zum Schalenmodell ergeben sich bei den Gruppen unterschiedliche Ansichten.

Zitat Gruppe 4:

Das Modell ermöglicht ebenfalls die Anwendung der Oktettregel auf Verbindungen. Jedoch sind nur Betrachtungen „wer mit wem“ möglich. Eine detaillierte Beschreibung der Bindungssituation ist nicht möglich. Insbesondere wird das an der Molekülgestalt von Verbindungen deutlich. Im Schalenmodell gibt es keine Möglichkeit die räumliche Anordnung von Molekülen zu verstehen. Warum zum Beispiel Wasser nicht linear aufgebaut ist, kann nicht diskutiert werden.

Zitat aus der Gruppe 1:

Mit Hilfe sowohl des Bohrschen- als auch des Orbitalmodells, lässt sich die kovalente Bindung beschreiben und damit auch die Tatsache, dass es möglich ist, ein und dieselbe Anzahl von Atomen auf verschiedene Art und Weise zu verknüpfen. Man spricht dabei von der sog. Konstitutionsisomerie.

Mit dem einfachen, kovalenten Molekülmodell nach Bohr lassen sich dann weitere Formen der Isomerie in der organischen Chemie gut beschreiben. So spielt auch die

räumliche Anordnung von Atomen in einem Molekül eine Rolle und kann ein unterschiedliches chemisches Verhalten der betreffenden Moleküle verursachen. Man spricht hier von Stereoisomerie.

Die fachliche Beschreibung der intermolekularen Kräfte erfolgte häufig mit Angaben aus der Fachliteratur. In allen Gruppen wurden die intermolekularen Kräfte über eine Definition erklärt und nicht auf molekularer Ebene.

Wasserstoffbrückenbindungen treten zwischen polaren Stoffen auf, Van-der-Waals-Kräfte treten zwischen unpolaren Stoffen auf.

Alle Gruppen hatten die Unterschiede zwischen Simulationen und Animationen gut herausgearbeitet und in ihrer theoretischen App berücksichtigt. Vier Gruppen hatten sich für eine Animation entschieden, eine Gruppe für eine Simulation. Die Simulation, die den Zusammenhang der Viskosität einer Flüssigkeit und den intermolekularen Kräften herstellt, wurde von einem Studenten schon zum Teil programmiert.



Abbildung 17: Teilweise programmierte App der Seminargruppe 5.

5.3. Ergebnisse der Fragbogenstudien

5.3.1. Antwortverhalten der Probanden

Das Antwortverhalten beider Gruppen zeigt, dass bevorzugt eine mittlere Antwortkategorie gewählt wurde, wobei Studierende eher zu einer mittleren Antwortkategorie neigen als erfahrene Lehrkräfte. Die deutlichsten Unterschiede zeigen sich beim Item 1 (Ein Modell ist eine reine Abbildung der Realität.), Item 6 (Symbole können bewusst eingesetzt werden, wenn es dem Zweck des Modells nutzt.), Item 9 (Die Rolle des Modellentwicklers ist nicht groß), Item 10 (Der Modellentwickler trifft bewusste Entscheidungen mit Blick auf den Zweck des Modells.), Item 11 (Der Modellentwickler konstruiert, verändert und prüft aktiv das Modell, um Ideen zu testen.), Item 12 (Ein Modell illustriert Abbildhaft ein reales Objekt.) und Item 16 (Modelle werden an der Realität auf ihre Erklärungsmöglichkeit hin geprüft, dies kann auch zur Ablösung eines Modells führen.). Nur bei Item 3 (Ein Modell wird konstruiert, um eine Idee zu entwickeln und zu prüfen.) haben die Lehrkräfte häufiger eine mittlere Antwortkategorie angegeben.

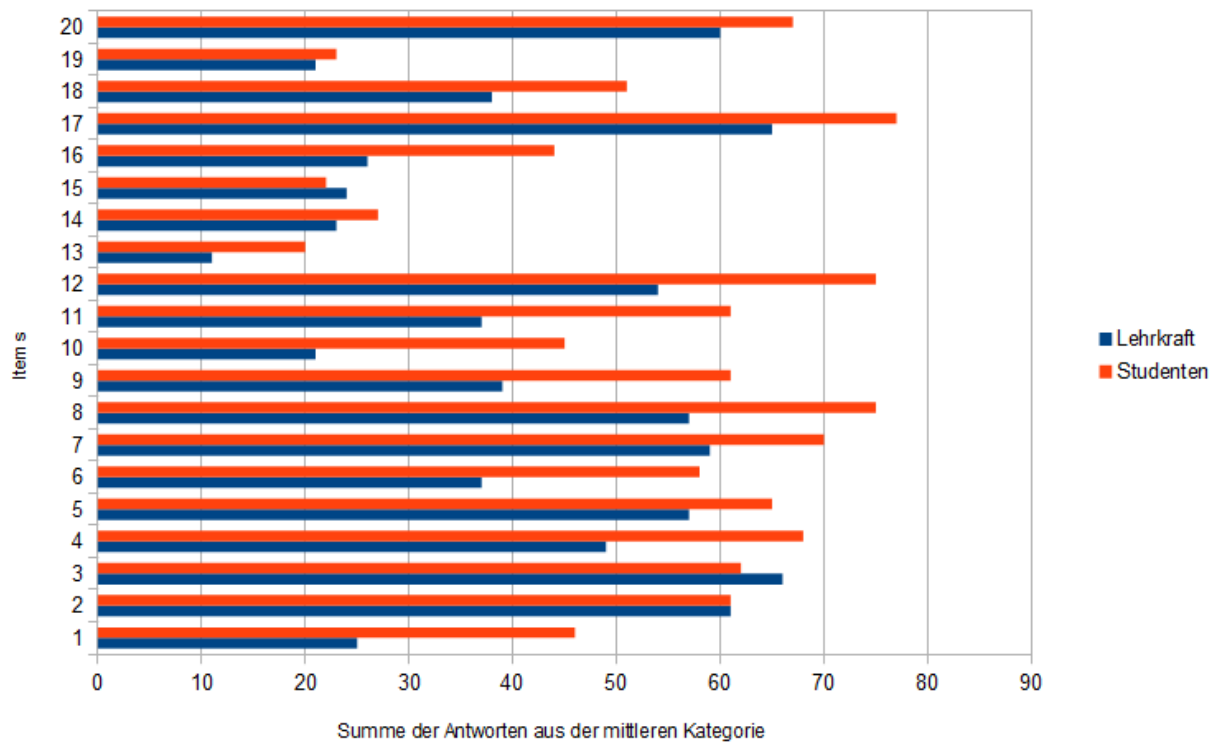


Abbildung 18: Antwortverhalten der Lehrkräfte und Studierenden zum Modellverständnis

5.3.2. Ergebnisse der epistemologischen Überzeugungen zum Modellverständnis

In Tabelle 12 wird die Zustimmung der Lehrkräfte und der Studierenden zu den Dimensionen der Interviewstudie dargestellt. Über die Bestimmung des Differenzwertes kann die Zustimmung bzw. Ablehnung der Probanden zu den Aussagen bestimmt werden. Ein negativer Wert zeigt, dass die Ablehnung der Aussage größer ist als die Zustimmung.

Tabelle 12: Df-Werte für die Niveaustufen bei Lehrkräften und Studierenden

Dimension	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Rolle der Idee	Das Modell ist Abbild der Realität. Die Ebene der Idee (Theorien) ist nicht direkt relevant.	Das Modell modelliert direkt Realitäten. Es konzentriert sich auf die Darstellung bestimmter Ideen der modellierten Realität.	Das Modell wird konstruiert, um Ideen zu entwickeln und zu prüfen. Ein direkter Bezug zu Realitäten ist nicht notwendig vorhanden.
Df-Wert Lehrkräfte	-0,82	0,70	0,64
Df-Wert Studierende	-0,81	0,90	0,72
Gebrauch von Symbolen	Symbole sind nicht Bestandteil des Modells.	Die Nutzung von Symbolen kann bewusst vorgenommen werden, um den Zweck des Modells nachzukommen.	Der Modellentwickler hat einen Einfluss auf das Design des Modells und die Festlegung und Nutzung von Symbolen.
Df-Wert Lehrkräfte	-0,53	0,88	0,46
Df-Wert Studierende	-0,57	0,80	0,65
Rolle des Modellentwicklers	Der Modellentwickler spielt keine entscheidende Rolle.	Der Modellentwickler trifft bewusst Entscheidungen mit Blick auf den Zweck des Modells.	Der Modellentwickler konstruiert, verändert, prüft aktiv das Modell, um Ideen zu testen.
Df-Wert Lehrkräfte	-0,56	0,86	0,79
Df-Wert Studierende	-0,58	0,93	0,82

Dimension	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Kommunikation	Das Modell illustriert Abbildhaft ein reales Objekt oder einen Vorgang.	Das Modell veranschaulicht bestimmte Teilaspekte von Realitäten und erleichtert Verständnis und Kommunikation dieser Teilaspekte.	Modelle werden kritisch diskutiert und gegeneinander abgewogen. Unterschiedliche Modelle haben unterschiedliche Zwecke.
Df-Wert Lehrkräfte	0,28	0,84	0,79
Df-Wert Studierende	0,29	0,94	0,88
Modelltestung	Modelle als Abbilder von Realitäten bedürfen keiner Testung.	Modelle werden an der Realität auf ihre Funktionalität (Erklärungsmöglichkeit) hin überprüft, was zur Ablösung eines Modells führen kann.	Modelle werden systematisch getestet, um in einem zyklischen Prozess wissenschaftliche Erkenntnisse zu verbessern.
Df-Wert Lehrkräfte	-0,90	0,91	0,48
Df-Wert Studierende	-0,96	0,87	0,62
Vielfältigkeit und Veränderungen von Modellen	Modelle verändern sich als Abbilder von Realitäten nicht. Es kann unterschiedliche Modelle (vereinfachte Abbilder) geben.	Es gibt Grenzen von Modellen in ihrer Funktionalität (Erklärungsmöglichkeit), was zur Ablösung oder Erweiterung eines Modells führen kann.	Modelle werden systematisch variiert und verändert, um in einem zyklischen Prozess wissenschaftliche Erkenntnisse zu verbessern.
Df-Wert Lehrkräfte	-0,83	0,92	0,60
Df-Wert Studierende	-0,84	1,00	0,82

Die meisten Zustimmungen gibt es von beiden Gruppen zu den Aussagen aus der Niveaustufe 2 mit einer Tendenz zur Niveaustufe 3. Betrachtet man die Zahlenwerte der Zustimmung zu den Aussagen aus der Niveaustufe 3, so haben Studierende häufiger den Aussagen aus der Niveaustufe 3 zugestimmt als erfahrene Lehrkräfte. Besonders deutlich sind die Unterschiede zu den Aussagen: *Der Modellentwickler hat einen Einfluss auf das Design des Modells und die Festlegung und Nutzung von Symbolen, Modelle werden systematisch getestet, um in einem zyklischen Prozess wissenschaftliche Erkenntnisse*

zu verbessern, Modelle werden systematisch variiert und verändert, um in einem zyklischen Prozess wissenschaftliche Erkenntnisse zu verbessern.

Aus dem Grad der Zustimmung kann gezeigt werden, dass Modelle nicht als reine Abbildungen der Realität gesehen werden. Modelle erfüllen demnach in erster Linie den Zweck Denkmodelle zu veranschaulichen und somit den Zweck der Kommunikation. Erfüllen Modelle diesen Zweck nicht mehr, so können diese abgelöst oder erweitert werden. Dem Modellentwickler wird vor allem der Aspekt der Entwicklung und Testung der Modelle zugesprochen.

5.3.3. Ergebnisse der Faktorenanalyse zum Modellverständnis

Über die Hauptkomponenten sollen die epistemologischen Überzeugungen insbesondere zur Rolle der Modelle im Erkenntnisprozess untersucht werden. Das Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium lag für die Items zum Modellverständnis der Gesamtstichprobe ($n = 212$) bei 0,752. Dieser Wert wird entsprechend Cleff (2015) als ausreichend definiert, um eine Hauptkomponentenanalyse durchzuführen. Bei der Berechnung wurden entsprechend dem Kaiser-Guttman-Kriterium nur Eigenwerte größer als 1 berücksichtigt. Ein Richtwert für die Varianz der Items liegt bei etwa 10 % (Urdan, 2010), nach dieser Empfehlung erfolgte die Faktorenanalyse auf drei Komponenten. Die dritte Komponente lag bei 9,72 % und wurde aufgerundet. Die Faktorenanalyse wurde mit der Varimax-Rotation und Kaisernormalisierung durchgeführt, dabei wurden nur Items berücksichtigt, die mindestens eine Faktorladung von $> |0,4|$ aufwiesen. Das Ergebnis wird in Tabelle 13 gezeigt.

Tabelle 13: Hauptkomponenten des Modellverständnisses; nur Faktorenladungen $> |0,4|$ wurden berücksichtigt.

Rotierte Komponentenmatrix ^a			
	Komponente		
	1	2	3
Ein Modell veranschaulicht bestimmte Teilaspekte von Realitäten und erleichtert Verständnis und Kommunikation dieser Teilaspekte	0,775		
Modelle sind keine Abbilder der Realität und benötigen daher einer Testung.	0,719		
Modelle werden kritisch diskutiert und gegeneinander abgewogen. Unterschiedliche Modelle haben unterschiedliche Zwecke.	0,700		
Es gibt Grenzen von Modellen in ihrer Erklärungsmöglichkeit, was zur Ablösung eines Modells führen kann.	0,680		
Der Modellentwickler trifft bewusste Entscheidungen mit Blick auf den Zweck des Modells	0,666		
Modelle werden an der Realität auf ihre Erklärungsmöglichkeit hin geprüft, dies kann auch zur Ablösung eines Modells führen.	0,564		
Symbole können bewusst eingesetzt werden, wenn es dem Zweck eines Modells nutzt.	0,429		
Modelle verändern sich, da sie keine Abbilder von Realitäten sind.		0,781	
Ein Modell wird konstruiert, um eine Idee zu entwickeln und zu prüfen.		0,511	
Ein direkter Bezug eines Modells zur Realität ist nicht unbedingt notwendig.		0,427	
Ein Modell beschreibt bestimmte Ideen.		0,415	
Modelle werden systematisch getestet, um in einen zyklischen Prozess wissenschaftliche Erkenntnisse zu verbessern.			0,599
Der Modellentwickler konstruiert, verändert und prüft aktiv das Modell, um Ideen zu testen.			0,491
Der Modellbenutzer bestimmt das Design des Modells.			0,476
Modelle werden systematisch variiert und verändert, um in einem zyklischen Prozess wissenschaftliche Erkenntnisse zu verbessern.			0,457
Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse. Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung.			
a. Die Rotation ist in 5 Iterationen konvergiert.			

5.3.4. Reliabilitätsanalyse

Die Reliabilität der Items zum Modellverständnis zeigen mit den umkodierten Items einen Cronbachs-Alpha Wert von 0,7. Bei den nicht umkodierten Items einen Cronbachs-Alpha-Wert von 0,3. Die Faktorenanalyse und Auswertung erfolgte daher mit den umkodierten Items.

Betrachtet man die höchsten Faktorladungen der ersten Hauptkomponente, so werden hier vor allen Aussagen zur deskriptiven Rolle von Modelle wiedergegeben. Die Items der ersten Hauptkomponente wurden daher unter der Überschrift *Bezug der Modelle zur Realität* zusammengefasst, sie zeigen eine Reabilität von Cronbachs-Alpha = 0,8. Die Homogenität der Items zu dieser Hauptkomponente kann als akzeptabel angesehen werden.

Die höchsten Faktorladungen der zweiten Hauptkomponente beschreibt eher die prädiktive Rolle von Modellen. *Modelle verändern sich, sie werden konstruiert um eine Idee zu entwickeln und zu testen. Modelle beschreiben eine Idee.* Die Items wurden daher unter der Überschrift *Rolle der Idee* zusammengefasst. Die Hauptkomponente umfasst nur vier Items und weist eine Reabilität von Cronbachs-Alpha = 0,4 auf. Dies ist als eher weniger akzeptabel einzustufen, wobei für die Erfassung von Ansichten auch geringere Cronbachs-Alpha Werte akzeptiert werden.

Die dritte Hauptkomponente weist ebenfalls vier Items auf. Diese beschreiben vorwiegend die Rolle des Modellentwicklers. Der Modellentwickler kann hier im Sinne einer Autorität verstanden werden, der das Design und die Nutzung des Modells bestimmt. Die Items dieser Hauptgruppe wurden daher unter der Überschrift *Rolle des Modellentwicklers* zusammengefasst. Die Homogenität der Items weist einen Cronbachs-Alpha-Wert von 0,5 auf.

Eine korrigierte Item-Skalen-Korrelation, nach der die Homogenität der Skala hätte verbessert werden können, wurde nicht durchgeführt. Die für die Studie notwendige Information, welche Einstellungen die Probanden insbesondere zur Rolle von Modellen besitzen, setzt eine größere Bandbreite der Merkmale voraus. Die Ergebnisse der Reliabilitätsanalyse werden in Tabelle 14 aufgeführt.

Tabelle 14: Hauptkomponenten zum Modellverständnis; Cronbachs-Alpa-Werte

Hauptkomponenten	Anzahl der Items	α -Wert
Bezug von Modellen zur Realität	7	0,797
Rolle der Idee	4	0,417
Rolle des Modellentwicklers	4	0,538

Zur Untersuchung der Einstellungen der Probanden zur Nutzung digitaler Medien wurde keine Faktorenanalyse durchgeführt. Die Reliabilität der Items lag bei 0,7, dieser Wert kann als akzeptabel betrachtet werden.

5.3.5. Ergebnisse der Modellvorstellungen bei Lehrkräften und Studierenden

Der Zweck der Faktorenanalyse wird hier in der Itemreduktion gesehen, um somit Unterschiede in den personenbezogenen Variablen aufzeigen zu können. Die Auswertung erfolgte mit einem Punktesystem (Bolte, Schanze, Thörmählen & Saballus, 2005). Die Items wurden so umkodiert, dass der Aussage „stimmt“ die höchste Punktzahl von 4 Punkten zugeordnet wurde, dies betraf die Items 1, 5, 9, 12 und 15. Die Abstufung erfolgte entsprechend der Likert-Skala mit „stimmt eher“ = 3 Punkten, „eher nicht“ = 2 Punkte und „stimmt nicht“ = 1 Punkt. Die maximale Punktzahl für eine Hauptkomponente errechnet sich somit aus der Anzahl der Items multipliziert mit der maximalen Punktzahl von 4.

Für die erste Hauptkomponente wurde ein Median von 26 Punkten (von 28) ermittelt. Dies bedeutet, dass Modelle nicht als reine Abbilder der Realität verstanden werden. Modelle werden jedoch mit einem engen Bezug zur Realität gesehen, die bestimmte Teilaspekte der Realität widerspiegeln. Modelle besitzen Grenzen in ihren Erklärungsmöglichkeiten und können daher durch andere Modelle abgelöst werden. Die epistemologischen Überzeugungen der Probanden zu den Aussagen lassen vermuten, dass Modelle vor allem in einem deskriptiven Sinn verstanden werden.

Für die zweite Hauptkomponente wurde ein Median von 12 Punkten (von 16) gemessen. Der Zweck von Modellen in der Entwicklung und Testung von Ideen wird also durchaus wahrgenommen. Es kann vermutet werden, dass die Probanden den prädiktiven Sinn von Modellen eher dem Modellentwickler zuordnen. Ein Median von 12 Punkten in der dritten Hauptkomponente unterstützt diese These. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass die Probanden durchaus epistemologische Überzeugungen besitzen, die einem wissenschaftlichen Modellverständnis entsprechen.

Im Hinblick auf die unterschiedlichen personalen Aspekte konnten die folgenden Ergebnisse gefunden werden. Der Anteil an Lehrkräften, die diesen Teil des Fragebogens nicht oder nur teilweise beantwortet haben, liegt im Durchschnitt bei etwa 25 %. Die Gruppe der Referendare ist mit zwei Probanden sehr klein und wurde daher nicht weiter berücksichtigt. Die Gruppe der Berufsschullehrkräfte wurde in der Analyse ebenfalls vernachlässigt, da kein Zweitfach angegeben wurde.

Variable Status (Lehrkraft oder Studierende)

Der Vergleich in den Modellvorstellungen zwischen den beiden Gruppen zeigt keinen Unterschied in den Einstellungen zwischen Studierenden und Lehrkräften (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15: Vergleich der Einstellungen zum Modellverständnis der Lehrkräfte und Studierenden in den Hauptkomponenten

Ränge			
	Lehrkraft oder Student	n	Mittlerer Rang
Bezug der Modelle zur Realität	Lehrer	99	108,13
	Student	104	96,17
	Gesamt	203	
Rolle der Idee	Lehrer	99	100,98
	Student	103	102,00
	Gesamt	202	
Rolle des Modellentwicklers	Lehrer	93	97,19
	Student	104	100,62
	Gesamt	197	
Statistik für Test ^{a,b}			
	Bezug der Modelle zur Realität	Rolle der Idee	Rolle des Modellentwicklers
Chi-Quadrat	2,168	0,016	0,182
df	1	1	1
Asymptotische Signifikanz	0,141	0,901	0,670
a. Kruskal-Wallis-Test			
b. Gruppenvariable: Lehrkraft oder Student			

Variablen Alter, Geschlecht und zweites Unterrichtsfach

Zu den Variablen Alter, Geschlecht und Zweitfach konnten keine signifikanten Unterschiede gezeigt werden. Demnach haben diese Aspekte keinen Einfluss auf die Modellvorstellungen der Probanden.

Variable Amtstitel

In der Variablen Amtstitel zeigten sich Unterschiede in der ersten und zweiten Hauptkomponente. Das Ergebnis lässt vermuten, dass Lehrkräfte der Klassen 5-10 Modelle eher als Abbildungsmodelle verstehen (vgl. Tabelle 16). Den Aussagen zur prädiktiven Rolle von Modellen wird ebenfalls von diesen Lehrkräften signifikant weniger zugestimmt, wobei dieser Unterschied vor allem zu den Oberstudienräten besteht.

Tabelle 16: Kruskal-Wallis-Test Hauptkomponenten mit der Variablen Amtstitel

Ränge			
	Amtstitel Lehrkräfte	n	Mittlerer Rang
Bezug der Modelle zur Realität	Lehrer Klasse 5-10	22	28,70
	Studienrat	37	42,34
	Oberstudienrat	17	42,82
	Gesamt	76	
Rolle der Idee	Lehrer Klasse 5-10	24	32,52
	Studienrat	36	37,69
	Oberstudienrat	17	50,91
	Gesamt	77	
Rolle des Modellentwicklers	Lehrer Klasse 5-10	23	34,02
	Studienrat	35	39,33
	Oberstudienrat	16	38,50
	Gesamt	74	
Statistik für Test ^{a,b}			
	Bezug der Modelle zur Realität	Rolle der Idee	Rolle des Modellentwicklers
Chi-Quadrat	6,323	7,111	0,908
df	2	2	2
Asymptotische Signifikanz	0,042	0,029	0,635
a. Kruskal-Wallis-Test			
b. Gruppenvariable: Amtstitel Lehrkräfte			

Variable Schulform

Bei der Variablen *Schulform* konnten keine signifikanten Unterschiede gezeigt werden (vgl. Tabelle 17) Vergleicht man hingegen die Gruppe Realschullehrkräfte und Gymnasiallehrkräfte, so kann hier in der ersten und zweiten Hauptgruppe Unterschiede gezeigt werden (Tabelle 18). Demnach erreichen die Realschullehrkräfte weniger Punkte als die Gymnasiallehrkräfte. Das Ergebnis bestätigt die Vermutung, dass Lehrkräfte, die auch in der Oberstufe unterrichten ein eher wissenschaftlicheres Verständnis zu Modellen besitzen. Ein Unterschied zwischen den Gesamtschullehrkräften/ Gymnasiallehrkräften und Gesamtschullehrkräften/Realschullehrkräften kann nicht gezeigt werden. Das Ergebnis sollte jedoch im Zusammenhang mit der eher kleinen Gruppe an Realschullehrkräften gesehen werden.

