

Schülervorstellungen im Zentrum des Unterrichtsgesprächs

Ko-konstruktive Lernprozesse im Chemieunterricht

Tanja Fendt



30 Schriften aus der Fakultät Humanwissenschaften
der Otto-Friedrich-Universität Bamberg

Schriften der Fakultät Humanwissenschaften
der Otto-Friedrich-Universität Bamberg

Band 30



University
of Bamberg
Press

2019

Schülervorstellungen im Zentrum des Unterrichtsgesprächs

Ko-konstruktive Lernprozesse im Chemieunterricht

von Tanja Fendt

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Informationen sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Diese Arbeit hat der Fakultät Humanwissenschaften der Otto-Friedrich-Universität Bamberg als Dissertation vorgelegen.
Gutachter: Prof. Dr. Jorge Groß
Gutachter: Prof. Dr. Michael A. Anton
Tag der mündlichen Prüfung: 22.11.2018

Dieses Werk ist als freie Onlineversion über den Publikationsserver (OPUS; <http://www.opus-bayern.de/uni-bamberg/>) der Universität Bamberg erreichbar. Das Werk – ausgenommen Cover, Zitate und Abbildungen – steht unter der CC-Lizenz CC-BY.



Lizenzvertrag: Creative Commons Namensnennung 4.0
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Herstellung und Druck: docupoint, Magdeburg
Umschlaggestaltung: University of Bamberg Press, Larissa Günther
Umschlagbild: © Colourbox

© University of Bamberg Press Bamberg, 2019
<http://www.uni-bamberg.de/ubp/>

ISSN: 1866-8674
ISBN: 978-3-86309-635-9 (Druckausgabe)
eISBN: 978-3-86309-636-6 (Online-Ausgabe)
URN: urn:nbn:de:bvb:473-opus4-541305
DOI: <http://dx.doi.org/10.20378/irbo-54130>

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Theoretischer Rahmen	11
2.1	Die konstruktivistische Sichtweise des Lernens	11
2.2	Ausgewählte Aspekte konstruktivistischer Lernumgebungen	13
2.2.1	Das Verhältnis zwischen Instruktion und Konstruktion	13
2.2.2	Scaffolding – die aktive Unterstützung durch die Lehrkraft	15
2.2.3	Die Bedeutung des unterstützenden Lernklimas	20
2.2.4	Die Rolle der sozialen Interaktion	21
2.3	Die Bedeutung von Schülervorstellungen aus konstruktivistischer Perspektive	24
2.3.1	Was sind Vorstellungen?	24
2.3.2	Lernen ist Veränderung von Vorstellungen	26
2.3.3	Vorstellungen sind Lernvoraussetzung und Lernmittel	27
2.4	Ko-Konstruktive Lernprozesse im Unterrichtsgespräch	33
2.4.1	Was ist Ko-Konstruktion?	33
2.4.2	Ausgewählte Aspekte zum Unterrichtsgespräch	34
2.4.3	Lernprozesse in Gruppen	37
2.4.4	Kennzeichen ko-konstruktiver Unterrichtsgespräche	40
2.5	Die Rolle der Lehrkraft bei ko-konstruktiven Gesprächen	45
2.5.1	Herausforderungen im Unterrichtsgespräch	45
2.5.2	Weiterentwicklung des kommunikativen Lehrerhandelns	47
3	Fragestellungen der Untersuchung	55
4	Untersuchungsdesign und Methoden	57
4.1	Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als Forschungsrahmen	58
4.2	Allgemeine Überlegungen zum Einsatz qualitativer Methoden	61
4.3	Leitfadengestützte Interviews in der fachdidaktischen Forschung	63
4.4	Retrospektive Befragung zu Lehr-Lernprozessen	64
4.5	Auswahl der Probanden und Inhalte	65
4.6	Datenerhebung und -aufbereitung	66
4.7	Vorgehen und Methoden im Rahmen der fachlichen Klärung – Vorstellungen der Wissenschaftler	69
4.8	Vorgehen und Methoden im Rahmen der Lernerperspektiven	70