Tabelle 17: Kruskal-Wallis-Test Hauptkomponenten und Schulform

Ränge			
	Schulform Lehrkräfte	n	Mittlerer Rang
Bezug der Modelle zur Realität	Gymnasium	53	45,12
	Gesamtschule	21	40,36
	Realschule	9	27,44
	Gesamt	83	
Rolle der Idee	Gymnasium	52	45,65
	Gesamtschule	20	40,30
	Realschule	11	27,82
	Gesamt	83	
Rolle des Modellentwicklers	Gymnasium	50	42,30
	Gesamtschule	20	41,00
	Realschule	10	30,50
	Gesamt	80	
Statistik für Test ^{a,b}			
	Bezug der Modelle zur Realität	Rolle der Idee	Rolle des Modellentwicklers
Chi-Quadrat	4,425	5,240	2,205
df	2	2	2
Asymptotische Signifikanz	0,109	0,073	0,332
a. Kruskal-Wallis-Test			
b. Gruppenvariable: Schulform Lehrkräfte			

Tabelle 18: Hauptkomponenten und Schulform; Gymnasiallehrkräfte und Realschullehrkräften

Ränge				
	Schulform Lehrkräfte	n	Mittlerer Rang	Rangsumme
Bezug der Modelle zur Realität	Gymnasium	53	33,38	1769,00
	Realschule	9	20,44	184,00
	Gesamt	62		
Rolle der Idee	Gymnasium	52	34,15	1776,00
	Realschule	11	21,82	240,00
	Gesamt	63		
Rolle des Modellentwicklers	Gymnasium	50	31,98	1599,00
	Realschule	10	23,10	231,00
	Gesamt	60		
Statistik für Test^a				
	Bezug der Modelle zur Realität	Rolle der Idee	Rolle des Modellentwicklers	
Mann-Whitney-U	139,000	174,000	176,000	
Wilcoxon-W	184,000	240,000	231,000	
Z	-2,028	-2,049	-1,483	
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,043	0,040	0,138	
a. Gruppenvariable: Schulform Lehrkräfte				

Variable Unterrichtserfahrung

Für die Untersuchung der Daten im Hinblick auf die Variable *Unterrichtserfahrung* wurden die Lehrkräfte in drei Kategorien unterteilt.

1. Unterrichtserfahrung: 1 - 5 Jahre
2. Unterrichtserfahrung: 6 - 15 Jahre
3. Unterrichtserfahrung: ab 16 Jahre

Tabelle 19: Kruskal-Wallis-Test Hauptkomponenten und Unterrichtserfahrung

Ränge			
	Kategorien Schuldienst Lehrkräfte	n	Mittlerer Rang
Bezug der Modelle zur Realität	1-5 Jahre	16	41,25
	6-15 Jahre	23	41,59
	16- über 20 Jahre	38	36,49
	Gesamt	77	
Rolle der Idee	1-5 Jahre	18	32,78
	6-15 Jahre	23	44,46
	16- über 20 Jahre	36	38,63
	Gesamt	77	
Rolle des Modellentwicklers	1-5 Jahre	18	34,22
	6-15 Jahre	22	37,50
	16- über 20 Jahre	34	39,24
	Gesamt	74	
Statistik für Test ^{a,b}			
	Bezug der Modelle zur Realität	Rolle der Idee	Rolle des Modellentwicklers
Chi-Quadrat	0,981	2,852	0,650
df	2	2	2
Asymptotische Signifikanz	0,612	0,240	0,722
a. Kruskal-Wallis-Test			
b. Gruppenvariable: Kategorien Schuldienst Lehrkräfte			

Hier konnte kein signifikanter Unterschied gezeigt werden. Demnach hat die Unterrichtserfahrung keinen Einfluss auf die Modellvorstellungen der Probanden. Es zeigt sich, dass sich die Modellvorstellungen durch Berufserfahrung und Alter der Probanden kaum mehr verändern.

Variable Anzahl der Semester der Studierenden

Zur Untersuchung von Unterschieden im Hinblick auf die *Semesteranzahl* wurde diese in drei Kategorien geteilt:

1. Studienanfänger (1. - 2. Semester)
2. Bachelorstudierende (3. - 6. Semester)
3. Masterstudierende (7.- 12. Semester)

Es kann bei den Studierenden nur für die dritte Hauptkomponente ein signifikanter Unterschied gezeigt werden (vgl. Tabelle 20). Es zeigt sich, dass die Studienanfänger sich in ihren Ansichten in Bezug zur Rolle des Modellentwicklers signifikant von denen der anderen Studierenden unterscheiden, diese sehen weniger die Rolle des Modellentwicklers Idee zu konstruieren, zu prüfen oder zu verändern. Insgesamt kann jedoch nicht gezeigt werden, dass die Anzahl der Semester einen Einfluss auf ein wissenschaftlicheres Modellverständnis der Studierenden hat.

Tabelle 20: Kruskal-Wallis-Test Hauptkomponenten Anzahl der Semester der Studierenden

Ränge			
	Anzahl der Semester Studierende	n	Mittlerer Rang
Bezug der Modelle zur Realität	Studienanfänger	26	45,37
	Bachelorstudierende	27	47,83
	Masterstudierende	46	53,89
	Gesamt	99	
Rolle der Idee	Studienanfänger	24	40,90
	Bachelorstudierende	27	47,80
	Masterstudierende	46	53,93
	Gesamt	97	
Rolle des Modellentwicklers	Studienanfänger	26	35,94
	Bachelorstudierende	26	51,38
	Masterstudierende	46	56,10
	Gesamt	98	
Statistik für Test ^{a,b}			
	Bezug der Modelle zur Realität	Rolle der Idee	Rolle des Modellentwicklers
Chi-Quadrat	1,725	3,564	8,745
df	2	2	2
Asymptotische Signifikanz	0,422	0,168	0,013
a. Kruskal-Wallis-Test			
b. Gruppenvariable: Anzahl der Semester Studierende			

5.3.6. Zusammenfassung der Ergebnisse zum Modellverständnis

Die Modellvorstellungen können vorwiegend einem relativistischen Wissenschaftsverständnis zugeordnet werden, in der die modellhafte Realität im Mittelpunkt steht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Modellvorstellungen überwiegend während der Schulzeit gebildet werden und sich kaum durch das Studium oder durch die Berufserfahrung verändern. Unterschiede können nur in Zusammenhang mit dem Unterrichtseinsatz in der Oberstufe gezeigt werden.

Die Reliabilitätsanalyse zeigt nur für die erste Hauptkomponente eine akzeptable Homogenität der Items. Für die Hauptkomponenten zwei und drei müssen die Werte als sehr kritisch angesehen werden. Es zeigte sich, dass mit den Items zum Modellverständnis eher kein valider und reliabler Fragebogen zum Modellverständnis konstruiert werden kann.

5.3.7. Ergebnisse zum modellbezogenen Fachwissen

Die Auswertung des molekülbezogenen Fachwissens erfolgte über ein Punktesystem, wobei zu jedem Molekülmodell drei Aussagen angegeben waren. Für jede korrekte Aussage wurde ein Punkt vergeben, wobei auch die Ablehnung einer Aussage eine korrekte Antwort sein kann. Durchschnittlich werden bei den einzelnen Moleküldarstellungen 2 Punkte der maximal 3 Punkte erreicht. Die meisten korrekten Antworten konnten, wie Tabelle 21 zeigt, zum Elektronenabstoßungsmodell, die wenigsten korrekten Antworten zum Kalottenmodell angegeben werden.

Tabelle 21: Mittelwerte/Median zu den untersuchten Molekülmodellen für die Gesamtstichprobe n = 212

	Kugel-Stab-Modell	Kalottenmodell	Strukturformel	Lewisformel	Orbitalmodell	VSEPR-Modell
M.-Wert	2,00	1,46	2,15	2,45	1,89	2,54
Median	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	3,00

Beim Vergleich von Studierenden und Lehrkräften können wie, Tabelle 22 zeigt, nur bei der Strukturformel und dem Elektronenabstoßungsmodell signifikante Unterschiede gezeigt werden. Die Kenntnisse der Studierenden sind demnach bei den Aussagen zu der Strukturformel und dem VSEPR-Modell signifikant geringer als bei den erfahrenen Lehrkräften. Bei den anderen Molekülmodellen ergeben sich zwischen den beiden Gruppen keine Unterschiede.

Tabelle 22: Vergleich modellbezogene Fachwissen von Studierenden und erfahrenen Lehrkräften

Ränge						
	Lehrkraft oder Student	N	Mittlerer Rang			
Kugel-Stab-Modell	Lehrer	102	105,62			
	Student	104	101,42			
	Gesamt	206				
Kalottenmodell	Lehrer	101	103,02			
	Student	96	94,77			
	Gesamt	197				
Strukturformel	Lehrer	102	116,51			
	Student	106	92,94			
	Gesamt	208				
Lewisformel	Lehrer	89	94,84			
	Student	106	100,65			
	Gesamt	195				
Orbitalmodell	Lehrer	88	94,04			
	Student	105	99,48			
	Gesamt	193				
VSEPR	Lehrer	85	103,12			
	Student	106	90,29			
	Gesamt	191				
Statistik für Test ^{a,b}						
	Kugel-Stab-Modell	Kalottenmodell	Strukturformel	Lewisformel	Orbitalmodell	VSEPR – Modell
Chi-Quadrat	0,288	1,356	13,439	0,663	0,587	3,878
df	1	1	1	1	1	1
Asymptotische Signifikanz	0,591	0,244	0,000	0,415	0,443	0,049

Für eine differenzierte Auswertung des Fachwissens wurde für die Gesamtgruppe (n = 212) die Anzahl der korrekten Antworten in Prozent ermittelt, die Ergebnisse werden in der Tabelle 23 dargestellt. Etwa 20 % der Lehrkräfte hatten im Online-Fragebogen die letzte Seite nicht beantwortet. Für die Lewisformel, Orbitalmodell und VSEPR sind entsprechend weniger Antworten vorhanden. Die Kenntnisse der Probanden zu den unterrichtsrelevanten Modellen lassen sich wie folgend zusammenfassen.

Kenntnisse zum Kugel-Stab-Modell

Es zeigt sich (siehe Tabelle 23), dass die Kenntnisse zum Kugel-Stab-Modell im Wesentlichen auf der freien Drehbarkeit um die C-C Einfachbindung beruhen. Zu den Aussagemöglichkeiten des Modells in Bezug zu Bindungswinkel und Bindungslängen stimmten 55 % der Probanden der Definition aus dem Chemieschulbuch zu. Ein signifikanter Unterschied zwischen erfahrenen Lehrkräften und Studierenden

kann nicht gezeigt werden. Die Aussagemöglichkeit zur Raumerfüllung bzw. äußeren Form des Moleküls mit dem Kugel-Stab-Modell wird teilweise überschätzt.

Kenntnisse zum Kalottenmodell

Die Kenntnisse zum Kalottenmodell sind mit einem Median von 1,00 am Geringsten. So gaben nur 62 % der Befragten an, dass die Kalotten Elektronenpaarbindungen darstellen. 13 % der Probanden konnten angeben, dass mit dem Kalottenmodell auch Aussagen zu Bindungswinkel und Bindungslängen möglich sind. Es kann ein tendenziell signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($U = 4388,00$, $Z = -1,962$, $p = 0,05$) gezeigt werden. Demnach besitzen Studierende tendenziell weniger Kenntnisse zu den Aussagemöglichkeiten von Bindungslänge und Bindungswinkel. Die Kenntnisse zum Kalottenmodell basieren in erster Linie darauf, dass mit diesem die Raumerfüllung von Molekülen möglich ist.

Kenntnisse zur Strukturformel und Lewisformel

Die begriffliche Unterteilung in Strukturformel und Lewisformel erfolgte in erster Linie, um die Kenntnisse zur Keilstrichformel zu untersuchen. Aus der Pilotierung ging hervor, dass diese eher weniger im Zusammenhang mit dem Begriff Lewisformel gesehen wird. Sie ist eine Symbolschreibweise, mit der der Aufbau eines Moleküls unter Angabe der Valenzelektronen beschrieben wird. Dieser Zusammenhang ist jedoch nur 55 % der Probanden bekannt. Unterschiede hierzu können zwischen Lehrkraft und Studierendem nicht gezeigt werden ($U = 4201,00$, $Z = -1,527$, $p = 0,127$). Bei der Strukturformel geben signifikant häufiger Studierende an, dass nur eine zweidimensionale Darstellung eines Moleküls möglich sei ($U = 4162,00$, $Z = -3,313$, $p = 0,001$). Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Studierenden Item 7 und Item 8 im Zusammenhang gesehen haben (vgl. Tabelle 23). Wenn nur eine zweidimensionale Darstellung möglich ist, dann kann keine räumliche Darstellung erfolgen. Die Keilstrichformel wurde von den Lehrkräften dagegen eher als eine Erweiterung der Strukturformel gesehen.

Kenntnisse zum Orbitalmodell

Das Orbitalmodell wird von 63 % der Probanden als eine Beschreibung der Elektronenverteilung um den Kern verstanden. Nur 54 % der Befragten sind der Meinung, dass mit dem Orbitalmodell chemische Bindungen plausibel erklärt werden können. Ein deutlich größerer Anteil (73 %) stimmt der Aussage zu, dass mit dem Orbitalmodell der Aufbau von Atomen verständlich dargestellt werden kann. Signifikante Unterschiede in den Kenntnissen von Lehrkräften und Studierenden können nicht gezeigt werden.

Kenntnisse zum Elektronenabstoßungsmodell (VSEPR)

Das VSEPR-Modell wird in erster Linie als Mittel zur Vorhersage von Molekülgeometrien gesehen. Unterschiede lassen sich in der Auffassung zeigen, ob mit dem Modell die dichteste Kugelpackung erklärt werden könne. Dieser Aussage stimmen Lehrkräfte deutlich weniger zu ($U = 3940,00$, $Z = -2,566$, $p = 0,010$). 21 % der Befragten sind der Meinung, dass sich die Oktettregel mit dem Modell herleiten lasse. Lehrkräfte und Studierende zeigen in ihren Ansichten zur Oktettregel keine signifikanten Unterschiede ($U = 4235,00$, $Z = -1,188$, $p = 0,235$).

Tabelle 23: Auswertung zum modellbezogenen Fachwissen von Lehrkräften und Studierenden.

Aussagen (n = 212)	Korrekte Antwort
1. Das Kugel-Stab-Modell gibt die Bindungswinkel und Bindungslängen sehr anschaulich wieder. *	55 %
2. Das Kugel-Stab-Modell zeigt die freie Drehbarkeit um die C-C-Einfachbindung.	83 %
3. Das Kugel-Stab-Modell gibt gut die Raumerfüllung und damit die äußere Form der Moleküle wieder.	62 %
4. Im Kalottenmodell entsprechen die sich teilweise durchdringenden Kugeln einer Elektronenpaarbindung.	64 %
5. Im Kalottenmodell werden Bindungslängen und Bindungswinkel maßstabgerecht wiedergegeben.	13 %
6. Im Kalottenmodell wird die Raumerfüllung von Molekülen besonders deutlich.	70 %
7. Mit der Strukturformel ist nur eine zweidimensionale Darstellung von Molekülen möglich.	68 %
8. Mit der Strukturformel lässt sich durch geschwärzte Keile und Strichkeile eine 3D-Struktur darstellen.	75 %
9. Mit der Strukturformel lässt sich besonders gut die Kristallstruktur darstellen.	92 %
10. In der Lewisformel werden Bindungslängen zwischen den Kohlenstoffatomen angezeigt.	94 %
11. In der Lewisformel werden alle bindenden und freien Elektronenpaare angezeigt.	96 %
12. In der Lewisformel wurde das Molekül auf die Papierebene projiziert.	55 %

Aussagen (n = 212)	Korrekte Antwort
13. Das Orbitalmodell liefert einen Ansatz, der den Aufbau von Atomen verständlich widerspiegelt.	72 %
14. Das Orbitalmodell liefert einen Ansatz, der die quantitative Beschreibung von Elektronen im elektrischen Feld eines Atomkerns ermöglicht.	63 %
15. Das Orbitalmodell liefert einen Ansatz, mit dem chemische Bindungen plausibel erklärt werden.	54 %
16. Mit dem Elektronenpaarabstoßungsmodell lässt sich die dichteste Kugelpackung erläutern.	84 %
17. Mit dem Elektronenpaarabstoßungsmodell lässt sich die Oktettregel ableiten.	79 %
18. Mit dem Elektronenpaarabstoßungsmodell lassen sich Molekülgeometrien vorhersagen.	90

* Bei der Frage 1 wurde nicht die korrekte Antwort ermittelt, sondern wie viele der Schulbuchdefinition zustimmten

Unterschiede in den Kenntnissen zeigen sich in der Gesamtgruppe in der Kategorie Alter bei der Lewisformel, sowie tendenziell beim VESPR-Modell. Die Gruppe der 40 bis 44 jährigen scheint zur Lewisformel ($\chi^2 = 11,108$, $df = 4$, $p = 0,025$) weniger Kenntnisse zu besitzen. Die Gruppe der Probanden der Alterskategorie 40 bis 44 Jahre ist jedoch mit 12,7 % eher klein. Das Ergebnis sollte daher mit Vorbehalt gesehen werden. Beim VESPR-Modell können die Unterschiede bei den unter 24 jährigen gezeigt werden ($\chi^2 = 9,864$, $df = 4$, $p = 0,043$), diese erreichten tendenziell weniger Punkte. In der Gruppenvariable zweites Unterrichtsfach wurden die Probanden mit dem Zweitfach Biologie und Mathematik untersucht. Es ergaben sich Unterschiede beim VESPR-Modell ($U = 1026,200$, $Z = -2,228$, $p = 0,026$) und der Strukturformel ($U = 1259,00$, $Z = -2,052$, $p = 0,040$). Zu beiden Molekülmodellen besitzen Probanden mit dem Zweitfach Mathematik ein geringeres fachliches Wissen als Probanden mit dem Zweitfach Biologie. In der Gruppenvariable Geschlecht konnten kein Unterschied gezeigt werden.

5.3.8. Ergebnisse zum modellbezogenen Fachwissen der Lehrkräfte

Bezüglich des modellbezogenen Fachwissens konnten keine Unterschiede bei den Lehrkräften aufgrund ihres Amtstitels gezeigt werden. Bei der Schulform wurde die Gruppe der Realschullehrkräfte wegen der geringen Probandenanzahl nicht berücksichtigt. Es erfolgte nur ein Vergleich der Gymnasiallehrkräfte und der Gesamtschullehrkräfte. Hier zeigt sich nur zur einer Aussage ein Unterschied, demnach ist den Gesamtschullehrkräften die Keil-Strich-Formel weniger präsent ($\chi^2 = 8,898$, $df = 1$, $p =$

0,003). Auch in der Kategorie Unterrichtserfahrung können insgesamt keine Unterschiede aufgezeigt werden (vgl. Tabelle 24). Nur beim Kalottenmodell und der Lewisformel zeigen sich bei einer Aussage Unterschiede. Demnach haben die Lehrkräfte mit mehr als 15 Jahren Berufserfahrung geringere Kenntnisse zum Kalottenmodell und der Lewisformel.

Tabelle 24: Kruskal-Wallis Test Moleküldarstellungen und Variable Unterrichtserfahrung

	χ^2	df	p-Wert
Kugel-Stab-Modell	0,270	2	0,874
Kalottenmodell	7,653	2	0,022
Strukturformel	0,809	2	0,667
Lewisformel	7,367	2	0,025
Orbitalmodell	4,652	2	0,098
VSEPR	1,623	2	0,444

Insgesamt kann nicht gezeigt werden, dass sich das fachliche Wissen zu den schulrelevanten Moleküldarstellungen verändert. Die Unterschiede lassen sich nur zu einzelnen Aussagen zeigen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Unterrichtserfahrung keinen relevanten Einfluss auf das molekulare Fachwissen der Lehrkräfte hat.

5.3.9. Ergebnisse zum modellbezogenen Fachwissen der Studierenden

Betrachtet man die Daten der Studierenden, zeigt sich, dass sich das Fachwissen zu den Moleküldarstellungen während des Studiums nicht verändert (siehe Tabelle 25).

Tabelle 25: Kruskal Wallis Test modellbezogene Fachwissen und Anzahl der Semester

	χ^2	df	p-Wert
Kugel-Stab-Modell	0,100	2	0,951
Kalottenmodell	1,228	2	0,541
Strukturformel	2,434	2	0,296
Lewisformel	2,016	2	0,365
Orbitalmodell	4,296	2	0,117
VSEPR	3,060	2	0,217

5.3.10. Ergebnisse zu den Kenntnissen zur Formelschreibweise

Die Studierenden besitzen gute Kenntnisse zu den Formelschreibweisen. In der Regel traten Fehler durch Weglassen von Wasserstoffatomen auf, sodass die Zeichnungen nur als teilweise korrekt gewertet wurden. Nur zur Halbstrukturformel konnten die Studierenden mit 45 % die wenigsten korrekten Antworten angeben (vgl. Tabelle 26). Es wurde hierbei die Halbstrukturformel oft mit der Summenformel verwechselt. Bei der Skelettform wurde, wie Abbildung 19 zeigt, häufig das erste und letzte C-Atom eingezeichnet, sodass eine Mischform aus Strukturformel und Skelettformel entstand.

Tabelle 26 Angabe der korrekten Antworten der Studierenden zur Formelschreibweise in Prozent. Die Berechnung erfolgte aus der Datenbank Studierende.

Formelschreibweise	Korrekte Antworten
Sesselform	83 %
Skelettform	59 %
Halbstrukturformel	45 %
Strukturformel	65 %

33. Zeichnen Sie das Propanmolekül als Skelettform.



Abbildung 19: T58 Darstellung der Skelettschreibweise in Mischform

Es kann mit dem Kruskal-Wallis-Test (vgl. Tabelle 27) gezeigt werden, dass bei den Kenntnissen in allen vier Formelschreibweisen signifikante Unterschiede zwischen den Studierenden verschiedener Studienphasen bestehen. Hier bedeutet ein hoher mittlerer Rang, dass weniger korrekte Antworten angegeben wurden (Codierung: 1 = korrekte Antwort, 2 = teilweise korrekte Antwort, 3 = keine korrekte Antwort). Dementsprechend nehmen die Kenntnisse zur Formelschreibweise während des Studiums signifikant zu. Die Kenntnisse der Studierenden im dritten bis sechsten Semester sind dabei am größten, wobei nach Studienplan die organische Chemie vor allem in diesem Studienabschnitt gelehrt wird.

Tabelle 27: Kruskal-Wallis-Test zum fachbezogenen Wissen der Formelschreibweisen und der Semesterzahl.

Ränge			
	Semester	n	Mittlerer Rang
Kenntnisse zur Formelschreibweise	Studienanfänger (1.- 2. Sem.)	26	75,77
	Bachelor (3. - 6. Sem.)	28	33,52
	Master (7.- 12. Sem.)	48	48,84
	Gesamt	102	
Statistik für Test^{a,b}			
			Kenntnisse zur Formelschreibweise
Chi-Quadrat			29,612
df			2
Asymptotische Signifikanz			0,000

Nur zur Halbstrukturformel zeigt sich kein signifikanter Unterschied (vgl. Tabelle 28). Aufgrund der häufigen Verwechslung der Halbstrukturformel mit der Summenformel ist zu vermuten, dass der Begriff Halbstrukturformel weniger bekannt ist.

Tabelle 28: Kruskal-Wallis-Test zur Formelschreibweise und Semesteranzahl

Ränge				
	Semester	n	Mittlerer Rang	
Sesselform	Studienanfänger (1.- 2. Sem.)	26	68,65	
	Bachelor (3. - 6. Sem.)	28	44,39	
	Master (7.- 12. Sem.)	48	46,35	
	Gesamt	102		
Skelettform	Studienanfänger (1.- 2. Sem.)	26	68,21	
	Bachelor (3. - 6. Sem.)	28	40,29	
	Master (7.- 12. Sem.)	48	48,99	
	Gesamt	102		
Halbstrukturformel	Studienanfänger (1.- 2. Sem.)	26	59,19	
	Bachelor (3. - 6. Sem.)	28	43,32	
	Master (7.- 12. Sem.)	48	52,10	
	Gesamt	102		
Strukturformel	Studienanfänger (1.- 2. Sem.)	26	68,98	
	Bachelor (3. - 6. Sem.)	28	38,02	
	Master (7.- 12. Sem.)	48	49,90	
	Gesamt	102		
Statistik für Test ^{a,b}				
	Sesselform	Skelettform	Halbstrukturformel	Strukturformel
Chi-Quadrat	26,900	17,338	5,077	21,247
df	2	2	2	2
Asymptotische Signifikanz	0,000	0,000	0,079	0,000

5.3.11. Erklärungen der Van-der-Waals-Kräfte der Studierenden

Die Erklärungen der Chemie-Lehramtsstudierenden zu den Van-der-Waals-Kräften konnten in vier Kategorien eingeteilt werden. In der ersten Kategorie (Abbildung 20) wurden Zeichnungen zusammengefasst, die nur einzelne Moleküle darstellen. Die Van-der-Waals Kräfte werden nicht als Interaktion zwischen Molekülen gesehen. Teilweise wurden auch Wasserstoffbrückenbindungen gezeichnet. 16 Probanden (15 %) fielen in diese Kategorie.

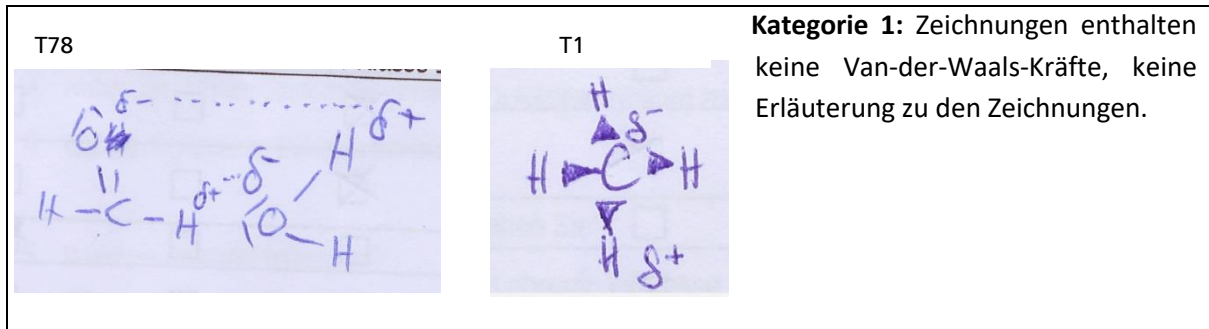


Abbildung 20: Zeichnungen der Kategorie 1

In der zweiten Kategorie (Abbildung 21) wurde erkannt, dass es sich um intermolekulare Kräfte handelt. Die Vorstellung darüber, wie diese entstehen, ist jedoch inadäquat. Die Erklärung erfolgte, indem an den Enden einer in Skelettforn gezeichneten Verbindung eine positive und negative Teilladung eingezeichnet wurde. Teilweise wurden auch nur abstrakte Hüllen gezeichnet, die am Ende eine positive beziehungsweise negative Teilladung besitzen. Auch hier wurden keine Erläuterungen gegeben. Insgesamt konnten 12 Probanden (11 %) dieser Kategorie zugeordnet werden.

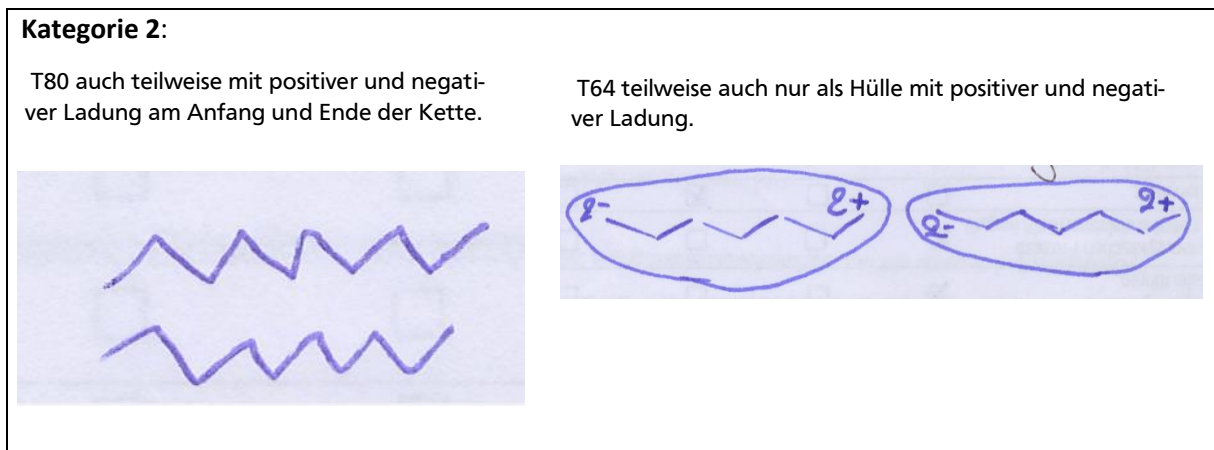


Abbildung 21: Zeichnungen der Kategorie 2

In der dritten Kategorie erkannten die Studierenden, dass innerhalb des Moleküls Teilladungen auftreten. Nur bei einer Zeichnung der Kategorie 3 (Abbildung 22) wurde der Begriff induzierter Dipol genannt. Die Zeichnungen zeigen, dass es sich um intermolekulare Kräfte handelt. Die Darstellungen lassen vermuten, dass die Anziehungen zwischen den Kohlenstoffatomen entstehen. Es konnten 12 Probanden (11 %) dieser Antwortkategorie zugeordnet werden.

Kategorie 3:

T38 Einziger mit den Begriff induzierter Dipol.

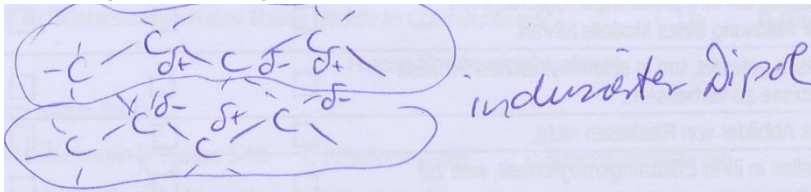


Abbildung 22: Zeichnungen der Kategorie 3

Lediglich 9 Probanden (8 %) erklärten die van der Waals Kräfte in Form einer Elektronenwolke, wobei erkannt wurde, dass es zu Ladungsverschiebungen kommt (Abbildung 23). Es gaben jedoch nur zwei Probanden kurze Erklärungen in Form eines kurzen Textes an. Drei nannten die Begriffe induzierter Dipol oder temporärer Dipol.

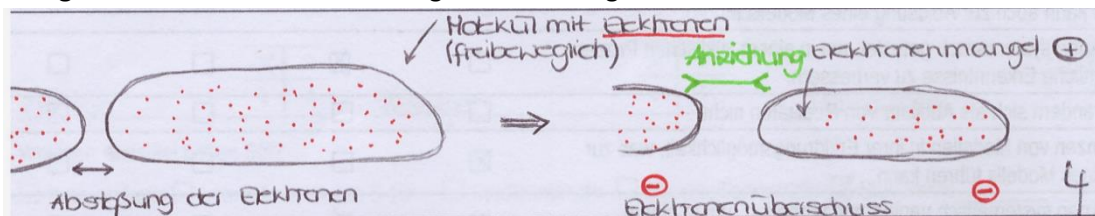
Kategorie 4: T69 mit einer Erklärung der Zeichnung

Abbildung 23: Zeichnungen der Kategorie 4

Die Antworten zeigen, dass die Darstellungsform zur Erklärung der Van der Waals Kräfte bevorzugt mit der Strukturformel bzw. Skelettform erfolgte. Nur die Kategorie 4 zeigt eine Darstellung mit einer Elektronenwolke. 59 (55 %) der Befragten gaben keine Antwort an (vgl. Tabelle 29). Es können keine signifikanten Unterschiede zwischen Studienanfängern, Bachelorstudierenden oder Masterstudierenden gezeigt werden ($\chi^2 = 4,850$, $df = 2$, $p = 0,088$).

Tabelle 29: Darstellungsweisen der molekularen Vorstellung zu den Van-der-Waals-Kräfte der Studierenden

Kategorie	Studierende	Studierende
1	16	15 %
2	12	11 %
3	12	11 %
4	9	8 %
Keine Antwort	59	55 %

5.3.12. Erklärungen der V.d.W.K. durch erfahrene Lehrkräfte

Von den 104 befragten Lehrkräften hatten 48 (46 %) keine Antwort angegeben. Insgesamt entsprachen zwei Erklärungen der Kategorien 1 und 2 der Studierenden. Die Erklärungen der Lehrkräfte lassen sich danach unterscheiden, ob diese auf der makroskopischen Ebene, der submikroskopischen Ebene oder formalen Ebene erfolgte. Der Amtstitel ($\chi^2 = 0,140$, $df = 3$, $p = 0,987$), die Schulform ($\chi^2 = 0,407$, $df = 1$, $p = 0,523$), die Unterrichtserfahrung ($\chi^2 = 0,910$, $df = 2$, $p = 0,634$), das Geschlechts ($\chi^2 = 0,029$, $df = 1$, $p = 0,864$) oder das zweite Unterrichtsfach ($\chi^2 = 6,618$, $df = 5$, $p = 0,0,251$) hatten keinen Einfluss auf die molekularen Erklärungsweisen der Lehrkräfte.

Makroskopische Ebene

Hier wurden Erklärungen zusammengefasst, welche die Van-der-Waals-Kräfte über Modellexperimente oder Analogien erklärten. So wurden die Kräfte mit dem Zusammenkleben von Spaghetti oder den Aufbau der Füße vom Gecko erklärt. Die Analogien mit Legosteinen oder Luftballons wurden nicht genauer beschrieben. Insgesamt konnten dieser Kategorie 25 Lehrkräfte (24 %) zugeordnet werden.

Submikroskopische Ebene

Hier erfolgte die Erklärung über verschiedene Molekülmodelle. Insgesamt konnten dieser Kategorie 14 Lehrkräfte (13 %) zugeordnet werden (vgl. Tabelle 30, 1. Spalte). In diesem Zusammenhang waren die vorher eingeführten Modelle von Interesse (Tabelle 30, 2. Spalte). Es konnten dabei mehrere Modelle genannt werden. 87 % der Lehrkräfte gab an, das Schalenmodell im Vorfeld eingeführt zu haben, zu Erklärungszwecken der Kräfte genutzt hat es ein Proband. Das Kern-Hülle-Modell und das Kalottenmodell wurden von jeweils drei Lehrkräften für die molekulare Erklärung genannt, jedoch wurden diese Modelle vorher nicht im Unterricht eingeführt. Ein Zusammenhang zwischen der Thematisierung der Modelle im Unterricht und der Verwendung für die molekulare Erklärung der Van-der-Waals-Kräfte kann nicht gezeigt werden. Insgesamt scheint eine Erklärung auf submikroskopischer Ebene eher weniger zu erfolgen.

Tabelle 30: Modelle, die zur Erklärung der van der Waals Bindungen von den Lehrkräften genutzt wurden

	Anzahl der Lehrkräfte, die Molekülmodelle angaben	Modelle die vor der Einführung der v. d. W. Kräfte eingeführt	
		Anzahl	Prozent
VSEPR-Modell	2	39	38 %
Kern-Hülle-Modell	3	Wurde nicht genannt	
Kugel-Wolken-Modell	4	42	40 %
Schalenmodell (Bohr)	1	90	87 %
Kalottenmodell	3	Wurde nicht genannt	
Kugel-Stab-Modell	0	Wurde nicht genannt	
Orbitalmodell	1	21	20 %

Es konnten keine Unterschiede im Zusammenhang mit den Variablen Geschlecht, zweites Unterrichtsfach, Amtstitel, Schulform oder Unterrichts erfahrung gezeigt werden. Diese haben dementsprechend keinen Einfluss darauf, welche Molekülmodelle vor den Van-der-Waals-Kräften eingeführt werden.

Formale Ebene

Hier wurden Erklärungen zusammengefasst, die über die Strukturformel erfolgten, ohne dass auf die induzierten oder temporären Dipole explizit eingegangen wurde. Dieser Kategorien wurden auch Erklärungen zugeordnet, die sehr allgemein gefasst waren wie zum Beispiel Aussage T2: „Wechselwirkungen mit anderen Atomen.“ oder eine Definition der Van-der-Waals-Kräfte bzw. des induzierten Dipols angaben. Insgesamt konnten der formalen Ebene 17 Lehrkräfte (16 %) zugeordnet werden.

Bei der Frage, mit welchem Modell die Wasserstoffbrückenbindung (WSB) erklärt werden kann, zeigte sich kein einheitliches Bild (vgl. Tabelle 31). Insgesamt kann jedoch gezeigt werden, dass die erfahrenen Lehrkräfte eher weniger der Meinung sind, dass intermolekulare Kräfte auf molekularer Ebene zu erklären sind.

Tabelle 31: Modelle, mit der die Lehrkräfte die Wasserstoffbrückenbindung erklären

	Stimmen zu		Stimmen nicht zu	
	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
Schalenmodell nach Bohr	28	27 %	65	62 %
Kugelwolkenmodell	31	30 %	62	60 %
VSEPR	44	42 %	49	47 %
Orbitalmodell	33	32	58	56%

* Es konnten mehrere Modelle angegeben werden

Dabei hatte das Geschlecht, die Unterrichtserfahrung, Amtstitel oder die Schulform keinen Einfluss auf die Meinung der Lehrkräfte. Es zeigt sich jedoch, dass Biologielehrkräfte eher Modelle zur Erklärung der Wasserstoffbrückenbindung nutzen als Mathematiklehrkräfte (vgl. Tabelle 32).

Tabelle 32: Kruskal-Wallis-Test; Verwendung von Modellen zur Erklärung der WBB und Zweitfach

Ränge				
	zweite Unterrichtsfach	n	Mittlerer Rang	
Die WSB lässt sich mit dem Schalenmodell nach Bohr erklären.	Biologie	87	67,18	
	Mathematik	37	51,50	
	Gesamt	124		
Die WSB lässt sich dem Kugelwolkenmodell erklären.	Biologie	87	66,89	
	Mathematik	37	52,18	
	Gesamt	124		
Die WSB lässt sich mit dem VSEPR Modell erklären.	Biologie	87	67,27	
	Mathematik	37	51,28	
	Gesamt	124		
Die WSB lässt sich mit dem Orbitalmodell erklären.	Biologie	87	68,25	
	Mathematik	37	48,99	
	Gesamt	124		
Statistik für Test^{a,b}				
	Die WSB lässt sich mit dem Schalenmodell nach Bohr erklären.	Die WSB lässt sich dem Kugelwolkenmodell erklären.	Die WSB lässt sich mit dem VSEPR Modell erklären.	Die WSB lässt sich mit dem Orbitalmodell erklären.
Chi-Quadrat	5,938	5,245	6,090	9,047
df	1	1	1	1
Asymptotische Signifikanz	0,015	0,022	0,014	0,003
a. Kruskal-Wallis-Test				
b. Gruppenvariable: zweite Unterrichtsfach				

Es zeigt sich, dass mit zunehmenden Alter die Ansicht abnimmt, mit Modellen die Wasserstoffbrückenbindung erklären zu können (s. Tabelle 33).

Tabelle 33: Kruskal-Wallis Test, Verwendung von Modellen zur Erklärung der WBB und Alter

	Ränge		
	Alterskategorien	n	Mittlerer Rang
Die WSB lässt sich mit dem Schalenmodell nach Bohr erklären.	<24	79	53,50
	25-29	26	69,85
	30-34	18	130,61
	35-39	1	165,50
	40-44	16	137,44
	45-49	15	159,50
	50-54	17	152,26
	55-59	15	147,50
	>60	9	150,50
	Gesamt	196	
Die WSB lässt sich dem Kugelwolkenmodell erklären.	<24	79	53,50
	25-29	26	75,33
	30-34	18	124,28
	35-39	1	122,00
	40-44	16	130,31
	45-49	15	152,00
	50-54	17	161,71
	55-59	15	155,00
	>60	9	147,00
	Gesamt	196	
Die WSB lässt sich mit dem VSEPR Modell erklären.	<24	79	53,50
	25-29	26	73,02
	30-34	18	121,44
	35-39	1	128,00
	40-44	16	146,81
	45-49	15	149,00
	50-54	17	154,47
	55-59	15	146,00
	>60	9	163,00
	Gesamt	196	
Die WSB lässt sich mit dem Orbitalmodell erklären.	<24	79	54,00
	25-29	26	72,60
	30-34	18	125,75
	35-39	1	124,00
	40-44	16	140,28

Ränge				
	Alterskategorien	n	Mittlerer Rang	
	45-49	15	153,67	
	50-54	17	151,29	
	55-59	15	150,70	
	>60	9	153,67	
	Gesamt	196		
Statistik für Test ^{a,b}				
	Die WSB lässt sich mit dem Schalenmodell nach Bohr erklären.	Die WSB lässt sich dem Kugelwolkenmodell erklären.	Die WSB lässt sich mit dem VSEPR Modell erklären.	Die WSB lässt sich mit dem Orbitalmodell erklären.
Chi-Quadrat	151,658	146,666	147,255	144,837
df	8	8	8	8
Asymptotische Signifikanz	0,000	0,000	0,000	0,000
a. Kruskal-Wallis-Test				
b. Gruppenvariable: Alterskategorien				

5.3.13. Zusammenfassung der Ergebnisse zu den modellbezogenen Kenntnissen der Lehrkräfte und Studierenden.

Es kann gezeigt werden, dass sich die modellbezogenen Kenntnisse sowohl bei den erfahrenen Lehrkräften als auch den Chemie-Lehramtsstudierenden gleichermaßen auf einzelne Aspekte der Modelle beziehen. So ist beim Kugel-Stab-Modell vor allem die freie Drehbarkeit um die C-C-Einfachbindung von Bedeutung. Aussagemöglichkeiten der Modelle zu den Bindungswinkeln und Bindungslängen sind weniger bekannt. Dies wird besonders deutlich beim Kalottenmodell. Hier zeigen sich insgesamt die geringsten Kenntnisse zu den Aussagemöglichkeiten, diese beschränken sich im Wesentlichen auf die Möglichkeit der Veranschaulichung der Raumerfüllung. Bei den Kenntnissen zu der Strukturformel bzw. Lewisformel wird deutlich, dass der Bezug, der zwischen der symbolischen Darstellung der Formel und dem Aufbau des Moleküls besteht, häufig nicht erkannt wird.

Es können bei den modellbezogenen Kenntnissen kaum Unterschiede zwischen den erfahrenen Lehrkräften und den Chemie-Lehramtsstudierenden gezeigt werden. Innerhalb des Studiums kommt es bei den Studierenden zu keinen Veränderungen der Kenntnisse. Es ist daher zu vermuten, dass diese während der Schulzeit gebildet werden. Gleichzeitig ist bei den erfahrenen Lehrkräften keine Veränderung der Kenntnisse aufgrund der Unterrichtserfahrung festzustellen. Im Gegensatz zum modellbezogenen Fachwissen kann zu den Formelschreibweisen eine Zunahme des Fachwissens während der universitären Ausbildung gezeigt werden. Diese nimmt demnach eine größere Rolle in der Fachausbildung ein als das modellbezogene Fachwissen.

Zu den Van-der-Waals-Kräften besitzen die Studierenden zwar ein formales Verständnis, jedoch sind ihre molekularen Vorstellungen oft inadäquat. Die Darstellungsform erfolgt bis auf wenige Ausnahmen

über die Skelettschreibweise, der temporäre Dipol wird in den meisten Erklärungsansätzen nicht deutlich. Auffällig ist der hohe Anteil an Probanden beider Gruppen, die keine Erklärung angaben. Dies kann nicht mit dem Aufbau des Fragebogens erklärt werden, da sehr häufig sowohl die Fragen davor als auch danach beantwortet wurden. In den Erklärungsansätzen der erfahrenen Lehrkräfte zeigt sich, dass vor allem Analogien und Modellexperimente sowie Definitionen und formale Darstellungen eingesetzt werden. Molekulare Erklärungen für intermolekulare Kräfte werden insgesamt selten genutzt, wobei kein Zusammenhang zwischen den im Unterricht thematisierten Modellen und der in den Erklärungen verwendeten Modelle gezeigt werden kann.

5.3.14. Ergebnisse zum Verständnis von Modellexperimenten

Wie aus Tabelle 34 hervorgeht, werden Modellexperimente eher als Vereinfachung von chemischen Prozessen gesehen, die bestimmte Teilaspekte hervorheben. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Veranschaulichung der submikroskopischen Ebene. 26 % der Probanden konnten keine Definition angeben. Zwischen den erfahrenen Lehrkräften und den Chemie-Lehramtsstudierenden konnte kein Unterschied gezeigt werden ($U = 5355,00$, $Z = -0,593$, $p = 0,553$). Auch in den anderen personenbezogenen Variablen traten keine Unterschiede auf, demnach haben Studium und Unterrichtserfahrung keinen Einfluss auf die Kenntnisse zu Modellversuchen.

Tabelle 34: Definition von Modellexperimenten

Kategorie	Zusammengefasste Definitionen n = 212	Anzahl	
1	Der Modellversuch wird als Vereinfachung von chemischen Prozessen (Realexperiment) gesehen. Vom Großen zum Kleinen.	45	21 %
2	Modellversuche werden in erster Linie darin gesehen, dass sie chemische Reaktionen im submikroskopischen Bereich veranschaulichen.	22	10 %
3	Modellversuche sollen bestimmte Teilaspekte von chemischen Prozessen hervorheben.	29	14 %
4	Modellversuche ermöglichen einen vereinfachten Zugang zu Konzepten und Ideen.	17	8 %
5	Hier wird eine allgemeine Definition beschrieben, die Möglichkeit das Unanschauliche zu visualisieren.	24	12 %
6	Definitionen, die nicht einer Kategorie zugeordnet werden konnten. <ul style="list-style-type: none"> • Definitionen des Begriffs Modell. • Gar nicht. Widerspruch in sich, Modell ungleich Versuch. • Versuche, die im Labor als Gedankenexperiment durchgeführt werden, um vereinfacht komplexe Prozesse zu erklären. • Vereinfachung und Veranschaulichung bestimmter naturwissenschaftlicher Aspekte sowie Entwicklung und Darstellung von Ideen der SuS. • Experiment, das ohne Chemikalien Teilaspekte organischer Reaktionen oder Vorgänge symbolhaft darstellt. 	20	9 %
7	Keine Antwort	55	26 %

Modellversuche werden vorwiegend zur Erklärung der Stoff-Struktur-Eigenschaft eingesetzt (64 %). Studierenden sehen den Einsatz von Modellversuchen zu diesem Thema häufiger als die erfahrenen Lehrkräfte ($\chi^2 = 7,135$, $df = 1$, $p = 0,008$). Von den 6 % die Modellversuche zur Veranschaulichung von großtechnischen Prozessen nutzen würden, sind der überwiegende Teil Studierende ($\chi^2 = 13,147$, $df = 1$, $p = 0,000$). Keinen Einfluss für die Wahl der Themengebiete haben das Alter, Geschlecht, Zweitfach, Amtstitel, Schulform und die Anzahl der Semester der Studierenden.