4.9	Vorgehen und Methoden im Rahmen der didaktischen Strukturierung.....	76
4.10	Maßnahmen zur Erhöhung der Studiengüte	77
5	Fachliche Klärung – Vorstellungen der Wissenschaftler	79
5.1	Fragestellungen des Kapitels	79
5.2	Datenerhebung und -auswertung	79
5.3	Rutherfords Forschungen zum Aufbau des Atoms – Beschreibung der Experimente und Einordnung in den historischen Kontext.....	80
5.4	Konzepte von Wissenschaftlern zum Streuversuch von Rutherford und zum Kern-Hülle Modell	86
5.5	Volumenänderungen bei realen Lösungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen	95
5.6	Konzepte von Wissenschaftlern zu Volumenänderungen bei realen Lösungen und zwischenmolekularen Kräften.....	106
6	Lernerperspektiven	110
6.1	Empirische Befunde zu Lernervorstellungen unter Berücksichtigung von Vermittlungsprozessen	110
6.1.1	Fragestellungen des Kapitels	110
6.1.2	Datenerhebung und -auswertung	110
6.1.3	Ergebnisse.....	110
6.1.3.1	Das Teilchenkonzept als Bezugsrahmen	111
6.1.3.2	Die Bedeutung von Modellen sowie Risiken und Grenzen der Veranschaulichung	111
6.1.3.3	Atommodelle in der unterrichtlichen Umsetzung	113
6.1.3.4	Der Versuch zur Volumenkontraktion und die kontroverse Diskussion seines unterrichtlichen Einsatzes	116
6.1.3.5	Schülervorstellungen zum Teilchenkonzept	119
6.1.3.6	Schülervorstellungen zu Atomen und Wechselwirkungen zwischen Molekülen.....	122
6.1.3.7	Schülervorstellungen zur Erklärung der Volumenkontraktion.....	128
6.2	Untersuchung der Ko-Konstruktionsprozesse in den Gesprächen....	132
6.2.1	Formale Analyse der Ko-Konstruktionsprozesse	132
6.2.1.1	Fragestellungen des Kapitels.....	132
6.2.1.2	Datenerhebung und -auswertung	133
6.2.1.3	Ergebnisse – Formale Analyse	135

6.2.1.4	Diskussion der Ergebnisse.....	138
6.2.2	Inhaltliche Analyse der Ko-Konstruktionsprozesse – Vorstellungen der Lernenden	145
6.2.2.1	Fragestellungen des Kapitels	145
6.2.2.2	Datenerhebung und -auswertung.....	145
6.2.2.3	Ergebnisse – Vorstellungen im Ko- Konstruktionsprozess zum Streuversuch von Rutherford	146
6.2.2.4	Diskussion der Ergebnisse.....	150
6.2.2.5	Ergebnisse – Vorstellungen im Ko- Konstruktionsprozess zu Volumenänderungen bei Lösungen	159
6.2.2.6	Diskussion der Ergebnisse.....	164
6.3	Lernerperspektiven zum individuellen Lernprozess und zur Rolle der Lehrkraft in den Gesprächen	171
6.3.1	Fragestellungen des Kapitels.....	171
6.3.2	Datenerhebung und -auswertung.....	171
6.3.3	Ergebnisse	171
6.3.4	Diskussion der Ergebnisse	185
7	Didaktische Strukturierung	191
7.1	Fragestellungen des Kapitels	191
7.2	Datenerhebung und -auswertung.....	191
7.3	Ergebnisse	191
7.3.1	Übergeordnete Prinzipien im Umgang mit Schülervorstellungen (Kategorie I)	193
7.3.2	Übergeordnete Prinzipien zur Gesprächsführung (Kategorie II)	203
7.3.3	Gesprächsförderndes Klima (Kategorie III).....	216
7.3.4	Ziele im Umgang mit Schülervorstellungen und methodische Umsetzung (Kategorie IV).....	220
7.4	Diskussion der Ergebnisse	240
8	Ein mehrperspektivischer Blick auf die Ergebnisse und Empfehlungen für den Unterricht	245
8.1	Ko-Konstruktive Unterrichtsgespräche unterstützen die individuelle Rekonstruktion.....	245
8.2	Ausrichtung des Unterrichts an Vorstellungen der Lernenden.....	248
8.3	Ko-Konstruktionsprozesse besitzen formale Funktionen	252
8.4	Fazit: Vorstellungen als Lernvoraussetzung und Lernmittel im Unterrichtsgespräch.....	256

8.5	Empfehlungen für den Unterricht.....	258
9	Reflexion	263
9.1	Reflexion des theoretischen Rahmens.....	263
9.2	Reflexion des methodischen Rahmens.....	265
9.3	Relevanz der Studie für die fachdidaktische Forschung	269
10	Zusammenfassung	271
	Anhang	273
	Literatur	275
	Abbildungsverzeichnis	295
	Tabellenverzeichnis	297