Tabelle 35: Themenbereiche zu denen Modellexperimente eingesetzt werden

Themenbereich	Beispiele	Probanden, die dem Einsatz zustimmen.	
		Anzahl	Prozent
Stoff-Struktur Eigenschaften	Modellversuche zur - chemischen Reaktion - Chem. Gleichgewicht - Dichte und Löslichkeit	135	64 %
Großtechnische Prozesse	Modellversuche zur - Ammoniaksynthese - Hochofen, Elektrolyse	12	6 %
Arbeitssicherheit	Modellversuche zur - Mehlstaubexplosion - Bau eines Feuerlöschers - Benzin-Luft-Gemische	3	1 %
Sachverhalt mit Bezug zur Lebenswelt	Modellversuche zur - Brennstoffzelle - Enzymwirksamkeit - Ozon	2	1 %
Generelle Aussage „Zu allen Themen der Chemie“		13	6 %
Keine Antwort		47	22 %

Modellversuch werden vor allem zum Stoff-Teilchen-Konzept und Gleichgewichts-Konzept eingesetzt (vgl. Tabelle 36), wobei etwa 40 % der genannten Beispiele keinen experimentellen Charakter aufweisen. 30 % der Probanden konnten keine Beispiele für ein Modellexperiment nennen. Unterschiede zeigen sich zum Stechhebersuch und Hochofenprozess; diese Beispiele werden von Studierenden signifikant häufiger genannt als von Lehrkräften ($\chi^2 = 0,106$, $df = 1$, $p = 0,000$, $\chi^2 = 6,382$, $df = 1$, $p = 0,012$). Für Lehrkräfte sind dagegen Teilchenmodelle häufiger Modellversuche ($\chi^2 = 11,011$, $df = 1$, $p = 0,001$). Insgesamt nennen jüngere und männliche Lehrkräfte am häufigsten den Stechhebersuch ($\chi^2 = 30,816$, $df = 8$, $p = 0,000$, $\chi^2 = 5,114$, $df = 1$, $p = 0,024$). Die Unterrichtserfahrung, Amtstitel, Zweitfach sowie die Schulform der Lehrkräfte haben keinen Bezug zu den aufgeführten Modellversuchen. Bei

den Studierenden kann nicht gezeigt werden, dass ihre Kenntnisse zu Modellexperimenten während des Studiums zunehmen.

Tabelle 36: Beispiele für Modellversuche

Modellversuche	Anzahl der Probanden die den Modellversuch nannten	
	Anzahl	Prozent
Apfelkrieg	19	9,0 %
Stechheberversuch	23	10,8 %
Ethanol/Wasser mit Linsen und Erbsen	45	21,2 %
Hochofen	6	2,8 %
Papprohrversuch Benzin/Luft	3	1,4 %)
Mehlstaubexplosion	2	0,9 %
Ölfleck	3	1,4 %
Thermitverfahren	4	2,4 %
Alkoholteströhrchen	5	1,9 %
Destillationsversuch	3	1,4 %
Osmoseversuch	6	2,8 %
Indigofärbung	2	0,9 %
Probanden, die keine Versuche, sondern nur Beispiele nannten.		
Denkmodelle: Teilchenmodell	47	22,2 %
Denkmodelle: Molekülmodelle	39	18,4 %
Oxidationsvorgänge	7	3,3 %
Lösungsvorgänge	5	2,4 %
Allgemein Gleichgewichtsvorgänge	15	7,1 %
Keine Antwort	70	33,0 %

* Es konnten mehrere Beispiele genannt werden

5.3.15. Ergebnisse zum Modellexperiment Ethanol-Wasser

Das Modellexperiment der Volumenkontraktion mit Wasser und Ethanol wird von 21 % der Probanden genannt, wobei dieses Experiment als Beispiel angegeben wurde. Die Ergebnisse der Tabelle 37 zeigen, dass 31 % der Befragten angeben die Diskussion und die verschiedenen Positionen zu kennen. Es zeigt sich, dass Lehrkräfte tendenziell häufiger diese Meinung vertreten ($\chi^2 = 3,876$, $df = 1$, $p = 0,049$). Eine Überprüfung, ob diese auch mit der didaktischen Forschung übereinstimmen, wurde im Fragebogen nicht ermittelt. Innerhalb der Gruppen treten keine Unterschiede auf ($\chi^2 = 5,543$, $df = 3$, $p = 0,136$). Keinen Einfluss auf die Kenntnisse zu diesem Modellversuch haben Geschlecht, Alter, Unterrichtsjahre oder Zweitfach. Studienanfängern gehen signifikant häufiger davon aus, dass der Versuch didaktisch korrekt ist, da er im Schulbuch steht ($\chi^2 = 19,183$, $df = 9$, $p = 0,024$). Wie aus Tabelle 37 hervorgeht, ist die Anzahl der Probanden die dieser Aussage zustimmen eher klein.

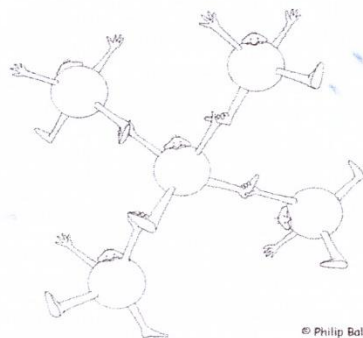
Tabelle 37: Didaktische Kenntnisse zum Modellversuch Ethanol/ Wasser im Zusammenhang mit der Teilchenvorstellung

Antwort	Anzahl	
Ich habe noch nie etwas davon gehört.	46	22 %
Ist mir bekannt, ich kenne aber nicht die Begründung.	73	34 %
Ja, ich kenne die Diskussion und mir sind die verschiedenen Positionen bekannt.	66	31 %
Da es im Schulbuch steht, gehe ich davon aus, dass es didaktisch korrekt ist.	12	6 %
Keine Antwort	15	7 %

5.3.16. Auswertung Animismus Wasserstoffbrückenbindung

Die Auswertung dieser Frage erwies sich schwierig, da die Studierenden ihre Aussage argumentativ nur unzureichend begründeten. Es lassen sich hierbei drei Kategorien zeigen. Die erste Gruppe lehnt die Darstellung ab, da die Probanden der Meinung sind, dass zwischen den Wassermolekülen kovalente Bindungen dargestellt werden (56 %). Die zweite Gruppe lehnte die Darstellung ab, da sie die Personifizierung der Moleküle ablehnen (20 %). Die dritte Gruppe würden diese bildhafte Darstellung befürworten, da die leichte Lösbarkeit zwischen den Molekülen verdeutlicht wird (7,5 %). 17 % der Studierenden gab keine Antwort an. Es zeigt sich, dass die meisten Probanden Animismen (76 %) für die Erklärung der submikroskopischen Ebene ablehnen.

36. Ist die folgende Abbildung für die Darstellung einer Wasserstoffbrückenbindung geeignet? Begründen Sie Ihre Aussage.



nicht gut, sieht aus wie bindende
Elektronenpaare

Abbildung 24: Antwort T44-Studierende

5.3.17. Auswertung Besuch von Seminaren und Fortbildungsangeboten zu „Modelle im Chemieunterricht“

Obwohl 41 % der Studierendenangaben, dass es Angebote zum Thema *Modelle in der Chemie* gab, haben nur 24 % diese auch besucht (Tabelle 38 und Tabelle 39). Der Vergleich der beiden Gruppen zeigt jedoch, dass es bei den Studierenden anscheinend mehr Angebote an Seminaren gab, als bei den erfahrenen Lehrkräften. 20 % der Lehrkräfte gab an, dass sie Fortbildungsangebote zu dem Thema kennen.

Tabelle 38: Angebote von Seminaren zum Thema Modelle in der Chemie

Gab es Angebote an Didaktikseminaren während des Studiums oder Fortbildungsangebote zum Thema <i>Modelle im Chemieunterricht</i> ?	Ja, Seminare.	Ja, Fortbildungen.	Nein
Lehrkräfte	25,8 %	20,2 %	53,9 %
Studierende	41,1 %	-	57,8 %

* Die Probanden, die keine Antwort angaben, wurden in der Tabelle nicht berücksichtigt.

Tabelle 39: Besuch eines Didaktikseminars zum Thema *Modelle in der Chemie*

Wurde im Studium ein Didaktikseminar zum Thema <i>Modelle im Chemieunterricht</i> besucht?	Ja	Nein
Lehrkräfte	26,7 %	73,3 %
Studierende	24,2 %	75,8 %

* Die Probanden, die keine Antwort angaben, wurden in der Tabelle nicht berücksichtigt.

Da mindestens die Hälfte der Studierenden während eines Didaktikseminars zum Thema *Modelle in der organischen Chemie* befragt wurden, sollte das Ergebnis der Studierenden hinterfragt werden.

5.3.18. Auswertung Einsatz digitaler Medien

Die Probanden sind gegenüber digitalen Medien im Unterricht überwiegend positiv eingestellt. Es fühlen sich jedoch 88 % durch das Studium weniger gut für die Nutzung digitaler Medien im Unterricht vorbereitet. Nur etwa 10 % halten digitale Medien für den Chemieunterricht überflüssig (vgl. Tabelle 40 und Tabelle 41). 93 % der Probanden würde Animationen oder Simulationen im Unterricht einsetzen. Räumliche Moleküldarstellungen sehen 88 % der Studierenden und Lehrkräfte als Einsatzbereich. In den Auffassungen können zwischen den Studierenden und Lehrkräften kein Unterschied gezeigt werden.

Tabelle 40: Einstellungen der Lehrkräfte und Studierende zu digitalen Medien.

Aussagen zur digitalen Nutzung	stimmt nicht	eher nicht	stimmt eher	stimmt
Ich verwende digitale Medien als Kommunikationsmittel (Blog, Forum, Chat, E-Mail).	11 %	11 %	21 %	57 %
Mir sind Kompetenzen zum Einsatz digitaler Medien für meinen Beruf wichtig.	3 %	7 %	40 %	50 %
Mit digitalen Medien kann man manche Dinge besser verdeutlichen.	1 %	8 %	49 %	42 %
Durch den Einsatz digitaler Medien kann ich Zeit sparen.	8 %	26 %	39 %	27 %
Ich halte es für überflüssig, digitale Medien im Chemieunterricht einzubinden.	63 %	27 %	9 %	1 %
Ich habe das Gefühl, im Studium gut für den Einsatz digitaler Medien ausgebildet worden zu sein.	50 %	38 %	9 %	3 %
Ich würde gerne Fortbildungsveranstaltungen besuchen, die speziell auf den Einsatz digitaler Medien ausgerichtet sind.	8 %	15 %	41 %	36 %
Ich glaube, durch den Einsatz digitaler Medien wird der Unterricht interessanter.	1 %	13 %	54 %	33 %
Mit digitalen Medien können Schüler individueller arbeiten.	5 %	28 %	49 %	18 %
Ich überlege genau, was ich mit dem Einsatz digitaler Medien erreichen will.	1 %	7 %	46 %	46 %

* Nicht berücksichtigt in den Angaben ist die Kategorie *Keine Antwort*.

Tabelle 41: Einsatzbereiche digitaler Medien im Unterricht

Aussagen zur digitalen Nutzung	stimmt nicht	eher nicht	stimmt eher	stimmt
Ich verwende digitale Medien als Kommunikationsmittel (Blog, Forum, Chat, E-Mail).	11 %	11 %	21 %	57 %
Nutzung des Internets als Informationsquelle	4 %	12 %	37 %	47 %
Räumliche Moleküldarstellungen	2 %	10 %	39 %	49 %
Animationen/Simulationen	1 %	6 %	32 %	61 %
Chemische Zeichenprogramme	10 %	31 %	32 %	26 %
Lerneinheiten	10 %	40 %	33 %	17 %

* Nicht berücksichtigt in den Angaben ist die Kategorie *Keine Antwort*.

Wie digitalen Medien von Studierenden und Lehrkräften genutzt werden, zeigen Tabelle 42 und Tabelle 43. Digitale Medien als Kommunikationsmittel, zur Messwerterfassung und chemische Zeichenprogramme werden von Studierenden häufiger verwendet. Lehrkräfte sehen dagegen digitale Medien eher als Informationsquelle im Unterricht. Studierende sind signifikant häufiger der Meinung, dass mit digitalen Medien Dinge besser verdeutlicht werden können, Zeit gespart wird und sie fühlen sich im Studium besser zu digitalen Medien ausgebildet. Erfahrene Lehrkräfte überlegen dagegen häufiger wie sie digitale Medien im Unterricht einsetzen können.

Tabelle 42: Mann-Whitney–U-Test Vergleich erfahrene Lehrkräfte und Studierende in der Nutzung digitaler Medien

Aussage	U-Wert	Z-Wert	p-Wert
Ich verwende digitale Medien als Kommunikationsmittel (Blog, Forum, Chat, E-Mail).	2092,000	-7,439	0,000
Mir sind Kompetenzen zum Einsatz digitaler Medien für meinen Beruf wichtig.	4155,500	-1,567	1,117
Mit digitalen Medien kann man manche Dinge besser verdeutlichen.	3433,000	-3,499	0,000
Durch den Einsatz digitaler Medien kann ich Zeit sparen.	3868,000	-2,277	0,023
Ich halte es für überflüssig, digitale Medien im Chemieunterricht einzubinden.	4471,500	-1,013	0,311
Ich habe das Gefühl, im Studium gut für den Einsatz digitaler Medien ausgebildet worden zu sein.	3190,500	-4,079	0,000
Ich würde gerne Fortbildungsveranstaltungen besuchen, die speziell auf den Einsatz digitaler Medien ausgerichtet sind.	4397,000	-0,868	0,385
Ich glaube, durch den Einsatz digitaler Medien wird der Unterricht interessanter.	4419,000	-0,963	0,336
Mit digitalen Medien können Schüler individueller arbeiten.	4271,000	-0,812	0,417
Ich überlege genau, was ich mit dem Einsatz digitaler Medien erreichen will.	3942,500	-2,334	0,020

Tabelle 43: Mann-Whitney–U-Test Einsatzbereiche digitaler Medien im Unterricht

Aussage	U-Wert	Z-Wert	p-Wert
Messwerterfassungen	3316,500	-3,556	0,000
Nutzung des Internets als Informationsquelle	3694,500	-2,605	0,009
Räumliche Moleküldarstellungen	4495,500	-2,605	0,533
Animationen/Simulationen	4120,000	-1,628	0,103
Chemische Zeichenprogramme	3160,000	-3,813	0,000
Lerneinheiten	3882,500	-1,1733	0,083

Insgesamt kann gezeigt werden, dass jüngere Lehrkräfte mit 1 bis 5 Jahren Unterrichtserfahrung eher der Meinung sind, dass digitale Medien wichtig für den Chemieunterricht sind. Sie fühlen sich besser ausgebildet und sicherer im Umgang mit digitalen Medien. Die Unterrichtserfahrung hat keinen Einfluss auf die Sicht der Lehrkräfte, wie digitale Medien im Unterricht eingesetzt werden können.

Tabelle 44: Kruskal-Wallis-Test Digitale Medien und Unterrichtserfahrung

Ränge				
	Kategorien Schuldienst Lehrkräfte	n	Mittlerer Rang	
Aussage 1: Ich verwende digitale Medien als Kommunikationsmittel.	1-5 Jahre	18	55,14	
	6-15 Jahre	23	30,48	
	16- über 20 Jahre	39	39,65	
	Gesamt	80		
Aussage 2: Mir sind die Kompetenzen zum Einsatz digitaler Medien für meinen Beruf wichtig.	1-5 Jahre	18	52,64	
	6-15 Jahre	23	35,76	
	16- über 20 Jahre	38	36,58	
	Gesamt	79		
Aussage 3: Ich halte es für Überflüssig, digitale Medien im Chemieunterricht einzubinden.	1-5 Jahre	18	29,97	
	6-15 Jahre	23	49,24	
	16- über 20 Jahre	39	40,21	
	Gesamt	80		
Aussage 4: Ich habe das Gefühl im Studium im gut für den Einsatz digitaler Medien ausgebildet worden zu sein.	1-5 Jahre	18	56,33	
	6-15 Jahre	23	35,76	
	16- über 20 Jahre	37	33,64	
	Gesamt	78		
Teststatistik				
	Aussage 1	Aussage 2	Aussage 3	Aussage 4
Chi-Quadrat	12,371	8,373	10,445	18,920
df	2	2	2	2
Asymptotische Signifikanz	0,002	0,015	0,005	0,000

6. Diskussion der Ergebnisse

6.1. Diskussion der Ergebnisse zum Modellverständnis

Für eine konzeptionelle Denkweise in der Chemie ist das Modellverständnis von zentraler Bedeutung. Neben dem fachlichen Wissen über Modelle ist auch die Einstellung der Lehrkraft, wie Modelle zur Erkenntnisgewinnung eingesetzt werden, von Bedeutung. Der Zweck von Modellen wird sowohl in einer deskriptiven als auch prädiktiven Rolle gesehen. Die Ansichten hierüber wurden über die epistemologischen Überzeugungen zum Modellverständnis untersucht. Die Erhebung erfolgte über eine Fragebogenstudie, um eine größere Anzahl an Probanden zu erfassen. Als Grundlage für die Items zum Modellverständnis diente die Interviewstudie von Bindernagel (2010), da diese neben der Erfassung des Modellverständnisses von erfahrenen Chemielehrkräften auch einen Zusammenhang zu deren Unterrichtswegen zur Teilchenebene herstellt. Die Items der Studie entsprachen den allgemeinen Formulierungen zu den verschiedenen Dimensionen der Modelle, wodurch der Modellebegriff weniger im Kontext des Chemieunterrichts aufgefasst wird. Die Ergebnisse zeigen, dass die Zustimmung der Probanden vorwiegend zu den Aussagen der zweiten Niveaustufe der Interviewstudie erfolgte. Eine Verzerrung der Ergebnisse, die aufgrund der Fragebogenkonstruktion zu erwarten war, konnte mit der Berechnung des Differenzwertes gemindert werden. Das Ergebnis entspricht den bisherigen nationalen wie internationalen Untersuchungen zum Modellverständnis von naturwissenschaftlichen Lehrkräften (Bindernagel, 2010; Grosslight, Unger, Jay & Smith, 1991; Justi & Gilbert, 2002; Justi & Gilbert, 2003; Van Driel & Verloop, 2002; Borrmann, Reinhardt, Krell & Krüger, 2014). Wie bei Krettenauer (2005) fallen auch hier die Ergebnisse etwas positiver aus, da vor allem bei den Studierenden eine Tendenz zu einem wissenschaftlichen Modellverständnis zu beobachten ist.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Probanden Modelle in einem engen Bezug zur Realität sehen. Den Zweck, Ideen zu entwickeln oder Hypothesen zu überprüfen, wird eher dem Modellentwickler zugesprochen. Im Chemieunterricht steht vor allem die deskriptive Rolle von Modellen im Vordergrund. Dies lässt vermuten, dass die untersuchten Chemielehrkräfte und Chemie-Lehramtsstudierende ein Verständnis für ein Denken in der Wissenschaft besitzen, jedoch unsicher sind, wie dieses im Chemieunterricht umzusetzen ist. Dies würde die Aussagen von Meisert (2008) und Justi & Gilbert (2002) unterstützen.

Der Schwerpunkt der Untersuchung wurde insbesondere auf den Aspekt gelegt, welche Faktoren die epistemologischen Überzeugungen zum Modellverständnis beeinflussen. Entsprechend des Experten-Novizen Paradigma wurden Chemielehrkräfte und Chemie-Lehramtsstudierende miteinander verglichen. Es zeigt sich, dass sich das Modellverständnis überwiegend während der Schulzeit entwickelt. Entsprechend dem Modell von Hofer zum Einfluss epistemologische Überzeugungen auf Lernstrategien und Wissenserwerb (Abbildung 15), scheinen sich die epistemologischen Überzeugungen der Lehrkraft nachhaltig auf die der Lernenden zu übertragen. Fachstudium und Berufserfahrung haben keinen Einfluss auf ein wissenschaftlicheres Modellverständnis. Dies spiegelt auch die Auswertung der Seminararbeiten wider. Obwohl die eigenen Unterrichtserfahrungen der Studierenden im Umgang mit Modellen im Erkenntnisprozess als durchaus widersprüchlich empfunden wurden, sahen diese keine Alternativen hierzu.

Für die Interpretation der Ergebnisse zum Modellverständnis muss berücksichtigt werden, dass der Fragebogen in der Reliabilitätsanalyse nur eine geringe Homogenität der Items aufwies. Das Ergebnis spiegelt somit die Problematik der geringen Validität und Reliabilität der Untersuchungsmethoden von epistemologischen Überzeugungen zum Modellverständnis wider (Borrmann, Reinhardt, Krell &

Krüger, 2014; Priemer, 2006). Dies bedeutet nicht, dass eine Übertragung einer Interviewstudie in eine Fragebogenstudie nicht geeignet ist. Es ist eher zu vermuten, dass ein Reliabilitätswert von 0,7 keine ausreichende Homogenität der Items anzeigt. In der Faktorenanalyse konnte somit nur zu einer Hauptkomponente akzeptable Reliabilitätswerte gefunden werden.

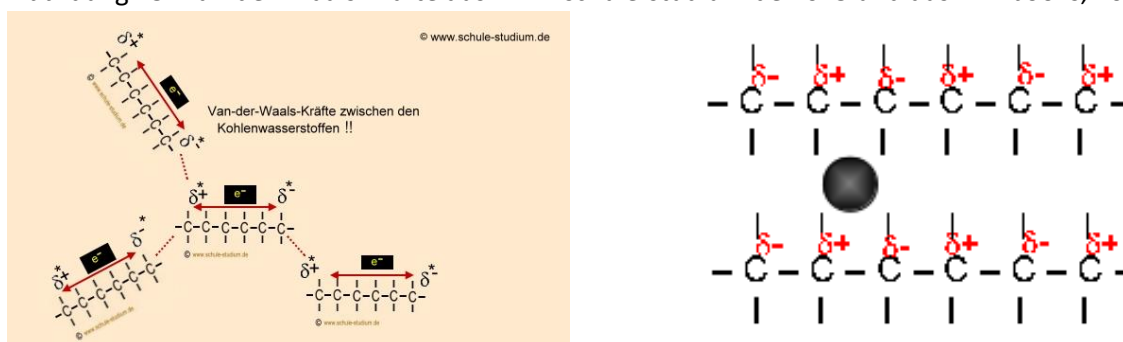
6.2. Diskussion der Ergebnisse zum modellbezogenen Fachwissen

Der kompetenzorientierte Chemieunterricht muss in einem engen Zusammenhang mit einem Unterrichtsweg gesehen werden, der die Basiskonzepte in den Fokus des Unterrichts stellt. Das fachliche Wissen soll sich nicht über fallbasierte Inhalte definieren, vielmehr sind Prinzipien und Konzepte auf verschiedenen Phänomene anzuwenden. Ein solcher Unterricht basiert auf von Johnstone (2000) beschriebenen Repräsentationsebenen, wobei postuliert wird, dass ein Verständnis nur über eine Verknüpfung der Ebenen erfolgen kann. Parchmann, Scheffel & Stäudel (2010) gehen in ihrem Vorschlag zur curricularen Entwicklung des Struktur-Eigenschafts-Konzeptes einen Schritt weiter. Sie zeigen auf, dass nur durch eine klar strukturierte Vorgehensweise von der Beobachtung über das molekulare Verständnis, Eigenschaften verstanden werden können. Zur Beschreibung des fachspezifischen Professionswissens einer Chemielehrkraft muss somit auch das modellbezogene Wissen vermehrt berücksichtigt werden. Es wurden daher die Kenntnisse von angehenden und erfahrenen Chemielehrkräften zu den Aussagemöglichkeiten und Grenzen schulrelevanter Modelle untersucht.

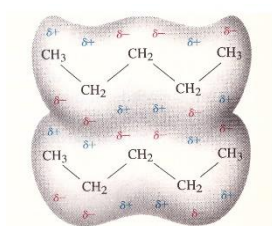
Es konnte hierzu gezeigt werden, dass sowohl den Chemie-Lehramtsstudierenden als auch den erfahrenen Chemielehrkräften die unterrichtsrelevanten Modelle wie Kugel-Stab-Modell, Kalottenmodell sowie die Lewisformel, Elektronenabstoßungsmodell und Orbitalmodell bekannt sind. So konnten zum Beispiel 90 % der Probanden korrekte Antworten zur Lewis-Schreibweise oder zum Elektronenabstoßungsmodell (ca. 80 %) angeben. Bei einer differenzierten Betrachtung der Kenntnisse zeigt sich jedoch, dass diese sich auf einzelne Aspekte der Modelle beziehen. So basiert das Wissen zum Kugel-Stab-Modell hauptsächlich auf der Erkenntnis, dass damit die freie Drehbarkeit um die C-C-Einfachbindung gezeigt werden könne (83 %). Aussagemöglichkeiten der Modelle zur Bindungslänge und Bindungswinkel sind kaum bekannt (13 %). Nur 64 % der Befragten ist bewusst, dass im Kalottenmodell die sich teilweise durchdringenden Kugeln eine Elektronenpaarbindung darstellen. Bei den Kenntnissen zu der Strukturformel bzw. Lewisformel wird deutlich, dass der Bezug, der zwischen der symbolischen Darstellung der Formel und dem Aufbau des Moleküls besteht, häufig nicht erkannt wird. Die Ergebnisse zeigen, dass sich das modellbezogene Wissen vor allem auf den atomaren Aufbau von Molekülen bezieht. Dies würde den epistemologischen Überzeugungen zum Modellverständnis entsprechen, auch hier konnte gezeigt werden, dass der Zweck von Modellen eher in der Deskription der molekularen Ebene gesehen wird. Das zu den Aussagemöglichkeiten auch Fehlvorstellungen bei den Studierenden aber auch Lehrkräften vorhanden sind, zeigen Aussagen, die mit dem VESPR-Modell die Oktettregel (21 %) oder die dichteste Kugelpackung (16 %) erklären. Eine interessante Erklärung hierfür erfolgte durch eine Studentin aus der Evaluationsgruppe, die aus acht Studierenden bestand, die nicht an Fragebogenstudie teilgenommen hatten (vgl. Pilotierung). Sie begründete das Ergebnis damit, dass hier Fachwissen der anorganischen Chemie mit der organischen Chemie verknüpft wurde, was bei vielen Studierenden zu Missverständnissen führt. Jedoch zeigen die Ergebnisse, dass die erfahrenen Lehrkräfte dieser Aussage etwas häufiger zustimmten. Insgesamt kann nicht gezeigt werden, dass sich die Kenntnisse der Chemie-Lehramtsstudierenden und Chemielehrkräften unterscheiden, Unterschiede können nur zu einzelnen Aspekten gezeigt werden. Es ist daher zu vermuten, dass die Kenntnisse zu den Möglichkeiten und Grenzen der schulrelevanten Modelle bereits in der Schulzeit erworben wurden und im Studium nicht aufgegriffen und korrigiert werden.

Betrachtet man die Ergebnisse zur Formelschreibweise und dem molekülbezogenen Fachwissen der Studierenden, so konnte nur zur Formelschreibweise gezeigt werden, dass das fachliche Wissen während des Studiums signifikant zunahm. Wissen wird im Fachstudium üblicherweise über Kenntnisse von Reaktionsgleichungen bzw. Reaktionsmechanismen definiert und weniger über eine fachspezifische Denkweise. Lernstrategien beruhen demnach eher auf Auswendiglernen oder fallbasiertes Denken, welches bereits Graulich (2015) bei Studierenden und Doktoranten zeigen konnte. Ihre Begründung hierfür lag vor allem in dem Mangel an schlussfolgerndem Denken auf der Basis der Molekülstruktur und der Anwendung von Konzepten und Prinzipien. Die Vermutung kann durch die Ergebnisse zu den molekularen Vorstellungen der Studierenden zu den Van-der-Waals-Kräften, die bereits Cooper (2015) in ihrer Studie zeigen konnte, bestätigt werden. 15 % der Chemie-Lehramtsstudierende zeichneten die intermolekularen Kräfte nicht zwischen Molekülen oder erklärten die Van-der-Waals-Kräfte über den Dipol eines Wassermoleküls. Die meisten molekularen Erklärungen der Studierenden finden sich nicht in Fachbüchern (vgl. Abbildung 21 und Abbildung 22), konnten jedoch auf verschiedenen Internetseiten gefunden werden (vgl. Abbildung 25).

Abbildung 25: Van-der-Waals-Kräfte aus www.schule-studium.de 2015 und aus Wikibooks, 2013



Vergleich der molekularen Darstellung der Van-der-Waals-Kräfte aus einem Chemielehrbuch (Vollhardt, 1988, 55):



Die Ergebnisse lassen vermuten, dass Studierende Schwierigkeiten haben, sich den induzierten Dipol auf molekularer Ebene vorzustellen. Betrachtet man die Aussage eines Studierenden (vgl. Zitat 2),

Ohne das Orbitalmodell habe ich jedoch nicht verstanden gehabt, wie die Elektronen sich von ihren Bahnen zeitlich immer mal entfernen und wie das ohne Energieaufwendung möglich sei.

muss hinterfragt werden, inwieweit ein adäquates molekulares Verständnis vorhanden ist. Insbesondere unter dem Aspekt, dass 55 % der Studierenden keine Antwort geben konnten, wie sie Schülerinnen und Schülern die Van-der-Waals-Kräfte auf molekularer Ebene erklären würden.

Ein direkter Vergleich der molekularen Erklärungen der Studierenden mit den der erfahrenen Lehrkräfte ist durch die Einschränkung des Online-Fragebogens nicht möglich gewesen. Es zeigt sich jedoch auch bei den erfahrenen Lehrkräften, dass fast die Hälfte (45 %) keine Antwort angaben. Die Gründe, gerade diese Frage nicht zu beantworten, können mit dem Aufbau des Fragebogens nicht erklärt werden. Die Auswertung zeigt, dass 15 Lehrkräfte (14 %) die Van-der-Waals-Kräfte auf der submikroskopischen Ebene erklären würden. Es kann dabei kein Zusammenhang zwischen den im Unterricht besprochenen und den für die Erklärung genutzten Molekülmodellen gezeigt werden. So geben drei Lehrkräfte an, das Kalottenmodell für die Erklärung der Van-der-Waals-Kräfte zu nutzen, jedoch wurde dieses Modell im Vorfeld von keiner Lehrkraft eingeführt. Die Aussagen lassen vermuten, dass Modelle wie das Kugel-Stab-Modell oder das Kalottenmodell keinen Erklärungszweck erfüllen, sondern eher aus einem traditionellen Verständnis im Unterricht angewendet werden. Auch bei den Wasserstoffbrückenbindungen zeigt sich, dass die meisten Lehrkräfte die Meinung vertreten, dass die schulrelevanten Molekülmodelle für eine Erklärung nicht geeignet sind. Die Erklärungsansätze der erfahrenen Lehrkräfte basieren vor allem auf Analogien, Modellexperimente sowie Definitionen und formale Darstellungen. Dies bestätigen auch die Aussagen der Seminargruppe, die zum größten Teil angegeben hatte, die Van-der-Waals-Kräfte und Wasserstoffbrückenbindungen im Unterricht als Definition gelernt zu haben. Nach Cooper hat das räumliche Verständnis der intermolekularen Kräfte jedoch eine wichtige Bedeutung für ein adäquates Verständnis dieser, die Selbsteinschätzung der Studierenden, *intermolekulare Kräfte verstanden zu haben*, sollte in Hinblick der Ergebnisse kritisch betrachtet werden.

6.3. Diskussion der Ergebnisse zu den Kenntnissen und Einsatz von Modellexperimenten

Die unklare Definition von Modellexperimenten spiegelt sich in den Aussagen der Probanden deutlich wider. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Modellversuche vor allem zum Themengebiet Stoff-Struktur-Eigenschaften eingesetzt werden (64 %). Die Lehrkräfte verstehen hierunter vor allem Versuche zur chemischen Reaktion, dem chemischen Gleichgewicht sowie zur Dichte und Löslichkeit. Studierende würden Modellversuche vorwiegend zur Darstellung großtechnischer Prozesse nutzen. Lehrkräfte sehen eher die Möglichkeit die submikroskopische Ebene zu veranschaulichen. Die häufigsten Modellversuche, die genannten wurden, waren dementsprechend *Apfelkrieg* (9 %), *Stechhebersuch* (10,8) und *Volumenkontraktion bei einem Ethanol und Wasser Gemisch* (21,2 %). Wobei die Volumenkontraktion als Beispiel im Fragebogen angegeben war. Es zeigt sich, dass 40 % der genannten Beispiele keinen experimentellen Charakter besitzen, sondern Denkmodelle wie Teilchenmodelle (22,2 %) oder Molekülmodelle (18,4 %) beschreiben. Nach den Kriterien von Sommer, Klein, Steff und Pfeifer (2012) sind jedoch Modellversuche von Denkmodellen zu unterscheiden. Die didaktische Diskussion zum Modellversuch Ethanol-Wasser-Gemisch ist erstaunlicher Weise weder bei den Lehrkräften noch bei den Studierenden hinreichend bekannt. Nur 31 % der Befragten gaben an, die Diskussion und die verschiedenen Positionen zu kennen, wobei nicht überprüft wurde, ob diese auch mit der fachdidaktischen Position übereinstimmt. Eine Beurteilung des Modellversuches für den Einsatz im Unterricht stand nicht im Interesse der Studie. Es kann nicht gezeigt werden, dass die Unterrichtserfahrung oder das Fachstudium einen Einfluss auf die didaktischen Kenntnisse der Probanden hat. Betrachtet man die Ergebnisse, so lässt dies die Vermutung zu, dass bei den Probanden weniger fachliche und fachdidaktische Gründe, sondern eher subjektive Theorien und traditionelle Unterrichtsweisen die Unterrichtswege zur submikroskopischen Ebene bestimmen. Dies ist im Hinblick der fachdidaktischen Studien zu diesen Themen kritisch zu sehen. So zeigen diese, dass ein unreflektierter Einsatz von Analogien bzw.

Modellversuchen zu Fehlvorstellungen bei Schülerinnen und Schülern führen können (Orgill, 2005; Sommer, Klein, Steff, Pfeifer, 2012; Steff, 2015; Goh & Chia, 1985; Barke, 2006). Die Ergebnisse unterstützen die Untersuchungen von Fischler (2000) und Stern (2009), wonach weniger didaktische Gründe als vielmehr persönliche Erfahrungen der Lehrkräfte für die Unterrichtsgestaltung von Bedeutung sind.

6.4. Diskussion des Ergebnisses Einsatz digitaler Medien und Animismen

Für ein Verständnis chemischer Prozesse wird die Verknüpfung der Repräsentationsebenen als eine wichtige Voraussetzung gesehen. In der Unterrichtspraxis wird die Verknüpfung der submikroskopischen Ebene und der formalen Ebene als besonders schwierig betrachtet (Nakoinz, 2015). Es wurden daher die Kenntnisse der Lehrkräfte und Chemie-Lehramtsstudierende zu Möglichkeiten der Veranschaulichung der formalen Ebene untersucht. Im Interesse der Studie standen daher neben den Kenntnissen zur Formelschreibweise auch die Visualisierung durch digitale Medien und die Einstellung zu Animismen. Es zeigte sich, dass digitale Medien für die Probanden eine wichtige Rolle spielen. Nur 10 % der Befragten halten digitale Medien für den Chemieunterricht für überflüssig. Der Einsatz von digitalen Medien im Unterricht ist für die meisten Lehrkräfte und Studierenden eine wichtige berufliche Kompetenz. Programme zur räumlichen Moleküldarstellung sowie Animationen und Simulationen sind interessante Einsatzbereiche für die angehenden wie auch erfahrenen Lehrkräfte, diesbezügliche Unterschiede konnten nicht gezeigt werden. Kritisch muss daher die Aussage gesehen werden, dass sich 88 % der Probanden nicht gut im Einsatz von digitalen Medien ausgebildet fühlen. Es zeigt sich jedoch, dass durch die Stärkung von digitalen Medien im Unterricht ein Wandel stattfindet. Jüngere Chemielehrkräfte fühlen sich signifikant besser ausgebildet als ihre älteren Kolleginnen und Kollegen. Die Auswertung der Seminararbeiten zeigt, dass die Studierenden den Unterschied zwischen einer Animation und Simulation kennen. Die Entwicklung einer theoretischen App wurde von allen Gruppen gut umgesetzt. Es zeigt sich, dass die Studierenden den Einsatz von Animationen und Simulationen durchaus positiv gegenüber stehen. Im Gegensatz dazu sind die Ergebnisse zu der bildhaften Darstellung der Wasserstoffbrückenbindung zu sehen. Hier zeigt sich, dass 76 % diese ablehnen. Der Grund hierfür kann auch an dem gewählten Beispiel liegen. In den Begründungen werden vor allem die nicht klare Bedeutung der Arme und Beine genannt. Diese werden von den meisten Studierenden als kovalente Bindung interpretiert. Für die Gestaltung der App wurden keine Animismen verwendet.

6.5. Diskussion der Ergebnisse zum Besuch von Didaktikseminaren und Fortbildungen

Für die Implementation von Neuerungen werden vorwiegend zwei Strategien genutzt, die Top-down-Strategie und die symbiotische Strategie. Beide Strategien gehen davon aus, dass die Einführung von Neuerungen über Lehrkräfte erfolgen soll. Die entsprechenden Kenntnisse sollten über Lehrerfortbildungen erfolgen, sie wird daher inzwischen auch als eine dritte Lehrerbildungsphase verstanden (Huber, 2009). Es wurden daher nach den Kenntnissen zu Angeboten von Seminaren und Fortbildungsveranstaltungen zum *Thema Modelle in der organischen Chemie* gefragt. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass die Angebote an Didaktikseminaren an den Hochschulen zu diesem Thema zugenommen haben. Es gaben 41 % der Studierenden an, dass es Angebote an Seminaren gibt. Bei den erfahrenen Lehrkräften waren es dagegen nur etwa 26 %, gleichzeitig kannten nur etwa 20 % der Lehrkräfte ent-

sprechende Fortbildungsangebote. Nach Fortbildungen über Fachzeitschriften wurde in diesem Zusammenhang nicht gefragt, diese Art der Fortbildung scheint bei den Lehrkräften eine größere Relevanz zu besitzen (Dollny, 2011), was sicherlich mit dem Zeitfaktor zu begründen ist. Die Ergebnisse des didaktischen Wissens zum Modellexperiment scheinen jedoch eher darauf hinzuweisen, dass diese nur ein kleiner Kreis der Lehrkräfte nutzt oder in ihren Unterricht umsetzen.

Es wurde in diesem Kontext explizit nach *Modellen der organischen Chemie* gefragt, um eine Abgrenzung zum undifferenzierten Teilchenmodell und Schalenmodell der Mittelstufe aufzuzeigen. Insgesamt haben etwa ein Viertel der Probanden Didaktikseminare zum Thema *Modelle in der organischen Chemie* besucht. Obwohl mindestens 50 % der Studierenden während eines Didaktikseminars zum Thema *Modelle der organischen Chemie* befragt wurde, gaben dieses nur 24 % der Studierenden auch an. In der Evaluationsgruppe wurde dieses Ergebnis dementsprechend interpretiert, dass die praxisorientierten Fragen der Studie nicht mit der didaktischen Ausbildung der Hochschule im Zusammenhang gesehen wurden. Dies würde die Aussage von Terhart (2009) unterstützen, dass unter dem Etikett Fachdidaktik nicht selten vor allem fachwissenschaftliche Inhalte angeboten würden.

7. Fazit

Die Chemie ist nicht nur für Schülerinnen und Schüler faszinierend und unverständlich zugleich. Die Notwendigkeit, Alltagsphänomene zu verstehen, erscheint in Hinblick der sich ständig verändernden Lebenswelt unbestritten und ist somit ein wichtiger Bestandteil des Bildungsauftrages. Gleichzeitig ist kaum ein anderes Fach bei Schülerinnen und Schülern so unbeliebt (Merzyn, 2008). Ein Grund hierfür wird in der Schwierigkeit gesehen, die verschiedenen Repräsentationsebenen des Faches miteinander zu verknüpfen (Johnstone, 2000; Nakoinz, 2015). Dies hat zur Folge, dass chemische Prozesse im Chemieunterricht fallbasiert gelernt und weniger die fachspezifische Denkweise zur Erklärung der Phänomene genutzt werden (Graulich, 2016). Dieses Problem ist schon seit langen bekannt, Alternativen in der Unterrichtsgestaltung fanden sich jedoch kaum in der Unterrichtspraxis wieder (Mikelskis-Seifert, 2003a; Eilks, 2007; Stern, 2009). Die Einführung der Bildungsstandards bedeutet insbesondere für die Chemie eine Chance eines Paradigmenwechsels. Unterrichtskonzepte, die auf didaktische Modelle wie von Johnstone (2000) basieren, sollten sich vermehrt in der Unterrichtspraxis etablieren können. Durch die Konzeptorientierung des Unterrichts müssen traditionelle Unterrichtswege überdacht werden, nach der PISA-Studie 2015 hat ein solcher Prozess in der deutschen Unterrichtspraxis jedoch nicht stattgefunden (Schipe-Tiska, et al., 2016). Mit dem Kompetenzansatz soll nun der Lernende im Mittelpunkt der Bildung stehen und nicht mehr der fachliche Inhalt. Die Schwierigkeiten eines solchen Paradigmenwechsels für die Lehrkräfte spiegelt sich in der Entwicklung der Kerncurricula wieder, die sich in ihrer Endfassung teilweise wieder den bisherigen Lehrplänen angepasst haben. Lehrkräfte können jedoch nur dann Lehr-Lernprozesse verändern, wenn sie sich selbst sicher in der Domäne ihres Faches sind (Ball, Lubienski & Mewborn, 2001). Die Untersuchung des Professionswissens zeigt, dass insbesondere Gymnasiallehrkräfte über ein gutes curriculares Fachwissen verfügen (Dollny, 2011). Es ist daher nicht verwunderlich, dass diese die bisherigen inhaltsbetonten Lehrpläne befürworten.

Im Interesse der Studie stand daher die Frage, inwieweit Chemielehrkräfte über eine konzeptionelle Denkweise verfügen. Der Fokus wurde dabei auf das modellbezogene und molekulare Verständnis gelegt. Untersuchungen zum curricularen schulbezogenen Fachwissen von Chemielehrkräften zeigen, dass sich dieses in den ersten fünf bis zehn Berufsjahren bildet und im Wesentlichen auf Unterrichtsroutine basiert (Dollny, 2011). Dies konnte in dieser Studie nicht gezeigt werden. Weder in den modellbezogenen noch in den molekularen Kenntnissen der Chemielehrkräfte zeigten sich signifikante Unterschiede zu diesen Aspekten. Insbesondere die Unterschiede, die in der Untersuchung zum curricularen Fachwissen zwischen den männlichen und weiblichen Lehrkräften im Alter zwischen dreißig und vierzig Jahren auftraten, konnten nicht gezeigt werden. Die Begründung für die Unterschiede wurden in der stärkeren *Familienorientierung* der Frauen gesehen, die dadurch die Anzahl ihrer Unterrichtsstunden reduzierten und weniger Unterrichtspraxis hätten (Dollny, 2011). Die erste Hypothese der Untersuchung kann somit bestätigt werden, demnach das modellbezogene Professionswissen und molekulare Verständnis als Basis eines chemiespezifischen Denkmusters zu sehen ist und demnach weniger auf Unterrichtsroutine basiert. Die Ergebnisse zeigen auch, dass sich die Kenntnisse weder durch die fachliche Ausbildung während des Studiums noch durch Berufserfahrung signifikant verändern. Es ist daher zu vermuten, dass diese im wesentlichen durch individuelle Erfahrungen aus der eigenen Schulzeit generiert werden. Dieses Ergebnis widerlegt die zweite Hypothese der Studie, die konform der bisherigen Untersuchungen ein Zuwachs an professionellen Kompetenzen vermutete. Dieses Ergebnis sollte in anbetracht der Vorbildung der Studierenden kritisch gesehen werden. Auch wenn sich die Zahlen nur auf einzelne Studien beziehen, so zeigt sich eine Tendenz, dass nur etwa 14 % der Studienanfänger für das Lehramt Chemie einen

Chemieleistungskurs belegten. 60 % hatten einen Grundkurs besucht, jedoch gibt es keine Angaben wie lange. Besonders kritisch muss gesehen werden, dass zwischen 7 und 24 % der Studienanfänger keinen Chemiekurs in der Oberstufe belegt hatten. Die fachliche Qualifikation zur chemiespezifischen Denkweise der Lehrkraft sollte nicht nur auf autodidaktische Weise erfolgen, denn *Können* setzt *Wissen* voraus (Hofer, 2011; Weinert, 2001). Vergleicht man die Ergebnisse der Studie zur Selbsteinschätzung der Studierenden zum Verständnis der Van-der-Waals-Kräfte und die teilweise inadäquaten molekularen Vorstellungen, so sollte dieses kritisch gesehen werden. Die akademische Ausbildung scheint im Gegensatz zu den Mathematiklehrkräften kaum einen Einfluss auf das fachspezifische Professionswissen der Chemielehrkräfte zu haben (Krauss, et al., 2008). In diesem Sinn sollte den Chemie-Lehramtsstudierenden verdeutlicht werden, dass der Lehrerberuf eine akademische Fachbildung benötigt. Das Schulwissen reicht für einen basiskonzeptionellen Unterricht, welcher auf Verständnis und weniger auf Reproduktion basiert, nicht aus. Hierfür müsste sich ebenfalls die Lehr-Lern-Praxis in der Hochschule ändern, eine reine Reproduktion von Reaktionsmechanismen führt bei den Studierenden zu keiner Veränderung in ihren Einstellungen bezüglich konzeptioneller Lernstrategien. Kritisch muss auch gesehen werden, wenn Studierende ihr fachliches Wissen nicht aus der Fachliteratur beziehen. Die Ergebnisse zu den Van-der-Waals-Kräften zeigen, dass Chemie-Lehramtsstudierende entsprechende Internetseiten eher nutzen als Fachliteratur. Die Hochschullehre sollte daher vermehrt die Verantwortung für die fachliche wie auch fachdidaktische Ausbildung der Chemie-Lehrkräfte übernehmen, insbesondere in Bezug einer chemiespezifischen Denkweise. Die Ergebnisse verschiedener Studien zum Zusammenhang von Fachwissen und fachdidaktischen Wissen zeigen, dass ein hohes fachdidaktisches Wissen mit einem hohen Fachwissen in Zusammenhang steht (Dollny & Tepner, 2011; Kunter, Klusmann & Baumert, 2009). Das molekulare Verständnis von chemischen Bindungen und intermolekularen Kräften sollte daher stärker in den Fokus der Lehrerbildung treten. Die subjektiven Unterrichtserfahrungen der Chemielehrkräfte haben einen starken Einfluss auf deren fachliches und fachdidaktisches Wissen. Es sind hier sicherlich Unterschiede in den einzelnen Themengebieten der Chemie zu sehen, eine differenzierte Betrachtung des fachlichen wie fachdidaktischen Professionswissen der Chemielehrkräfte erscheint daher sinnvoll.

Ein Paradigmenwechsel von einem lernzielorientierten zu einem basiskonzeptorientierten Unterricht kann nur dann erfolgen, wenn eine Konzeptorientierung in den verschiedenen Lehrerbildungsphasen stattfindet. Den größten Einfluss auf eine Veränderung bezüglich eines basiskonzeptionellen Unterrichtsweges haben vermutlich die Fachleiter im Referendariat. Für die Umsetzung eines basiskonzeptionellen Unterrichts ist daher die zweite Lehrerbildungsphase zu überprüfen. Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Studie, dass eine Umsetzung eines kompetenzorientierten Unterrichts in die Praxis vermutlich nur sehr langsam erfolgen wird. Ein Grund hierfür sind sicherlich die traditionellen Sichtweisen der Lehrkräfte zur Unterrichtsgestaltung, die sich aus den subjektiven Erfahrungen der eigenen Schulzeit tief implementiert haben. Für eine Änderung bedarf es daher auch eine veränderte Sichtweise auf fachliche und fachdidaktische Kompetenzen der Lehrkraft. Der Ansatz, die Bildungsstandards alleine über die Lehrkräfte in die Unterrichtspraxis zu implementieren, sollte daher kritisch gesehen werden, insbesondere im Hinblick auf die Ergebnisse zur Nutzung und Wirksamkeit von fachlichen Fortbildungen der Lehrkräfte (Lipowski, 2010).