1 Einleitung

Die Ergebnisse der fachdidaktischen Forschung zu Vorstellungen von Lernenden haben in den letzten Jahrzehnten grundlegende Voraussetzungen geschaffen, den naturwissenschaftlichen Unterricht an Schülervorstellungen auszurichten. Wesentliche Felder sind die Erfassung und Beschreibung von Vorstellungen sowie die Entwicklung und Überprüfung von Strategien, Modellen und Unterrichtsvorschlägen, die Schülervorstellungen in den Mittelpunkt des Lernprozesses stellen.

Lehrkräften, die ihr Professionswissen erweitern möchten, stehen eine Reihe an Veröffentlichungen zur Verfügung, die über Schülervorstellungen zu grundlegenden fachlichen Themen der Biologie und Chemie berichten. Weiterhin gibt es zahlreiche Empfehlungen, wie Lehrkräfte die Vorstellungen von Lernenden bei ihrer Unterrichtsplanung berücksichtigen können. Und auch für die konkrete Umsetzung im Unterricht finden sich viele Materialien und Methoden, insbesondere zur Erhebung von Vorstellungen in der jeweiligen Lernergruppe.

Erfahrungen aus der Weiterbildung von Lehrkräften zeigen über die genannten Möglichkeiten hinaus einen großen Bedarf an Möglichkeiten zum Umgang mit Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch. Zu diesem spezifischen Thema liegen bisher noch wenige Forschungsergebnisse vor und das adaptive, situationsabhängige Agieren im Unterrichtsgespräch stellt Lehrkräfte vor besondere Herausforderungen. So formuliert eine Lehrkraft, die in der Lehramtsausbildung der Phase II für das Fach Chemie tätig ist: „Das Wahrnehmen von Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch (...) ist eine sehr wichtige Aufgabe jeden Lehrers. Und die Moderation von Schülervorstellungen (...) ist die Kür. Und es ist mit das Schwierigste, was man in diesem Beruf erlernen muss, wenn man ein erfolgreicher Lehrer sein will“ (42.57-43.53). Das Zitat zeigt, dass der Umgang mit Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch als wesentlicher Bestandteil des Professionswissens angesehen wird und gerade in der Lehramtsausbildung zu den schwierigsten Feldern gehört. Die Erfahrungen von Studienreferendaren¹ bestätigen, dass im Unterrichtsgespräch Schülervorstellungen häufig übergangen werden oder versucht wird, diese Anfangsvorstellungen durch Nachfragen sofort richtig zu stellen. Ursachen sind die Überforderung durch die Verschie-

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für beide Geschlechter.

denheit der Vorstellungen und der Mangel an Strategien und Methoden, die Vorstellungen in das Unterrichtsgespräch so einzubinden, dass sie lernwirksam für die ganze Klasse werden können.

Ausgehend von diesem Bedarf nähert sich diese Studie der Frage, wie Lehrkräfte Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch im Fach Chemie nutzen können, um den Lernprozess voranzubringen. Dabei geht es um die Ziele für die Gesprächsphasen, die sich in der Unterrichtsvorbereitung abbilden und die konkreten Strategien und Methoden, welche für die jeweilige Gesprächssituation zur Verfügung stehen. Weiterhin werden die Lernprozesse im Gespräch untersucht und die Lernenden zu ihrer Sicht befragt. Dieser mehrperspektivische Blick zeigt das komplexe Zusammenspiel von Lehrer- und Schüleraktivitäten, die Bedeutung der Gesprächsführung durch die Lehrkraft und den Mehrwert von Ko-Konstruktionsprozessen bei der Weiterentwicklung von Schülervorstellungen.

2 Theoretischer Rahmen

Der theoretische Hintergrund orientiert sich an den Perspektiven der Forschungsfragen. Hierbei benötigt der Umgang mit Schülervorstellungen die Betrachtung der konstruktivistischen Auffassung von Lehren und Lernen (Punkt 2.1) sowie die Überlegungen zu entsprechenden Lernumgebungen (Punkt 2.2). Sodann ist zu klären, was unter Vorstellungen zu verstehen ist und welche Bedeutung diese aus konstruktivistischer Sicht einnehmen (Punkt 2.3). Die Untersuchung der ko-konstruktiven Prozesse im Unterrichtsgespräch erfordert zum einen eine Betrachtung des Verständnisses von Ko-Konstruktion und zum anderen die Verortung von Ko-Konstruktion im Unterrichtsgespräch (Punkt 2.4). Abschließend werden Erkenntnisse und Empfehlungen aus der Forschung zur Rolle der Lehrkraft im ko-konstruktiven Unterrichtsgespräch dargestellt (Punkt 2.5).

2.1 Die konstruktivistische Sichtweise des Lernens

Innerhalb der verschiedenen Perspektiven des Konstruktivismus bezieht sich die vorliegende Arbeit auf den pragmatisch moderaten Konstruktivismus, der Lernen als aktiven, selbstgesteuerten und selbstreflexiven Prozess des Individuums beschreibt (nach Gerstenmaier & Mandl, 1995, S. 882). Der moderate Konstruktivismus greift aus den radikal konstruktivistischen Strömungen (z.B. Glasersfeld 1981) die Betonung der individuellen Konstruktion von Wissen auf und verbindet diese mit Aspekten der sozial-konstruktivistischen Perspektive (z.B. Vygotskij, 2002). Damit wird die Rolle der vorunterrichtlichen Vorstellungen der Lernenden und der Einfluss der sozialen und materialen Lernumgebung bei der Konstruktion von Wissen betont (Widodo & Duit, 2004, S. 234). Der moderate Konstruktivismus fokussiert somit auf die Prozesse des Lernens und bildet derzeit den vorherrschenden Rahmen für fachdidaktische Forschungen (Duit & Treagust, 2003a; Tanja Riemeier, 2007; Widodo & Duit, 2004).

Der Lernprozess wird aus gemäßigter konstruktivistischer Perspektive mit folgenden Merkmalen beschrieben (Reinmann & Mandl, 2006):

Aktiv: Voraussetzung für Lernprozesse ist die aktive Beteiligung des Lernalten.

Selbstgesteuert: Die Steuerung und Kontrolle des Lernprozesses geht vom Lernenden aus. Die Umgebung kann den Prozess anregen und unterstützen, jedoch nicht determinieren.

Konstruktiv: Wenn Lernende Wissen erwerben, konstruieren sie Bedeutungen auf der Basis ihrer individuellen Vorstellungen. Voraussetzung für den Erwerb

und die Nutzung von neuem Wissen ist das Aufbauen auf vorhandenen Wissensstrukturen. Zum Begriff der „Vorstellung“ und Theorien zu deren Veränderung vgl. Kap. 2.3.

Sozial: Lernen unterliegt soziokulturellen Einflüssen und beinhaltet soziale Interaktion, beispielsweise wenn im Gespräch Vorstellungen von Lernenden kommuniziert und diskutiert werden (vgl. auch Punkt 2.2.4).

Emotional: Lernen wird durch soziale und leistungsbezogene Emotionen beeinflusst (z.B. Motivation).

Situativ: Der Erwerb von Wissen erfolgt in sozialen Situationen und inhaltsbezogenen Kontexten und ist mit diesen verbunden.

Ausgehend von den konstruktivistischen Theorien des Lernens wurden verschiedenste Ansätze zur Gestaltung von Lernumgebungen entwickelt. Exemplarisch wird die Umsetzung im naturwissenschaftlichen Unterricht anhand der Kategorien von Widodo und Duit (2004) aufgezeigt. Die Konzeption umfasst folgende Merkmale (in Ausschnitten und leicht verändert aus Widodo & Duit, 2004, S. 238):

Konstruktion des Wissens ermöglichen

- Vorwissen und vorunterrichtliche Vorstellungen der Schüler ermitteln
- Denkweisen von Schülern ermitteln
- Problemlöseprozesse initiieren
- Gezielter Umgang mit Schülervorstellungen

Relevanz und Bedeutung der Lernererfahrungen

- Ermittlung der Interessen, Einstellungen und Gefühle der Schüler
- Phänomene und Materialien aus dem Alltag
- Diskussion von Anwendungsmöglichkeiten des Gelernten

Soziale Interaktion

- Austausch zwischen Schülern (Fragen, Ideenaustausch)
- Austausch zwischen Schülern und Lehrer (Fragen, Ideenaustausch)
- Sozialform (Einzelarbeit, Gruppenarbeit, Arbeit in der gesamten Klasse)