8. Ausblick

Die Studie konnte zum basiskonzeptionellem Verständnis der Lehrkräfte nur einige Aspekte aufzeigen. Einige Ergebnisse sind sicherlich mit weiteren Untersuchungsmethoden wie Interviews zu überprüfen. Insbesondere die Untersuchungen der epistemologischen Überzeugungen zum Modellverständnis zeigen die Problematik auf, hierfür ein valides und reliables Testinstruments zu entwickeln. In diesem Zusammenhang sollte für die Chemie eine standardisierte Messmethode für die Diagnose der Modellkompetenz für Chemielehrende in Betracht gezogen werden. Ob ein solches Vorhaben bereits in der Chemiedidaktik erfolgt, konnte nicht recherchiert werden.

In der Studie konnte gezeigt werden, dass Lehrkräfte zur Erklärung der submikroskopischen Ebene häufig Analogien bzw. Modellversuche einsetzen. Gleichzeitig sind die fachdidaktischen Diskussionen weniger bekannt. Eine Untersuchung der Ausbildung bzw. der Wirksamkeit von Fortbildungen zu diesem Themengebiet wäre daher interessant und könnte für die Weiterentwicklung der Lehrerbildung hilfreich sein. Es wäre wünschenswert, für die Lehrerbildungsphasen veränderte Lehrkonzepte zu entwickeln, die eine basiskonzeptionelle Denkweise unterstützen. Betrachtet man die Einstellung der Lehrkräfte zum Einsatz von digitalen Medien, kann die Entwicklung von Computerprogrammen, die einen basiskonzeptionellen Unterricht unterstützen, auch die Implementation dieser fördern. Ein solches Projekt wurde durch die Entwicklung der theoretischen Apps in der Seminargruppe bereits angestoßen. So zeigten insbesondere Studierende mit dem Zweitfach Informatik Interesse daran, dieses in einer Masterarbeit aufgreifen zu wollen.

Innerhalb der Lehrerbildung haben die Fachausbilder wahrscheinlich den größten Einfluss auf die Lehr-Lern-Konzepte der zukünftigen Chemielehrkräfte. Eine Veränderung zu einem basiskonzeptorientierten Unterricht wird daher im Wesentlichen vom konzeptionellen Chemieverständnis der Fachausbilder abhängen. Eine weitere Untersuchung, die auch die Fachausbilder mit berücksichtigt, wird daher in Erwägung gezogen.

9. Literaturverzeichnis

- Ansari, S. & Demuth, R. (1976). Nuffield-Chemistry an deutschen Schulen? *Praxis der Naturwissenschaften*, 25(12), 330-334.
- Ansari, S., Demuth, R. & Hilpert, U. (1994). *Stundenbilder, Experimente, Medien. Bd. 5. Atombau und chemische Bindung*. Köln: Aulis Deubner.
- Asbrand, B., Heller, N. & Zeitler, S. (2012). Die Einführung von Bildungsstandards in das deutsche Bildungssystem. In S. Zeidler & B. Asbrand, *Bildungsstandards in der Schule-Eine rekonstruktive Studie zur Implementation der Bildungsstandards* (S. 12-21). Münster/New York/München/Berlin: Waxmann.
- Asselborn, W., Jäckel, M. & Risch, K. (2009). *Chemie heute SII Gesamtband in Hessen*. Braunschweig: Westermann Schrödel Diesterweg.
- Asselborn, W.; Jäckel, M.; Risch, K.; Sieve, B. (2006). *Chemie heute-SI Gesamtband in Hessen*. Braunschweig: Westermann Schrödel Diesterweg.
- Aufschnaider von, C. & Blömeke, S. (2010). Professionelle Kompetenz von (angehenden) Lehrkräften erfassen-Desiderata. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 361-367.
- Ball, D., Lubienski, S. & Mewborn, D. (2001). Research on teaching mathematics: The unsolved problem of teachers' mathematical knowledge. In V. Richardson, *Handbook of research on teaching* (S. 433-456). New York: Macmillan.
- Barke, H.-D. (1980). Die Unverzichtbarkeit von Strukturmodellen für das Verständnis chemischer Reaktionen. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 29, S. 372-375.
- Barke, H.-D. (2006). *Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin - Heidelberg: Springer Verlag .
- Bauer, H. (1990). Zur Geschichte des Chemieunterrichts an allgemeinbildenden Schulen im deutschen Sprachraum. *Mitteilungen, Gesellschaft Deutscher Chemiker / Fachgruppe Geschichte der Chemie (Frankfurt/Main)*, 4, 3-12.
- Baumert, J., & Kunter, M. (2006). Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469-520.
- Baumert, J., Klieme, E. & Bos, W. (2001). *TIMSS-Impulse für Schule und Unterricht*. Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Becker, H.-J., Nguyen, M. & Parchmann, I. (2015). Trentbericht Chemiedidaktik 2014 Qaulaitätsoffensive Lerherbildung. *Nachrichten aus der Chemie*, 63(3), S. 364-368.
- Bierbaum, H. (2009). *Verstehen—Ideen zu einer kritischen Theorie der schulischen Vermittlung naturwissenschaftlicher Bildung*. Entnommen aus: http://www.kolleg.kritischebildungstheorie.de/documents/reihe08/Bierbaum_Verstehen.pdf [Stand: 10. 1. 2009].

-
- bildungsserver.de. (2017). *Bildungspläne, Lehrpläne der Bundesländer für allgemeinbildende Schulen*. Abgerufen am 9. Mai 2017 von <http://www.bildungsserver.de/Bildungsplaene-Lehrplaene-der-Bundeslaender-fuer-allgemeinbildende-Schulen-400.html>
- Binder, F., Steinkirchner, K. & Hock, K. (2012). Narrative Elemente im Chemieunterricht. In S. Bernhold, *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht* (S. 667-669). Berlin: Bernhold, S.
- Bindernagel, J. (2010). *Pedagogical Content Knowledge (PCK) von Lehrkräften im deutschen Chemieunterricht-Untersuchungen hinsichtlich wichtiger Vermittlungsschritte im Rahmen der Inhaltsdomäne Stoff-Teilchen-Konzept und ihre Nutzung in der Lehrerbildung*. Hamburg: Dr. Kovac.
- Bindernagel, J. & Eilks, I. (2008). Modelle und Modelldenken im Chemieunterricht und ein Einblick in das Verständnis von erfahrenen Chemielehrkräften. *Chemie Konkret*, 15(4), S. 181- 186.
- Blömke, S. (2009). Voraussetzungen bei der Lehrperson. In K. Arnold, J. Wiechmann & U. Sandfuchs, *Handbuch Unterricht* (S. 122-126). Bad Heilbrunn/Stuttgart: Klinkhardt/UTB.
- Bolte, C., Schanze, S., Thörmählen, M. & Saballus, U. (2005). Naturwissenschaftlich-chemische Modellvorstellungen - Entwicklung und Erprobung eines Fragebogens zur Analyse epistemologischer Überzeugungen. In A. Pitton, & A. Pitton (Hrsg.), *Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung. Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven* (S. 430-432). Münster: LIT-Verlag.
- Borrmann, J., Reinhardt, N., Krell, M. & Krüger, D. (2014). Perspektiven von Lehrkräften über Modelle in den Naturwissenschaften; Eine generalisierende Replikationsstudie. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, S. 57-72.
- Bromme, R. (1992). *Der Lehrer als Experte-Zur Psychologie des professionellen Wissens*. Bern: Huber.
- Bromme, R. (1997). Kompetenzen, Funktionen und unterrichtliches Handeln des Lehrers. In F. Weinert, *Psychologie des Unterrichts und der Schule*. (S. 177-212). Göttingen: Hogrefe.
- Buck, P. (2006). Warum, vielleicht, Chemie schwer zu verstehen ist. *Erziehungskunst*, 70(1), 3-13.
- Busker, M., Parchmann, I. & Wickleder, M. (2010). Eingangsvoraussetzungen von Studienanfängern im Fach Chemie. Welches Vorwissen und welche Interessen zeigen Studierende? *Chemie konkret*, 17 (4), 163-168.
- Cauet, E., Borowski, A. & Fischer, H. (2011). Zusammenhänge zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften, Unterrichtshandeln und Schülerleistung - Projektskizze. In S. Bernhold, *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik* (S. 446-448).
- Chittleborough, G., Treagust, D., Mamiala, T. & Mocerino, M. (2005). Students' perceptions of the role of models in the process of science and in the process of learning . *Research in Science Education* 38 (4), S. 463-482.
- Cleff, T. (2015). *Deskriptive Statistik und Explorative Datenanalyse: Eine computergestützte Einführung mit Excel, SPSS und STATA*. Wiesbaden: Gabler Verlag.

-
- Coolahan, J. (2002). *Teacher Education and the Teacher Career in an Era of Lifelong Learning*. Paris: OECD Education Working Papers No.2.
- Cooper, M., Williams, L. & Underwood, S. (2015). Students understanding of intermolecular forces: A multimodal study. *Journal of Chemistry Education* 92 (8), 1288-1298.
- Dettweiler, Y. & Fechner, S. (2013). Konzeptverständnis durch Vernetzung von Repräsentationsebenen. In S. Bernholt, *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in München* (S. 594-596). Kiel: IPN.
- Di Fuccia, D. (2007). *Schülerexperimente als Instrument der Leistungsbeurteilung*. Berlin: uni-edition.
- Dickmann, T. (2015). *Prädiktoren von visuellem Modellverständnis in der Chemie*. Universität Duisburg - Essen: GDCP Doktorierendenkolloquium 2015.
- Dollny, S. (2011). *Entwicklung und Evaluation eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehrkräften*. Berlin: Logos Bd.127.
- Dollny, S., & Tepner, O. (2011). CK und PCK von Chemielehrkräften-Unterschiede und Zusammenhänge. In S. Bernholt, *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht-Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik* (S. 212-214). Münster: LIT Verlag.
- Duit, R. (1997). Ziele für den naturwissenschaftlichen Unterricht- Anspruch und Realität, 1. *PLUS LUCIS*, S. 3-13.
- Duit, R., Glynn, S. (1995). Analogien-Brücken zum Verständnis. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik*, 6(43), 4-10.
- Eilks, I. (2007). Neue Wege zum Teilchenkonzept- Oder wie man Basiskonzepte forschungs- und praxisorientiert entwickeln kann. *Naturwissenschaften im Unterricht -Chemie, Themenheft Basiskonzepte*, 100(101).
- Eisner, W., Gietz, P., Justus, A., Laitenberger, K., Nickoly, H., Schierle, W., . . . Sternberg, M. (2007). *Elemente Chemie 1*. Stuttgart: Klett Verlag.
- Elster, D. (2007). In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant? Ergebnisse der ROSE-Erhebung in Österreich und Deutschland. *PLUS LUCIS*, 3, S. 2-8.
- Engler, K. (2003). *Der Modellcharakter von Animationen und Simulationen*. Von http://curie.informatik.uni-oldenburg.de/~el3/biologie/el3_ol_biologie_simulation-animation_v03.1/html/flow1/page7.html
- Fischler, E., Klemm, K., Leutner, D., Sumfleth, E. & Wirthe, J. (2003). Naturwissenschaftsdidaktische Lehr-Lernforschung: Defizite und Desiderata. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9, S. 179-209.
- Fischler, H. (2000). Über den Einfluß von Unterrichtserfahrung auf die Vorstellungen vom Lehren und Lernen bei Lehrerstudenten der Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften; Jg. 6*, 27-36.

-
- Fischler, H. (2001). Lehrerhandeln und Lehrervorstellungen bei Anfängern-Untersuchungen zu einem gestörten Verhältnis. In C. von Aufschnaider & M. Wetzel, *Nutzung von Videodaten zur Untersuchung von Lehr-Lern-Prozessen-aktuelle Methoden empirischer pädagogischer Forschung* (S. 173-184). Münster: Waxmann.
- Freyer, K. (2013). *Dissertation Zum Einfluss von Studieneingangsvoraussetzungen auf den Studienerfolg Erstsemesterstudierender im Fach Chemie*. Duisburg Essen.
- Freyer, K., Asikainen, M., Hirvonen, P. & Sumfleth, E. (2015). Studienanfängerinnen und Studienanfänger im Fach Chemie-Deutschland und Finnland im Vergleich. *Chemie konkret*, 2, 75-81.
- Geers, U., Alfs, N. & Höble, C. (2009). Fachdidaktisches Wissen von Lehrkräften zum Thema „Ökosysteme“ sowie zum Kompetenzbereich Bewerten am Beispiel „Grüne Gentechnik“ . *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 8, 83-98.
- Gietz, P., Jung, U., Knetsch, R., Lehmacher, W., Peppmeier, R., Schäpers, B., . . . Zetzl, S. (2013). *PRISMA Chemie Ausgabe A*. Stuttgart/Leipzig: Klett.
- Gilbert, J. (2005). Visualization: A Metacognitive Skill in Science and Science Education. In J. Gilbert, *Visualization in Science Education* (S. 9-27). Springer.
- Gilbert, J. K. & Boulder, C. J. (2000). *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Goh, N. & Chia, L. (1985). The use of analogies in teaching and learning chemistry. In *Teaching and Learning*, 6, (S. 39-43). Singapore: Institute of Education.
- Gräsel, C. & Parchmann, I. (2004). Implementationsforschung- oder; der steinige Weg, Unterricht zu verändern. *Unterrichtswissenschaft*, 32(3), 196-214.
- Graulich, N. (2016). "Das Eisberg-Phänomen der Organischen Chemie"-Wie gehen Studierende mit dem Unsichtbaren um? 33. Fortbildungs- und Vortragstagung der Fachgruppe Chemieunterricht, Hannover: Diskussionsvortrag 16.09.2016.
- Graulich, N. (2015). The tip of the iceberg in organic chemistry classes: how do students deal with the invisible? *Chemistry Education Research and Practice*, 16 , 9-21.
- Graulich, N., Hopf, H. & Schreiner, P. (2010). Heuristic thinking makes a chemist smart. *Chemical Society Reviews*, 39 (5), 1503-1512.
- Graulich, N.; Schreiner, P. (2011). Struktur-Eigenschafts-Beziehungen in der Organischen Chemie. *Chemkon*(3), S. 109-114.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. & Smith, C. (1991). Understanding Models and their use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science Teaching*(28), 799-822.
- Gruber, H. (1996). *Expertiseforschung-Theoretische und methodische Grundlagen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Grünkorn, J. (2014). *Dissertation Modellkompetenz im Biologieunterricht Empirische Analyse von Modellkompetenz bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I*. Berlin.

-
- Hammann, M. (2004). Kompetenzentwicklungsmodelle: Merkmale und ihre Bedeutung – dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 57(4), 196-203.
- Hank, B. (2013). *Konzeptwandelprozesse im Anfangsunterricht Chemie- Eine quasi experimentelle Längsschnittstudie*. (Bd.155). Berlin: Logos.
- Hänsel, M. (25. April 2017). *www.mhaensel.de Naturwissenschaftlicher Unterricht*. Von http://www.mhaensel.de/nw_unterricht/kompetenz.html#Basiskonzepte
- Harrison, A. & Treagust, D. (2000). Learning about Atoms, Molecules, and Chemical Bonds: A Case Study of Multiple-Model Use in Grade 11 Chemistry. *Science Education*, 84(3), 352-381.
- Harsch, G. & Heimann, R. (1998). *Didaktik der Organischen Chemie nach dem PIN-Konzept - Vom Ordnen der Phänomene zum vernetzten Denken*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Harsch, G. & Heimann, R. (2002). *Organische Chemie im Spannungsfeld zwischen Struktur-Eigenschafts-Beziehungen und Alltagschemie*. Münster: Schöningh Verlag.
- Harsch, G. & Heimann, R. (2012). *Experimente zum entdeckenden Lernen und zum vernetzten Denken in der Organischen Chemie*. Münster, Leipzig: Schöningh Verlag.
- Heimann, R. & Hörner, K. (2009). Chemische Grundkenntnisse bei Lehramtsstudierenden. *Praxis der Naturwissenschaften-Chemie in der Schule* 58/2, S. 40-44.
- Helmich, U. (17. April 2017). *u-helmich.de*. Von <http://www.u-helmich.de/che/EF/atom/atombau024.html>
- Hesse, M. (2002). Nur geringes Wissen über Zellbiologie. Eine empirische Studie an Lehramtsstudierenden. *Berichte des Institutes für Didaktik der Biologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, IDB (2002) 11*, S. 21-33.
- Hofer, B. (2001). Personal epistemology research: Implications for learning and transfer. *Educational Psychology Review* 13, 353-383.
- Hofer, R. (2011). *Wissen und Können-Begriffsanalytische Studien zu einer kompetenzorientierten Wissensbildung am Gymnasium*. Internationale Hochschulschriften, Band 561, Waxmann.
- Hogan, K. (2000). Exploring a process view of students` knowledge about the nature of science. *Science Education* 84, 51-70.
- Holleman, A. & Wiberg, E. (1985). *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*. Berlin New York: de Gruyter.
- Hölzel, W. (8. Mai 2017). <http://www.w-hoelzel.de-Biologie und Chemie für die Schule>. Von <http://www.w-hoelzel.de/chemie/1-und-2-jahrgangsstufe/gleichgewichtsreaktionen/2-3-modellexperiment-stechheberversuch>
- Hörner, K. (1996). Mathematisierungen im Chemieunterricht - ein Motivationshemmnis? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 2(2), 51-70.
- Hoy, K. (27. April 2017). *Chemie im Kontext*. Von http://www.kathrin-hoy.net/wp/?page_id=8

-
- Huber, S. (2009). Wirksamkeit von Fort- und Weiterbildung. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, K. Beck, D. Sembill & R. Mulder, *Lehrprofessionalität- Bedingungen, Genese, Wirkungen und ihre Messung*. (S. 451-463). Weinheim-Basel: Beltz.
- Johannsmeyer, F. (2014). *Dissertation Stationen auf dem Weg ins Diskontinuum im Chemieunterricht der Sekundarstufe I*. Oldenburg.
- Johnstone, A. (2000). Teaching of Chemistry - logical or psychological? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1(1), S. 9-15.
- Justi, R. & Gilbert, J. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25, 1369-1386.
- Justi, R. & Gilbert, J. K. (2002). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24, 1273-1292.
- Jüttner, M. & Neuhaus, J. (2013). Das Professionswissen von Biologielehrkräften- Ein Vergleich zwischen Biologielehrkräften, Biologen und Pädagogen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, S. 31-49.
- Karsten, F., Koch, T., Kranzinger, F. & Theis, M. (2011). Planeten, Wolken oder schwarze Kisten? *Physik Journal*, 10(11), 39-42.
- Kaube, J. (1. März 2014). *Bildungsstudie: Der Lehrer als Zentrum*.
www.faz.net/aktuell/wissen/forschung-politik/bildungsstudie
- Klopp, E. (2014). *Dissertation - Die Struktur epistemologischer Überzeugungen Empirische und theoretische Analysen*. Saarbrücken.
- KMK. (2004). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*. Deutschland: Leuchterhand.
- KMK. (2005). *Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz- Erläuterungen zur Konzeption und Entwicklung*. Leuchterhand.
- KMK-Standards für die Lehrerbildung. (2004). *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften*. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.
- Komuç, A. & Tekin, S. (2011). Chemistry Teachers' Misconceptions Concerning Concept of Chemical Reaction Rate. *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education* 3(2), 84-101.
- König, A. (2003). *Inauguraldissertation Computergestützte Lehr- und Lernmaterialien zur chemischen Bindung*. Köln.
- König, E. (2002). Qualitative Forschung im Bereich subjektiver Theorien. In E. König & P. Zedler, *Qualitative Forschung, Grundlagen und Methoden*. (S. 55-69). Weinheim: Beltz.
- Krauss, S., Neubrand, M., Blum, W., Baumert, J., M., B., Kunter, M. & Jordan, A. (2008). Die Untersuchung des professionellen Wissens deutscher Mathematik-Lehrerinnen und -Lehrer im Rahmen der COAKTIV-Studie. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 29(3/4), S. 223-258.

-
- Kremer, M. (2012). Grundbildung in den naturwissenschaftlichen Fächern-Baiskompetenzen. MNU-Mathematik und naturwissenschaftlicher Unterricht.
- Krettenauer, T. (2005). Die Erfassung des Entwicklungsniveaus epistemologischer Überzeugungen und das Problem der Übertragbarkeit von Interviewverfahren in standardisierte Fragebogenmethoden. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 37(2), 69-79.
- Kultusministerium-Hessen. (2010). *Lehrplan Chemie Gymnasialer Bildungsgang-Gymnasiale Oberstufe*. Wiesbaden: Hessische Kultusministerium.
- Kultusministerium-Niedersachsen. (2007). *Kerncurriculum Niedersachsen-Naturwissenschaften*. Hannover: Herausgegeben vom Niedersächsischen Kultusministerium.
- Kultusministerium-Hessen. (2016). *Kerncurriculum Chemie-Kompetenzerwerb in der Auseinandersetzung mit Themenfeldern*. Wiesbaden: Hessische Kultusministerium.
- Kultusministerium-Niedersachsen. (2009). *Kerncurriculum für das Gymnasium – die Gesamtschule – gymnasiale Oberstufe, das Fachgymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg-Chemie*. Hannover: Niedersächsische Kultusministerium.
- Kunter, M., Klusmann, U. & Baumert, J. (2009). Professionelle Kompetenz von Mathematiklehrkräften: Das COAKTIV-Modell. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, K. Beck, D. Sembil, R. Nickolaus & R. Mulder. *Lehrprofessionalität-Bedingungen, Genese, Wirkungen und ihre Messung* (S. 153-223). Weinheim: Beltz.
- Leinhardt, G. & Greeno, J. (1986). The cognitive skill of teaching. *Journal of Educational Psychology*, 78(2), S. 75-95.
- Leisen, J. (25. April 2017). www.josefleisen.de-Wie viele Fische soll ich denn noch unterrichten_.pdf. Von <http://www.josefleisen.de/uploads2/02%20Der%20Kompetenzfermenter%20-%20Ein%20Lehr-Lern-Modell/03%20Wie%20viele%20Fische%20soll%20ich%20denn%20noch%20unterrichten.pdf>
- Leisner, A. (2005). *Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht*. Berlin: Logos Verlag.
- Lersch, R. (2010). *Wie unterrichtet man Kompetenzen? Didaktik und Praxis kompetenzfördernden Unterrichts*. Wiesbaden: Hessische Kultusministerium-Institut für Qualitätsentwicklung.
- Leuders, T. & Krauss, S. (2013). Gute Lehrer/innen müssen Fachleute sein – aber wofür? Was die COACTIV-Studie wirklich sagt. *Bildung und Wissenschaft*, 10, S. 28-31.
- Lipowski, F. (2010). Lernen im Beruf-Empirische Befunde zur Wirksamkeit von Lehrerfortbildungen. In A. E. In F. Müller, *Lehrerinnen und Lehrer lernen – Konzepte und Befunde zur Lehrerfortbildung* (S. 51-72). Münster: Waxmann.
- Lorenz, P. (2000). *Einführung in Modellierung, Simulation und Animation*. Von <http://isgwww.cs.uni-magdeburg.de/~pelo/s1g/sa1/sa1.shtml>
- Lortie, D. (2002). *Schoolteacher: A Sociological Study; 2 Auflage*. Chicago, London: University of Chicago Press.