Unterstützung der Schüler beim eigenständigen Lernen

- Freiräume für eigenständige Lernen
- Schüler bestärken, eigene Ideen zu überdenken und selbst-regulativ und reflektiert zu handeln, kritische Anmerkungen von Schülern ernst nehmen

Wissenschaftliches Wissen

- U.a. Vorläufigkeit und Grenzen von naturwissenschaftlichem Wissen

Zusammenfassung: Die konstruktivistische Sichtweise des Lernens

Lernen ist aus moderat konstruktivistischer Perspektive ein aktiver, selbstgesteuerter, konstruktiver, sozialer, emotionaler und situativer Prozess. Die Merkmale bilden sich in Lernumgebungen ab.

2.2 Ausgewählte Aspekte konstruktivistischer Lernumgebungen

Für diese Arbeit sollen einzelne Aspekte konstruktivistischer Lernumgebungen genauer beleuchtet werden: Das Verhältnis zwischen Instruktion und Konstruktion, das Scaffolding als aktive Unterstützung durch die Lehrkraft, die Bedeutung des unterstützenden Lernklimas und die Rolle der sozialen Interaktion. Die Auswahl resultiert aus den Perspektiven, mit denen die Unterrichtsgespräche untersucht werden.

2.2.1 Das Verhältnis zwischen Instruktion und Konstruktion

Innerhalb der fachdidaktischen Diskussion bezüglich des Verhältnisses von Instruktion und Konstruktion in konstruktivistischen Lernumgebungen ist eine Verlagerung von gegenüberstellenden Positionen hin zu integrierenden Sichtweisen zu beobachten (z.B. Gerstenmaier & Mandl, 1995). Dem zugrunde liegt die Auffassung, dass sich Instruktion und Konstruktion sinnvoll ergänzen und wechselseitig beeinflussen. Zum Beispiel ermöglicht erst die Strukturierungsleistung einer Lehrkraft die selbstständige Aufgabenbearbeitung der Schüler. Viele Studien bestätigen, dass die aktive Lenkung der Lehrkraft entscheidend zum erfolgreichen Unterricht beiträgt. So formulieren Felten und Stern (2014) die These „Gute Lehrpersonen ziehen sich niemals aus dem Unterrichtsgeschehen heraus, sondern sind hochgradig steuerungsaktiv“ (Felten & Stern, 2014, S. 144). Entscheidend ist dabei die Qualität der Lehrerlenkung, denn „guter Unterricht zeichnet sich durch eine intelligente und didaktisch begründete Verknüpfung lehrer- und schülerzentrierter Phasen aus“ (Lipowsky, 2007, S. 28). Daher ist aus konstruktivistischen Lerntheorien und deren Fokus auf die eigenständige Konstruktionsleistung der Schüler nicht generell eine passive Lehrerrolle abzuleiten. Forschungsergebnisse weisen darauf hin, dass vielmehr der Grad der

kognitiven Aktivierung der Lernenden die Konstruktion von Wissen positiv beeinflusst (Möller, 2012). In diesem Sinne empfehlen Reinmann & Mandl (2006), instruktionale und konstruktivistische Elemente miteinander zu verbinden. Der aktive Konstruktionsprozess der Lernenden erhält Orientierung und Anleitung durch die Lehrkraft. Im Unterricht ist demnach eine Balance zwischen expliziter Instruktion durch die Lehrkraft und konstruktiver Aktivität der Lernenden nötig (vgl. Abb. 1).

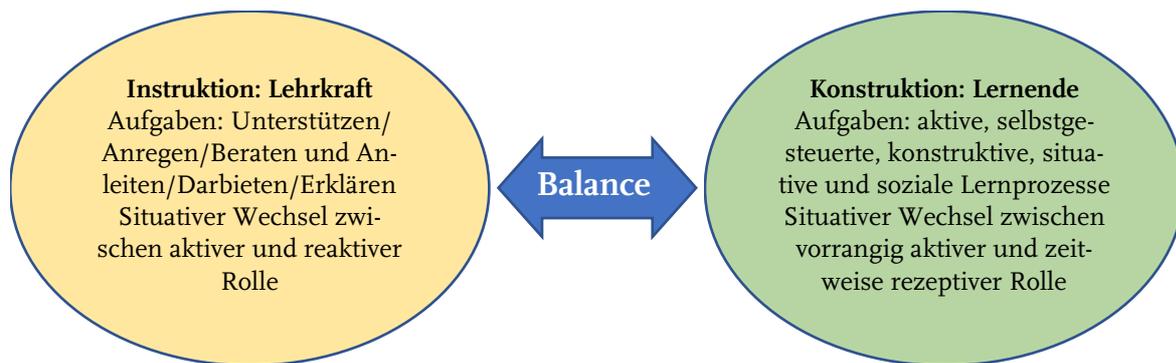


Abb. 1: Wechsel zwischen Instruktion und Konstruktion;
Quelle: verändert nach Reinmann & Mandl, 2006, S. 637

Ausgehend von dem Ziel, instruktionale und konstruktivistische Elemente zu verbinden, leiten Reinmann und Mandl (2006, S. 639 ff.) Kriterien für entsprechende Lernumgebungen ab. Prinzipiell eignet sich hierfür das problemorientierte Lernen, welches sie durch folgende Leitlinien beschreiben:

- Situiertheit und Authentizität: Ausgangspunkte des Lernens sind realistische Probleme und authentische Situationen → hoher Anwendungsbezug beim Lernen
- Multiple Kontexte: das Gelernte soll auf andere Problemstellungen übertragen und angewendet werden → gute Nutzung der Gelernten
- Multiple Perspektiven: Erkenntnis, dass Inhalte oder Probleme aus verschiedene Blickwinkeln betrachtet werden können, z.B. verschiedene Erklärungsansätze deutlich machen → Flexibilität bei Anwendung des Gelernten
- Soziale Kontexte: kooperatives Lernen und Problemlösen wird ermöglicht
- Instruktionale Unterstützung: Anleitung von Lernenden und gezielte Unterstützung durch die Lehrkraft, das erforderliche Wissen zur Bearbeitung von komplexen Problemen wird bereitgestellt

Möller (2012) schlägt vor, statt „versus“- oder „und“- Beziehungen die beiden Begrifflichkeiten mit „Konstruktion DURCH Instruktion“ zu verbinden, womit sie betont, dass „auf der Seite der Lernenden Konstruktionsprozesse stattfinden

müssen, auf der Seite der Lehrenden es dagegen um eine passende, Konstruktionsprozesse fördernde Instruktion geht“ (Möller, 2012, S. 43, vgl. Abb. 2).



Abb. 2: Konstruktion durch Instruktion
Quelle: Eigene Darstellung nach Möller, 2012

Bezüglich der unterrichtlichen Umsetzung leitet Möller daraus folgende Aufgaben für die Lehrkraft ab (Möller, 2012, S. 43-44):

- Schüler zum Denken anregen und herausfordern
- Konstruktion von Vorstellungen fördern
- Wissen in Kontexten erwerben und anwenden
- Wissen gemeinschaftlich erwerben und austauschen
- Interessen der Schüler berücksichtigen, Freiräume für individuelle Lernwege eröffnen
- Kognitive Aktivierung der Schüler fördern

Für die konkrete Umsetzung dieser Aufgaben im Unterricht hält Möller Scaffolding-Maßnahmen für geeignet. Der Ansatz des Scaffolding wird im nächsten Punkt ausführlicher betrachtet.

2.2.2 Scaffolding – die aktive Unterstützung durch die Lehrkraft

Der Begriff „Scaffolding“ wird in der Literatur sehr breit verwendet und subsummiert verschiedenste lernunterstützende Maßnahmen. Ursprünglich beschreibt Scaffolding das Unterstützen kognitiver Konstruktionsprozesse, wobei ein Schüler mit Hilfe einer Lehrkraft oder einem erfahreneren Mitschüler ein Problem lösen kann, das ihm aus eigener Kraft nicht gelungen wäre (z.B. Bruner, 1975; De Jong & Van Joolingen, 1998; Möller, 2012; Reiser, 2004; Wood et al., 1976). Damit wird an die „Zone der nächsten Entwicklung“ von Vygotsky angeknüpft, welche die Distanz zwischen a) dem momentanen Entwicklungsstand eines Lerners und b) seiner potenziellen Entwicklung durch Hilfe von Erwachsenen oder durch Kollaboration mit einem erfahreneren Gleichaltrigen beschreibt (Vygotskij, 1978). Durch Scaffolding wird Lernen in der Zone der nächsten Entwicklung ermöglicht.