-
- Lunetta, V. N. (1998). The School Science Laboratory: Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching. In B. J. Fraser, & K. J. Tobin, *International Handbook of Science Education* (S. 249-262). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Mahaffy, P. (2004). The future shape of chemistry education. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5(3), 229-245.
- Mammes, I. (2008). *Denkmuster von Lehrkräften als Herausforderung für Unterrichtsentwicklung*. Bad Heilbrunn: Julius Kinkhardt.
- 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.
- Merzyn, G. (2003). Fachdidaktik im Lehramtstudium. Wie zufrieden dürfen wir sein? In A. Pitton, *Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung*. (S. 173-175). Jahrestagung Berlin.
- Merzyn, G. (2008). *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik - immer unbeliebter?* Hohengehren: Schneider Verlag Hohengehren GmbH.
- Messner, R. & Blum, W. (2009). *Selbstständiges Lernen im Fachunterricht*. Kassel: kassel university press.
- Mikelskis, H., Fischler, H., Willer, J. & Klinger, W. (1997). Unterrichtspraxis im Kontext des fachdidaktischen Studiums. In H. Behrebd, *Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven*. (S. 362-364). Alsbach: Leuchtturm.
- Mikelskis-Seifert. (2003a). Über Modelle lernen-Empirische Forschung einer theoriegeleiteten Konzeption und Konsequenzen für die Unterrichtspraxis. In A. G. Pitton, *Chemie- und physikalische forschung und naturwissenschaftliche Bildung* (S. 14-26). Münster: LIT Verlag.
- Mikelskis-Seifert, S. F. (2003b). Die Bedeutung des Denkens im Chemieunterricht bei der Entwicklung von Teilchenvorstellungen-Empirische Untersuchung zur Wirksamkeit der Unterrichtskonzeption. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9, S. 75-88.
- Moosbrugger H., Kelava. A. (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion 2. Auflage*. (K. Augustin, Hrsg.) Heidelberg: Springer Verlag.
- Müller, C. (2004). *Subjektive Theorien und handlungsleitende Kognitionen von Lehrern als Determinanten schulischer Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht*. Berlin: Logos.
- Müller, M. (8. Mai 2017). www.chempage.de. <http://www.chempage.de/lexi/chemgleichgew.htm>
- Müller, S., Paechter, M., & Rebmann, K. (2008). Überzeugungen zu Wissen und Lernen von Ausbilder(inne)n-eine Pilotstudie. *Europäische Zeitschrift für Berufsbildung*, 45, 100-118.
- Musolf, T. (17. April 2017). *Chemiezauber.de Schulchemie im Kontext*. <https://www.chemiezauber.de/impressum/92-impressum-1.html>
- Nakoinz, S. (2015). *Untersuchungen zur Verknüpfung submikroskopischer und makroskopischer Konzepte im Fach Chemie* (Bd. 187). Berlin: Logos.

-
- Neumann, I. & Kremer, K. (2013). Nature of science und epistemologische Überzeugungen-Ähnlichkeiten und Unterschiede. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 209-231.
- Neuweg, G. (2011). Das Wissen der Wissensvermittler-Problemmstellung, Befunde und Perspektiven der Forschung zum Lehrerwissen. In E. Terhart, H. Bennewitz, & M. Rothland, *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (S. 451-477). Münster: Waxmann.
- O'Dwyer, A. & Childs, P. (2014). Organic chemistry in action! Developing an intervention program for introductory organic chemistry to improve learners' understanding, interest and attitudes. *Journal Chemistry Education* 91(7), 987-993.
- Orgill, M. (2005). The Role of Analogies in Chemistry teaching. In N. Pienta, M. Cooper & T. Greenbowe, *Chemists' Guide to Effective Teaching* (S. 90-105). New York: Ed. Prentice-Hall.
- Osser, J. (2007). Wissen, System und Erklärungskompetenz in der Sprachthematization. In S. Gailberger & M. Krelle, *Wissen und Kompetenz. Entwicklungslinien und Kontinuitäten in Deutschdidaktik und Deutschunterricht. Heiner Willenberg zum 65. Geburtstag* (S. 211-227). Baltmannsweiler: Schneider.
- Özmen, H. (2008). Determination of student's conception about chemical equilibrium: a review of research and the case of turkey. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 225-233.
- Palmer, D., Stough, L. & Burdinski, T. (2005). Identifying teacher expertise- An examination of researcher's decision making. *Educational Psychologist*, 40(1), S. 13-25.
- Parchmann, I., Busker, M., Klostermann, M., Herzog, S. & Huber, A. (2011). Nicht nur Schulwissen auffrischen: Vorkurse in Chemie. *Nachrichten aus der Chemie*, 59(6), 684-688.
- Parchmann, I., Scheffel, L. & Stäudel, L. (2010). Struktur-Eigenschafts-Prinzipien - Roter Faden für den Chemieunterricht. *Unterricht Chemie*, 21(115), 8-11.
- Petermann, K., Friedrich, J. & Oetken, M. (2008). Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren. *Chemie konkret*, 15(3), 110-118.
- Pietzner, V. (2005, 54(3)). Atommodelle im Chemieunterricht der S I. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 2-6.
- Pietzner, V. & Pfeifer, P. (2008). Von der Alltagserfahrung zur Fachsystematik- Organische Chemie in der Sekundarstufe I. *Unterricht Chemie*, 19(103), 4-8.
- Priemer, B. (2006). Deutschsprachige Verfahren der Erfassung von epistemologischen Überzeugungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 159-175.
- Püttchneider, M. & Lück, G. (2004). Die Rolle des Animismus bei der Vermittlung chemischer Sachverhalte. *Chemie konkret*, 11(4), 167-173.
- Rauch, B. (2007). *Examensarbeit - Denken in Modellen - Auswertung der Hauptuntersuchung, Optimierung der Modellfilme und Konzeption von Unterrichtsentwürfen*. Ludwig-Maximilian Universität München.

-
- Rehm, M.. (2006). Allgemein naturwissenschaftliche Bildung-Entwicklung eines vom Begriff "Verstehen" ausgehendes Kompetenzmodell. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 23-44.
- Rehm, M. (2009). Lern-Sinn, Erfahrungslernen und Verstehen-Modellierung einer Kompetenz des naturwissenschaftlichen Verstehens. In d. Höttecke (Hrsg.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik* (S. 21-35). Dresden: Höttecke, Dietmar.
- Rehm, M. & Stäudel, L. (2010). Nature of Science-Erwartungen und Ansätze. *Unterricht Chemie*, 21(118), 14-15.
- Rehm, M.; Stäudel, L. (2012). Grundbegriffe und Basiskonzepte der Chemie. *Unterricht Chemie*, 23(128), 2-7.
- Reinboth, C. (1. September 2007). <http://statistikberatung.blogspot.de>. Von <http://www.statistikberatung.eu>
- Reiners, C. (1997). Systemische Aspekte und Säure-Base-Konzepte. *MNU*, 3(50), 135-141.
- Reinhold, P. (2004). Naturwissenschaftsdidaktische Forschung in der Lehrerbildung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 117-146.
- Riedel, E. (1990). Anorganische Chemie. de Gryter.
- Riese, J. (2010). Empirische Erkenntnisse zur Wirksamkeit der universitären Lehrerbildung. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 25-33.
- Rieß, W. & Robin, N. (2012). Befunde aus der empirischen Forschung zum Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz, *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht-Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 129-152). Münster: Waxmann.
- Rohloff, B. (2002). Einführung eines Kern-Hülle-Modells. Plädoyer für eine Renaissance des Kugelwolkenmodells. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 13(67), S. 20-23.
- Rumsey, D. (2014). *Statistik II für Dummies*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Rumsey, D. (2015). *Statistik für Dummies*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Saballus, U., Bolte, C. & Schanze, S. (2005). Über den allgemeinen Charakter von chemischen Modellen - eine empirische Untersuchung zum Modellverständnis. In A. Pitton, *Chemie-und physikalische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung. Zur Didaktik der Physik und Chemie Probleme und Perspektiven* (S. 430-432). Münster: LIT-Verlag.
- Saborowski, J. (2000). *Computervisualisierung und Modelldenken. Konzeptionelle Grundlagen und fachdidaktische Konsequenzen für den Chemieunterricht*. Köln: Jörg Saborowski-Köln, zugl. Köln, Univ., Diss., 1999.
- Salomon, G. (1979). *Interaction of media, cognition, and learning*. San Francisco. : Jossey-Bass.
- Schipe-Tiska, A., Schmidtner, S., Müller, K., Heine, J.-H., Neumann, K. & Lüdtker, O. (2016). Naturwissenschaftlicher Unterricht in PISA 2015 im internationalen Vergleich. In K. Reiss, C.

Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Kieme, & O. Köller, *PISA 2015- Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation* (S. 133-166). Waxmann.

- Schlichter, N. (2012). *Dissertation Lehrerüberzeugungen zum Lehren und Lernen*. Göttingen.
- Schmidt, H.-J., Kaufmann, B. & Treagust, D. (2009). Student`s understanding of boiling points and intermolecular forces. *Chemistry Education Research an Praktici 10*, S. 265-272.
- Schmitkunz, H. (1995). Chemieunterricht im Umbruch, Tendenzen und Perspektiven. *Plus Lucius, 2*, 8-10.
- Schnell, R., Hill, P. & Esser, E. (2011). *Methoden der empirischen Sozialforschung, 9*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Schommer, M. (1990). Effects of beliefs about the nature of knowledge on comprehension. *Journal of Educational Psychology, 82(3)*, 498-504.
- Schommer-Atkins, M. (2004). Explaining the epistemological belief system: Introducing the embedded systemic model and coordinated research approach. *Educational Psychologist, 39*, S. 19-29.
- Schule-Studium.de*. (17. April 2017). http://www.schule-studium.de/Chemie/Das_Bohrsche_Atommodell.html
- Schultalbers, M. & Müller, R. (5. Mai 2017). *www.sonenthaler.net*. <https://www.sonenthaler.net/aktivitaeten/materie/wasser/anomalie/info.html>
- Seilnacht, T. (8. April 2017). *www.seilnacht.com*. <http://www.seilnacht.com/Lexikon/psymbol.htm>
- Sembill, D. (2004). *Prozessanalysen Selbstorganisierten Lernens*. Bamberg: DFG-Abschlussbericht.
- Sembill, D., Seifried, J. (2009). Konzeptionen, Funktionen und intentionale Veränderungen von Sichtweisen. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, K. Beck, D. Sembill, R. Nickolaus, & R. Mulder, *Lehrprofessionalität-Bildungen, Genese, Wirkungen und ihre Messung* (S. 344-354). Weinheim und Basel: Beltz.
- Shulman, L. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher, 2*, 4-14.
- Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching of the new reform. *Harward Educational Reviews, 57*, 1-22.
- Sommer, K., Toschka, C., Schröder, L., Schröder, T., Steff, H. & Fischer, R. (2017). Modellexperimente im Chemieunterricht - Ein Beitrag zur Definition des Begriffes Modellexperiment und zur Bestimmung des Modellierungsgrades. *Chemie konkret, 24(1)*, 13-19.
- Sommer, K., Klein, M., Steff, H., Pfeifer, P. (2012). Modellexperimente-Zwischen Anschauungselement und Erkenntnisgewinnung. *Naturwissenschaft Unterricht Chemie 6/12, Heft 132*, 2-9.
- Stachowiak, H. (1980). Der Weg zum Systematischen Neoprgmatismus und das Konzept der Allgemeinen Modelltheorie. In H. Stachowiak, *Modelle und Modelldenken im Unterricht* (S. 9-49). Heilbrunn: Klinkhardt.

-
- Stäudel, L. (2003). Naturwissenschaftliches Arbeiten. *Unterricht Chemie*, 14 (76/77), S. 4-6.
- Stäudel, L., Franke-Braun, G. & Parchmann, I. (2008). Sprache, Kommunikation und Wissenserwerb im Chemieunterricht. *Unterricht Chemie*, 19(106), 4-9.
- Steff, H. (2015). *Dissertation Untersuchungen über Modellexperimente des Chemieunterrichts, dargestellt am Beispiel der Mehlstaunexplosion*. Ruhr-Universität Bochum: RUB-Bibliotheksportal.
- Steffens, U. & Höfer, D. (2014). *Die Hatti-Studie-Forschungsbilanz und Handlungsperspektiven*. Bundesministerium für Bildung und Frauen.
- Steinbuch, K. (1977). Denken in Modellen. In G. T. Schaefer, & K. Wenk, *Denken in Modellen* (S. 10-17). Braunschweig: Westermann.
- Stender, A. (2014). *Unterrichtsplanung: Vom Wissen zum Handeln Bd. 170*. Berlin: Logos.
- Stern, E. (2009). Implizite und explizite Lernprozesse bei Lehrerinnen und Lehrern. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, K. Beck, D. Sembill & R. Mulder. *Lehrprofessionalität- Bedingungen, Genese, Wirkungen und ihre Messung*. (S. 355-364). Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Sumfelth, E., & Kleine, E. (1999). Analogien im Chemieunterricht - eine Fallstudie am Beispiel des "Ball der einsamen Herzen". *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 5(3), 39-56.
- Sumfleth, E., & Gramm, A. (1983). Zur Situation des Chemieunterrichts im Bereich der Sekundarstufe II unter besonderer Berücksichtigung von Unterrichtsinhalten der Organischen Chemie. *Der Chemieunterricht*, 14(2), 4-28.
- Suwelack, W. (2010). Lehren und Lernen im kompetenzorientierten Unterricht. Modellvorstellungen für die Praxis: Vom Kompetenzmodell zum Prozessmodell ("Lernfermenter"). *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 63(3), 176-182.
- Sykes, P. (1988). *Reaktionsmechanismen der Organischen Chemie*. Weinheim: VCH-Verlagsgesellschaft.
- Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro and Symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.
- Telgenbüscher, L. (1999). *Zur Visualisierung von chemischen Konzepten: Untersuchungen von Lernumgebungen und Lernparametern für effektives Lernen in Bildern*. Münster: LIT Verlag.
- Tepner, O., Borowski, A., Dollny, S., Fischer, H., Jüttner, M., Kirschner, S., . . . Wirth, J. (2012). Modell zur Entwicklung von Testitems zur Erfassung von Lehrkräften in den Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 7-28.
- Terhart, E. (2009). Erste Phase: Lehrerbildung an der Universität. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, K. Beck, S. Sembil, R. Nickolaus & R. Mulder. *Lehrprofessionalität-Bedingungen, Genese, Wirkungen und ihre Messung*. (S. 425-437). Weinheim-Basel: Beltz.
- Terzer, E. (2012). *Dissertation Modellkompetenz im Kontext Biologieunterricht – Empirische Beschreibung von Modellkompetenz mithilfe von Multiple-Choice Items*. Berlin.

-
- Terzer, E. & Upmeyer zu Belzen, A. (2007). Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung durch Modelle-Modellverständnis als Grundlage für Modellkompetenz. *Berichte des Institutes für Didaktik Biologie*, 16, 33- 56.
- Trabert, A., Eckert, F. & Schween, M. (2016). Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen knüpfen lernen – ein Modellexperiment zum konzeptbasierten Problemlösen. *Chemie konkret*, 23(4), 163-169.
- Treagust, D., Chittleborough, G. & Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
- Trier, U. & Upmeyer zu Belzen, A. (2009). „Die Wissenschaftler nutzen Modelle, um etwas Neues zu entdecken, und in der Schule lernt man einfach nur, dass es so ist.“ –Schülervorstellungen zu Modellen. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik* 8, S. 23-37.
- Universität Rostock, I. f. (8. Mai 2017). www.didaktik.chemie.uni-rostock.de.
<https://www.didaktik.chemie.uni-rostock.de/forschung/chemie-fuers-leben-sek-i/4-kugelwolkenmodell>
- Upmeyer zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41-57.
- Urdan, T. (2010). *Statistics in Plain English Third Edition*. New York, London: Routledge.
- Urhahne, D. & Hopf, M. (2004). Epistemologische Überzeugungen in den Naturwissenschaften und ihre Zusammenhänge mit Motivation, Selbstkonzept und Lernstrategien. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 71-87.
- Urhane, D., Prenzel, M., von Davier, M., Senkbeil, M. & Bleschke, M. (2000). Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht - Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6 , 175-186.
- Van Driel, J. & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education* 24(12)., 1255-1272.
- Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2013). Zur Handlungsvalidität von Test zum professionellen Wissen von Lehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 103-128.
- Vollhardt, K. (1988). *Organische Chemie*. Weinheim: VCH-Verlagsgesellschaft.
- Wagner, W. (2013). Ein "bestes" Modell für die kovalente Bindung. *Chemie in der Schule* 8/62, 5-9.
- Weinert, F. (2001). Concept of competence: A conceptual clarification. In D. & Rychen, *Defining and Selecting Key Competencies* (S. 45-65). Göttingen: Hogrefe & Huber.
- Weinert, F. & Helmke, A. (1996). Der gute Lehrer: Person, Funktion oder Fiktion? *Zeitschrift für Pädagogik. Beiheft; 34 Die Institutionalisierung von Lehren und Lernen Beiträge zu einer Theorie der Schule, Leschinsky, Achim [Hrsg.]*, 223-233.
- Wellnitz, N., Fischler, H., Kauertz, A., Mayer, J., Neumann, I., Pant, H., . . . Walpulski, M. (2012). Evaluation der Bildungsstandards - eine fächerübergreifende Testkonzeption für den

Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, S. 261-291.

Wessler, V. (17. April 2017). *silde.Palyer Atomhypothese Atommodell: Kern-Hülle Schalenmodell*. Von <http://slideplayer.org/slide/1281900/>

Wiehoczek, D. (31. August 2004). *Animismen-Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie*. www.chemieunterricht.de/dc2/grundsich/seifen/seif_19.htm

Willig, H. (17. April 2017). *Die Chemie-Schule*. <http://www.chemie-schule.de/stnfo.php>

Wirbs, H. (2002). *Modellvorstellungen und Formelverständnis im Chemieunterricht*. Münster: Schöling.

Woest, V. & Lipski, R. (1997). Der 'ungeliebte' Chemieunterricht? Ergebnisse einer Befragung von Schülern/-innen der Sekundarstufe 2. In H. Behrendt, *Zur Didaktik der Physik und Chemie* (S. 371-373). Alsbach/Bergstraße.

Zeidler, S., Heller, N. & Asbrand, B. (2012). *Bildungsstandards in der Schule-Eine rekonstruktive Studie zur Implementierung der Bildungsstandards*. Münster: Waxmann.

11. Anhang

Leistungsbeschreibung Seminararbeit

Seminararbeit Fortgeschrittenenkurs Modelle und Modelldenken im organischen Chemieunterricht

Abgabetermin 15.07.2014 in digitaler Form an estorff-uni@t-online.de

Gruppenarbeit 4 bis 5 Teilnehmer

Thema Modelle im Chemieunterricht

- Geben Sie einen kurzen Überblick über ihre Kenntnisse zu den unterrichtsrelevanten Modellen im Chemieunterricht.
- Welche Rolle spielen intermolekulare Kräfte beim Verständnis der Struktur-Eigenschafts-Beziehung in der organischen Chemie?
- Wie wurden bei Ihnen die intermolekularen Kräfte eingeführt. – Ergebnis ihrer eigenen Erfahrung.
- Didaktische Bewertung ihrer Erfahrung aus der Sicht zukünftiger Lehrkräfte.
- Überlegungen zur Bedeutung des *denken in Modellen* für den Chemieunterricht.

Welche Möglichkeiten bieten digitale Medien, insbesondere Simulationen und Animationen.

- Unterscheidung Animation und Simulation.
- Recherche und Vergleich bereits bestehender App's

Welche Kriterien sollte eine App erfüllen, die einen konzeptionell ausgerichteten Unterricht unterstützen soll?

Schreiben Sie ein Storyboard für eine mögliche App zum Thema

- Übergang Schalenmodell zu Modellen die für die organische Chemie relevant sind.
- Struktur-Eigenschafts-Konzept: Schwerpunkt Van-der-Waal-Kräfte.

Überlegen Sie, wie die von ihnen entwickelte App didaktisch Begründet im Chemieunterricht eingesetzt werden können. Jede Gruppe sollte ein Schwerpunktthema wählen.

Fragebogen für die Studierenden

Sehr geehrte Lehramtsstudierende, Chemielehrerinnen und Chemielehrer!

Im Folgenden bitten wir Sie, einige Fragen zum Thema Modellvorstellungen und Modelle in der Organischen Chemie zu beantworten. Diese **anonyme Befragung** dient im Rahmen einer Promotionsarbeit der Entwicklung eines Konzepts für eine verbesserte Ausbildung zukünftiger Lehrerinnen und Lehrer.

Bitte füllen Sie diesen Fragebogen so vollständig wie möglich aus, der zeitliche Aufwand beträgt etwa 15 Minuten.

Herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit.

1. Teil: Modellvorstellungen

	<i>stimmt</i>	<i>Stimmt eher</i>	<i>eher nicht</i>	<i>Stimmt nicht</i>
1. Ein Modell ist eine reine Abbildung der Realität.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Ein Modell beschreibt bestimmte Ideen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Ein Modell wird konstruiert, um eine Idee zu entwickeln und zu prüfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Ein direkter Bezug eines Modells zur Realität ist nicht unbedingt notwendig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Symbole sind nicht Bestandteil eines Modells.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Symbole können bewusst eingesetzt werden, wenn es dem Zweck des Modells nutzt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Der Entwickler eines Modells bestimmt die Festlegung und Nutzung von Symbolen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Der Modellbenutzer bestimmt das Design des Modells.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Die Rolle des Modellentwicklers ist nicht groß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Der Modellentwickler trifft bewusste Entscheidungen mit Blick auf den Zweck des Modells.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Der Modellentwickler konstruiert, verändert und prüft aktiv das Modell, um Ideen zu testen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Ein Modell illustriert abbildhaft ein reales Objekt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

13. Ein Modell veranschaulicht bestimmte Teilaspekte von Realitäten und erleichtert Verständnis und Kommunikation dieser Teilaspekte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Modelle werden kritisch diskutiert und gegeneinander abgewogen. Unterschiedliche Modelle haben unterschiedliche Zwecke.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Modelle sind Abbilder der Realität und benötigen daher keiner Testung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. Modelle werden an der Realität auf ihre Erklärungsmöglichkeit hin geprüft, dies kann auch zur Ablösung eines Modells führen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Modelle werden systematisch getestet, um in einem zyklischen Prozess wissenschaftliche Erkenntnisse zu verbessern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Modelle verändern sich als Abbilder von Realitäten nicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Es gibt Grenzen von Modellen in ihrer Erklärungsmöglichkeit, was zur Ablösung eines Modells führen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. Modelle werden systematisch variiert und verändert, um in einem zyklischen Prozess wissenschaftliche Erkenntnisse zu verbessern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie würden Sie Modellversuche in der Chemie definieren?

Welche Modellversuche sind Ihnen bekannt?

Zu welchen Themen würden Sie Modellversuche einsetzen?

In einigen Schulbüchern wird die Mischung von Ethanol und Wasser als Modellversuch beschrieben, um damit die unterschiedliche Teilchengröße von Stoffen zu zeigen. Oft wird dies weiter mit Erbsen und Linsen veranschaulicht. Dieses wird in der Chemiedidaktik kontrovers diskutiert. Kennen Sie die unterschiedlichen Positionen?

Ich habe noch nie etwas davon gehört.

Ist mir bekannt, ich kenne aber nicht die Begründung.

Ja ich kenne die Diskussion und mir sind die verschiedenen Positionen bekannt.

Da es im Schulbuch steht, gehe ich davon aus, dass es didaktisch korrekt ist.

2. Teil: Fragen zu Modellen der organischen Chemie

Kreuzen Sie an welche der Aussagen zutrifft. Es sind auch mehrere Aussagen möglich.

Das Kugel- Stab-Modell

- | | |
|---|--------------------------|
| gibt die Bindungswinkel und Bindungslängen sehr anschaulich wieder. | <input type="checkbox"/> |
| zeigt die freie Drehbarkeit um die C-C Einfachbindung. | <input type="checkbox"/> |
| gibt gut die Raumerfüllung und damit die äußere Form der Moleküle wieder. | <input type="checkbox"/> |

Im Kalottenmodell

- | | |
|--|--------------------------|
| entsprechen die sich teilweise durchdringenden Kugeln einer Elektronenpaarbindung. | <input type="checkbox"/> |
| werden Bindungslängen und Bindungswinkel maßstabgerecht wiedergegeben. | <input type="checkbox"/> |
| wird die Raumerfüllung von Molekülen besonders deutlich. | <input type="checkbox"/> |

Mit der Strukturformel

- | | |
|---|--------------------------|
| ist nur eine zweidimensionale Darstellung von Molekülen möglich. | <input type="checkbox"/> |
| lässt sich durch geschwärzte Keile und Strichkeile eine 3D-Struktur darstellen. | <input type="checkbox"/> |
| lässt sich besonders gut die Kristallstruktur darstellen. | <input type="checkbox"/> |

In der Lewisformel

- | | |
|---|--------------------------|
| werden nur die Bindungslängen zwischen den Kohlenstoffatomen angezeigt. | <input type="checkbox"/> |
| werden alle bindenden und freien Elektronenpaare angezeigt. | <input type="checkbox"/> |
| wurde das Molekül auf die Papierebene projiziert. | <input type="checkbox"/> |

Das Orbitalmodell liefert einen Ansatz

- | | |
|---|--------------------------|
| der den Aufbau von Atomen am verständlichsten widerspiegelt. | <input type="checkbox"/> |
| der die quantitative Beschreibung von Elektronen im elektrischen Feld eines Atomkerns ermöglicht. | <input type="checkbox"/> |
| mit der chemische Bindungen plausibel erklärt werden. | <input type="checkbox"/> |

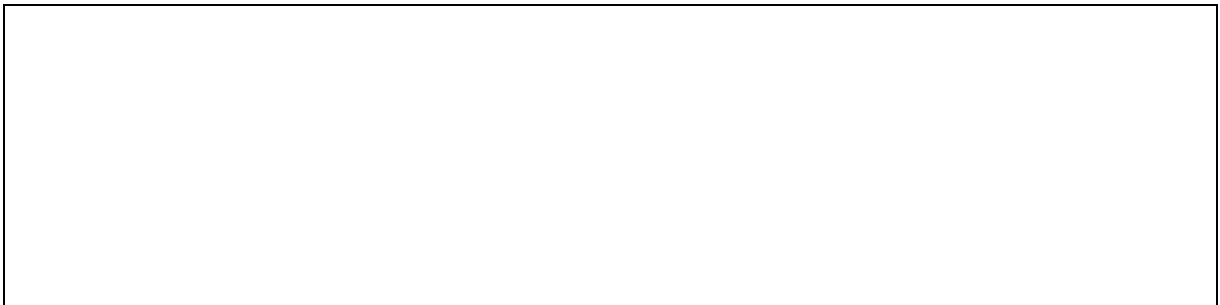
Mit dem Elektronenabstoßungsmodell (VSEPR)

lässt sich die dichteste Kugelpackung erläutern.

lässt sich die Oktettregel ableiten.

lassen sich Molekülgeometrien vorhersagen.

Zeichnen Sie das Cyclohexanmolekül in der Sesselform.



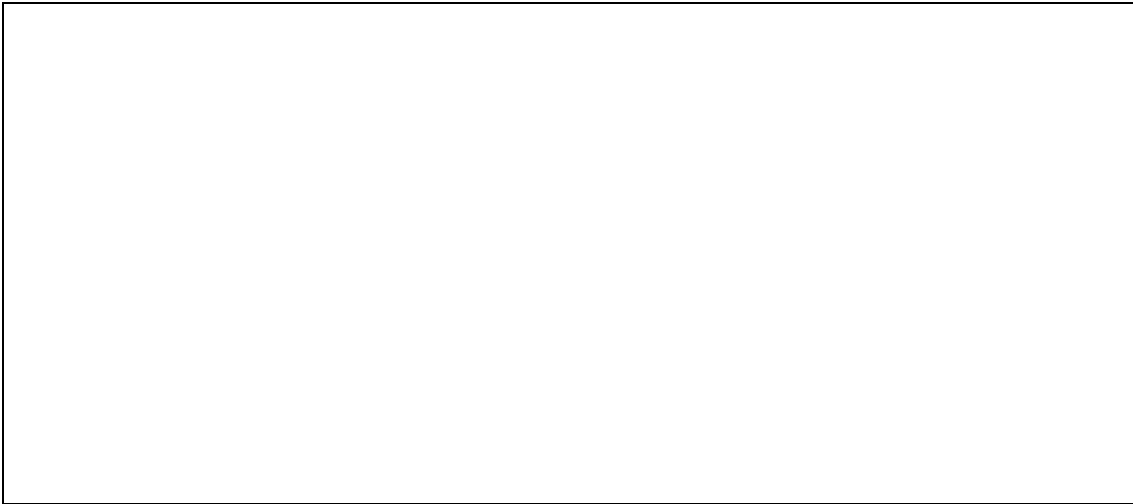
Zeichnen Sie das Propanmolekül als Skelettform.



Zeichnen Sie das Propanmolekül in der Halbstrukturformel.



Van der Waals Kräfte gehören zu den zwischenmolekularen Kräften. Zeichnen Sie ein Modell mit dem diese Anziehungskräfte einer Oberstufenklasse / Klasse 10 erklärt werden kann.



3. Teil: Fragen zum Einsatz digitaler Medien

Als digitale Medien werden hier Computer, Notebooks, Tablets, Aktivboards et. zusammengefasst.

Ihre Meinung zum Einsatz digitaler Medien.	<i>stimmt</i>	<i>Stimmt eher</i>	<i>Stimmt nicht</i>	<i>Stimmt nicht eher</i>
Ich verwende digitale Medien als Kommunikationsmittel (Blog, Forum, Chat, E-Mail).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mir sind Kompetenzen zum Einsatz digitaler Medien für meinen Beruf wichtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit digitalen Medien kann man manche Dinge besser verdeutlichen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch den Einsatz von digitalen Medien kann ich Zeit sparen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich halte es für Überflüssig, digitale Medien im Chemieunterricht einzubinden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe das Gefühl, im Studium gut für den Einsatz digitaler Medien ausgebildet worden zu sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich würde gerne Fortbildungsveranstaltungen besuchen, die speziell auf den Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht ausgerichtet sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich glaube, durch den Einsatz digitaler Medien wird der Unterricht interessanter.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit digitalen Medien können Schüler individueller arbeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich überlege genau, was ich mit dem Einsatz digitaler Medien erreichen will.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Welche Einsatzbereiche digitale Medien im Unterricht sind für Sie von besonderen Interesse?	<i>stimmt</i>	<i>stimmt eher</i>	<i>Stimmt nicht</i>	<i>Stimmt nicht eher</i>
Messwerterfassung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nutzung des Internets als Informationsquelle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Räumliche Moleküldarstellungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Animationen/ Simulationen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chemische Zeichenprogramme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Lerneinheiten

Angaben zur Person:

Geschlecht: w m

Bitte geben Sie Ihr **Alter** an:

≤ 24 25-29 30-34 35-39 40-44 45-49 50- 54 55-59 ≥ 60

Haben Sie in ihrem Studium ein Seminar zum Thema Modelle in der Chemie besucht? Ja Nein

Gab es Angebote an Didaktikseminaren zum Thema Modelle im Chemieunterricht? Ja Nein

In welchem Semester befinden Sie sich?

Welche Unterrichtsfächer studieren sie?

Online-Fragebogen Lehrkräfte

Sehr geehrte Chemielehrerinnen und Chemielehrer!

Modelle spielen im Chemieunterricht eine wichtige Rolle und obwohl das Thema in allen Standardwerken der Chemiesdidaktik diskutiert wird, findet es in der Lehrerbildung und im Chemieunterricht kaum Beachtung. In diesem Zusammenhang interessiert uns das Modellverständnis von Lehrkräften. Der Fragebogen kann in 15 bis 20 Minuten bearbeitet werden und dient dem Vergleich von Chemie-Lehramtsstudierenden und erfahrenen Chemielehrkräften. Ziel soll eine veränderte Lehrerbildung zum Thema Modelle in der Organischen Chemie sein. Die Daten werden anonym erhoben und nur für die Auswertung gespeichert.

Herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit.

Esther von Estorff und Prof. Dr. Verena Pietzner

1. Teil: Modellvorstellungen

	<i>stimmt</i>	<i>Stimmt eher</i>	<i>eher nicht</i>	<i>Stimmt nicht</i>
1. Ein Modell ist eine reine Abbildung der Realität.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Ein Modell beschreibt bestimmte Ideen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Ein Modell wird konstruiert, um eine Idee zu entwickeln und zu prüfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Ein direkter Bezug eines Modells zur Realität ist nicht unbedingt notwendig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Symbole sind nicht Bestandteil eines Modells.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Symbole können bewusst eingesetzt werden, wenn es dem Zweck des Modells nutzt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Der Entwickler eines Modells bestimmt die Festlegung und Nutzung von Symbolen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Der Modellbenutzer bestimmt das Design des Modells.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Die Rolle des Modellentwicklers ist nicht groß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Der Modellentwickler trifft bewusste Entscheidungen mit Blick auf den Zweck des Modells.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

11. Der Modellentwickler konstruiert, verändert und prüft aktiv das Modell, um Ideen zu testen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Ein Modell illustriert abbildhaft ein reales Objekt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Ein Modell veranschaulicht bestimmte Teilaspekte von Realitäten und erleichtert Verständnis und Kommunikation dieser Teilaspekte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Modelle werden kritisch diskutiert und gegeneinander abgewogen. Unterschiedliche Modelle haben unterschiedliche Zwecke.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Modelle sind Abbilder der Realität und benötigen daher keiner Testung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. Modelle werden an der Realität auf ihre Erklärungsmöglichkeit hin geprüft, dies kann auch zur Ablösung eines Modells führen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Modelle werden systematisch getestet, um in einem zyklischen Prozess wissenschaftliche Erkenntnisse zu verbessern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Es gibt Grenzen von Modellen in ihrer Erklärungsmöglichkeit, was zur Ablösung eines Modells führen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Modelle werden systematisch variiert und verändert, um in einem zyklischen Prozess wissenschaftliche Erkenntnisse zu verbessern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fragen zu Modellversuche:

Wie würden Sie Modellversuche in der Chemie definieren?

Welche Modellversuche sind Ihnen bekannt?

Zu welchen Themen würden Sie Modellversuche einsetzen?

In einigen Schulbüchern wird die Mischung von Ethanol und Wasser als Modellversuch beschrieben, um damit die unterschiedliche Teilchengröße von Stoffen zu zeigen. Oft wird dies weiter mit Erbsen und Linsen veranschaulicht. Dieses wird in der Chemiedidaktik kontrovers diskutiert. Kennen Sie die unterschiedlichen Positionen?

Ich habe noch nie etwas davon gehört.	<input type="checkbox"/>
Ist mir bekannt, ich kenne aber nicht die Begründung.	<input type="checkbox"/>
Ja ich kenne die Diskussion und mir sind die verschiedenen Positionen bekannt.	<input type="checkbox"/>
Da es im Schulbuch steht, gehe ich davon aus, dass es didaktisch korrekt ist.	<input type="checkbox"/>

2. Teil: Fragen zu Modellen der organischen Chemie

Kreuzen Sie an welche der Aussagen zutrifft. Es sind auch mehrere Aussagen möglich.

Das Kugel- Stab-Modell

- | | |
|---|--------------------------|
| gibt die Bindungswinkel und Bindungslängen sehr anschaulich wieder. | <input type="checkbox"/> |
| zeigt die freie Drehbarkeit um die C-C Einfachbindung. | <input type="checkbox"/> |
| gibt gut die Raumerfüllung und damit die äußere Form der Moleküle wieder. | <input type="checkbox"/> |

Im Kalottenmodell

- | | |
|--|--------------------------|
| entsprechen die sich teilweise durchdringenden Kugeln einer Elektronenpaarbindung. | <input type="checkbox"/> |
| werden Bindungslängen und Bindungswinkel maßstabgerecht wiedergegeben. | <input type="checkbox"/> |
| wird die Raumerfüllung von Molekülen besonders deutlich. | <input type="checkbox"/> |

Mit der Strukturformel

- | | |
|---|--------------------------|
| ist nur eine zweidimensionale Darstellung von Molekülen möglich. | <input type="checkbox"/> |
| lässt sich durch geschwärzte Keile und Strichkeile eine 3D-Struktur darstellen. | <input type="checkbox"/> |
| lässt sich besonders gut die Kristallstruktur darstellen. | <input type="checkbox"/> |

In der Lewisformel

- | | |
|---|--------------------------|
| werden nur die Bindungslängen zwischen den Kohlenstoffatomen angezeigt. | <input type="checkbox"/> |
| werden alle bindenden und freien Elektronenpaare angezeigt. | <input type="checkbox"/> |
| wurde das Molekül auf die Papierebene projiziert. | <input type="checkbox"/> |

Das Orbitalmodell liefert einen Ansatz

- | | |
|---|--------------------------|
| der den Aufbau von Atomen am verständlichsten widerspiegelt. | <input type="checkbox"/> |
| der die quantitative Beschreibung von Elektronen im elektrischen Feld eines Atomkerns ermöglicht. | <input type="checkbox"/> |
| mit der chemische Bindungen plausibel erklärt werden. | <input type="checkbox"/> |

Mit dem Elektronenabstoßungsmodell (VSEPR)

- | | |
|--|--------------------------|
| lässt sich die dichteste Kugelpackung erläutern. | <input type="checkbox"/> |
| lässt sich die Oktettregel ableiten. | <input type="checkbox"/> |
| lassen sich Molekülgeometrien vorhersagen. | <input type="checkbox"/> |

Van der Waals Kräfte gehören zu den zwischenmolekularen Kräften. Beschreiben Sie ein Modell mit dem diese Anziehungskräfte einer Oberstufenklasse / Klasse 10 erklärt werden kann.

Mit welchem Modell kann ihrer Meinung nach die Wasserstoffbrückenbindung erklärt werden?

- | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Mit dem Schalenmodell nach Bohr. | <input type="checkbox"/> <i>Ja</i> | <input type="checkbox"/> <i>Nein</i> |
| Mit dem Kugelwolkenmodell. | <input type="checkbox"/> <i>Ja</i> | <input type="checkbox"/> <i>Nein</i> |
| Mit dem Orbitalmodell. | <input type="checkbox"/> <i>Ja</i> | <input type="checkbox"/> <i>Nein</i> |
| Mit dem VESPR-Modell | <input type="checkbox"/> <i>Ja</i> | <input type="checkbox"/> <i>Nein</i> |

Welche Modelle wurden vor der Einführung der zwischenmolekularen Kräfte von Ihnen mit den Schülerinnen und Schülern besprochen?

- | | | |
|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Schalenmodell nach Bohr. | <input type="checkbox"/> <i>Ja</i> | <input type="checkbox"/> <i>Nein</i> |
| Kugelwolkenmodell. | <input type="checkbox"/> <i>Ja</i> | <input type="checkbox"/> <i>Nein</i> |
| Orbitalmodell. | <input type="checkbox"/> <i>Ja</i> | <input type="checkbox"/> <i>Nein</i> |
| VESPR-Modell | <input type="checkbox"/> <i>Ja</i> | <input type="checkbox"/> <i>Nein</i> |

3. Teil: Fragen zum Einsatz digitaler Medien

Als digitale Medien werden hier Computer, Notebooks, Tablets, Aktivboards et. zusammengefasst.

Ihre Meinung zum Einsatz digitaler Medien.	<i>stimmt</i>	<i>Stimmt eher</i>	<i>eher nicht</i>	<i>Stimmt nicht</i>
Ich verwende digitale Medien als Kommunikationsmittel (Blog, Forum, Chat, E-Mail).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mir sind Kompetenzen zum Einsatz digitaler Medien für meinen Beruf wichtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit digitalen Medien kann man manche Dinge besser verdeutlichen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch den Einsatz von digitalen Medien kann ich Zeit sparen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich halte es für Überflüssig, digitale Medien im Chemieunterricht einzubinden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe das Gefühl, im Studium gut für den Einsatz digitaler Medien ausgebildet worden zu sein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich würde gerne Fortbildungsveranstaltungen besuchen, die speziell auf den Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht ausgerichtet sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich glaube, durch den Einsatz digitaler Medien wird der Unterricht interessanter.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit digitalen Medien können Schüler individueller arbeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich überlege genau, was ich mit dem Einsatz digitaler Medien erreichen will.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Welche Einsatzbereiche digitale Medien im Unterricht sind für Sie von besonderen Interesse?				
Messwerterfassung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nutzung des Internets als Informationsquelle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Räumliche Moleküldarstellungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Animationen/ Simulationen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chemische Zeichenprogramme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lerneinheiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Angaben zur Person:

Geschlecht: w m

Bitte geben Sie Ihr **Alter** an: ≤ 24 25-29 30-34 35-39 40-44 45-49

50-54 55-59 ≥ 60

Haben Sie in ihrem Studium ein Seminar zum Thema Modelle in der Chemie besucht? Ja Nein

Gab es Angebote an Didaktikseminaren zum Thema Modelle im Chemieunterricht? Ja Nein

Wird das Thema Modelle in der Chemie von Ihnen im Unterricht thematisiert? Ja Nein

Welchen Amtstitel haben Sie? Referendar/in Lehrer/in in Klasse 5-10

Studienrat/rätin Oberstudienrat/rätin

Falls Sie eine sonstige Position (Sammlungsleiter/in, Leiter/in der Fachgruppe, usw.) haben, geben Sie diese bitte an:

Wie lange sind Sie bereits im Schuldienst (inklusive Vorbereitungsdienst)? _____ Jahre.

Welchen Hochschulabschluss haben Sie im Fach **Chemie**?

Lehramt für Haupt-/Realschule Lehramt für Gymnasium Lehramt für Berufsschulen

Diplom Promotion

In welcher Schulform unterrichten Sie zurzeit? Gymnasium Gesamtschule

Hauptschule Realschule

Vielen Dank für Ihre Unterstützung

Digitaler Anhang

Rohdaten und Berechnungen mit SPSS 22 und 24 liegen vor bei Herrn Prof. Dr. Boris Schmidt am Clemens Schöpf-Institut für Organische Chemie und Biochemie der Technischen Universität Darmstadt.

Statistische Erläuterungen

α - Wert	Cronbachs Alpha misst die interne Konsistenz einer Skala. Es beschreibt inwieweit die Items miteinander in Beziehung stehen.
Asymptotische Signifikanz oder p-Wert	Bezeichnet den Signifikanzwert. Sie gibt keine Aussage über die Größe des Unterschiedes an, sondern die Wahrscheinlichkeit, dass der Unterschied zwischen zwei Variablen nicht auf Zufall beruht. In der Regel wird von einem signifikanten Unterschied gesprochen, wenn der p-Wert $< 0,05$ ist.
χ^2 Chi-Quadrat nach Pearson	Der Chi-Quadrat Test angewendet auf Kreuztabellen, beschreibt die Wahrscheinlichkeit, ob Zusammenhänge nicht zufällig sind. Für die Berechnung der Teststatistik werden beobachtete und erwartete Häufigkeiten verglichen. Um zu prüfen, ob Abweichungen signifikant sind, wird die Teststatistik mit den kritischen Werten der Chi-Quadrat-Verteilung, die durch die Freiheitsgrade df bestimmt werden, verglichen.
df	Degrees of freedom = Freiheitsgrade $df = (\text{Anzahl der Kategorie a} - 1) \times (\text{Anzahl der Kategorie b} - 1)$
Explorative Faktorenanalyse	In der explorativen Faktorenanalyse werden aus den erhobenen Daten Zusammenhänge gesucht, die in Hauptkomponenten zusammengefasst werden können. Die Faktorladung zeigt, wie gut die Daten im Zusammenhang zur der Kategorie stehen.
KMO Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium	Gibt an, ob ein Datensatz für eine Faktorenanalyse geeignet ist. Werte $> 0,6$ zeigen, dass eine Faktorenanalyse möglich ist. Werte $> 0,8$ werden als gut bezeichnet.
Kaiser-Guttman-Kriterium	Dient der Bestimmung der Faktorenzahl bei einer explorativen Faktorenanalyse. Es werden

	alle Faktoren mit Eigenwerten größer als eins als relevant erachtet.
Kruskal-Wallis-Test (H-Test)	Ist ein Nicht-Parametrischer Rangsummentest. Die Daten müssen nicht normverteilt sein. Es sollte jedoch eine Ordinalskalierung vorliegen. Es wird im wesentlichen untersucht, ob sich Unterschiede zum Beispiel im Median (SPSS) mehrerer unabhängiger Stichproben ergeben.
Mann-Whitney Test (U-Test)	Ist ebenfalls ein Nicht-Parametrischer Rangsummentest. Im Unterschied zum Kruskal-Wallis-Test werden zwei unabhängige Stichproben untersucht.
Normverteilung	Die Normverteilung ist ein Verteilungsmodell numerischer Daten in der Statistik. Ein symmetrischer Kurvenverlauf besagt, dass Median und Mittelwert gleich sind. Sie findet vor allem bei großen Gesamtheiten Anwendung. Für die Normverteilung gilt, dass etwa zweidrittel aller Messwerte innerhalb der Entfernung einer Standardabweichung zum Mittelwert liegen.
Ränge	Der Rang eines Wertes in einer Datenmenge ist die Zahl, die sich aus der Position in der Reihenfolge innerhalb der Datenmenge ergibt.
Reliabilität	Reliabilität ist ein Gütekriterium, es bezeichnet die Messgenauigkeit eines Tests. Ein Testverfahren ist reliabel, wenn die Testwerte unabhängig von zufälligen Messfehlern sind.
Varimax-Rotation	Das Rotationsverfahren wird oft mit der Hauptkomponentenanalyse eingesetzt. Diese wird auch als orthogonales Rotationsverfahren bezeichnet und soll weniger ausgeprägte Ladungsmuster vermeiden.
Z-Wert	Z-Werte sind Standardabweichungen. Das Vorzeichen des Z-Wertes gibt die Richtung des Unterschiedes an, der zwischen zwei untersuchten Gruppen besteht.

Literatur: Moosbrugger (2012), Rumsey (2014 und 2015), Reinboth (2007)

Esther von Estorff

27.Mai 2017

Im Brühl 11

63329 Egelsbach

Erklärung

Ich erkläre hiermit, noch keinen Promotionsversuch unternommen zu haben.

Esther von Estorff

Esther von Estorff

27. Mai 2017

Im Brühl 11

63329 Egelsbach

Erlärung

Ich erkläre hiermit, dass ich meine Disseration selbständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt habe.

Esther von Estorff

Lebens- und Bildungsgang

Persönliche Daten:

Name: Esther von Estorff
Geburtsdatum: 01.03.1965
Geburtsort: München
Geburtsname: Kau
Familienstand: Verheiratet



Schulische Ausbildung:

1971 - 1972 Grundsschule I Hildesheim
1972 - 1975 Volksschule IV Hildesheim
1975 - 1978 Ganztagschule Drispstedt
1978 - 1982 Freiherr vom Stein Schule
1982 - 1985 Michelsenschule Hildesheim

Berufliche Ausbildung:

1986 - 1989 Ausbildung zur Pharmazeutisch Technischen Assistentin in Bückeberg
1990 - 1997 Studium der Chemie an der Universität Hannover
1993 - 1997 Studium des Höheres Lehramt Chemie / Biologie an der Universität Hannover

Berufliche Tätigkeit:

1999 - 2001 Referendariat Schillerschule Frankfurt
2001 - 2002 Lehrkraft an der Schillerschule Frankfurt
2002 - 2003 Studienrätin an der Georg Büchner Schule Frankfurt
Seit 2004 Studienrätin an der Adolf-Reichwein-Schule Langen/Hessen
Seit 2011 Oberstudienrätin an der Adolf-Reichwein-Schule Langen/Hessen
2012 – 2017 Abordnung an die Technische Universität Darmstadt