Grundlegende Scaffolding-Vorgehensweisen seitens der Lehrkraft beinhalten eine fortlaufende Diagnose sowie die flexible Anpassung und sukzessive Zurücknahme der Unterstützung. Puntambekar und Hubscher (2005) fassen die ursprünglichen Elemente des Scaffolding zusammen und ergänzen diese mit weiteren Aspekten (Tabelle 1 leicht gekürzt und verändert entnommen aus: Puntambekar & Hubscher, 2005, S. 7).

Tab. 1: Merkmale des Scaffolding

Merkmal des Scaffolding	Ursprüngliches Verständnis	Zusätzliche Aspekte
Geteiltes Verstehen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erwachsener oder Experte stellt ein geteiltes Verständnis des gemeinsamen Zieles her und fördert die Motivation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ authentische Aufgabe, die in einen Kontext eingebunden ist fördert das gemeinsame Verständnis
Unterstützer (Scaffolder)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eine einzelne, erfahrene Person unterstützt auf verschiedene Art und Weise den gesamten Lösungsprozess 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ geteilte Expertise: die Unterstützung muss nicht nur von einer Person ausgehen, sondern kann auch durch Peers innerhalb der Lernergruppe stattfinden
Fortlaufende Diagnose Flexible Anpassung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dynamische Unterstützung, die auf einer fortlaufenden Diagnose des einzelnen Lerners basiert ▪ Anpassung der Unterstützung an die sich verändernden Bedürfnisse des Lerners 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ passive Unterstützung, keine fortwährende Diagnose ▪ pauschale Unterstützung, z.B. durch Aufgaben, die für alle Lerner gleich sind
Zurücknahme	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mit zunehmender Unabhängigkeit der Lernenden wird die Unterstützung zurückgenommen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ permanente Unterstützung, die sich nicht ändert

Quelle: Puntambekar & Hubscher, 2005, S. 7

In Bezug auf das Merkmal „dynamisch/passive Unterstützung“ von Puntambekar und Hubscher (2005) wird in der Literatur auch zwischen „dynamisch“ und

„statisch“ unterschieden (Arnold, Kremer, & Mayer, 2016; Saye & Brush, 2002). Die dynamischen, situativen Unterstützungsmaßnahmen durch die Lehrkraft werden hier als „soft scaffolds“ bezeichnet, um sie von den „hard scaffolds“, den statischen Unterstützungssystemen zu unterscheiden, die im Vorfeld des Unterrichts vorbereitet werden (Materialien wie z.B. Concept Cartoons, gestufte Lernhilfen o.ä.).

Aus naturwissenschaftsdidaktischer Perspektive schlagen Meschede et al. (2015) ein Scaffolding-Konzept vor, das sich auf aktuelle Literatur bezieht, welche die Entwicklung von Fachwissen evidenzbasiert nachweist. In diesem Konzept wird eine Unterteilung von lernunterstützenden Maßnahmen in die Dimensionen „Kognitive Aktivierung“ und „Strukturierung“ vorgeschlagen (Meschede et al., 2015).

Dabei sollen die Maßnahmen zur kognitiven Aktivierung die Veränderung von Vorstellungen durch Ko-Konstruktion und Dialog in der Lernergruppe fördern. Im Zentrum steht die Berücksichtigung der Schülervorstellungen, indem sich Schüler zum Beispiel zu einem Phänomen begründet äußern. Das Erkennen der Grenzen einer Vorstellung kann dazu anregen, diese nicht tragfähigen Vorstellungen zu erweitern (Möller, 2016, S. 57). Wirkmechanismen zur Veränderung von Vorstellungen werden beispielsweise in der Conceptual Change-Theorie dargestellt (siehe Punkt 2.3.2).

Die Maßnahmen zur Strukturierung beziehen sich auf die Fachinhalte. Hierzu zählen zum Beispiel klare Ziele, die Einteilung in Lernschritte oder die Fokussierung auf inhaltliche Aspekte, die Anknüpfungspunkte zum Aufbau fachlicher Vorstellungen bieten. (Möller, 2016, S. 57).

Nachfolgende Tabelle (2) unterscheiden A) Kognitiv anregende Maßnahmen und B) Maßnahmen zur Strukturierung und veranschaulichen das zuvor beschriebene Konzept aus naturwissenschaftsdidaktischer Perspektive. Die Inhalte sind leicht verändert entnommen aus Möller, 2016, S. 56-57.

Tab. 2: Kognitiv anregende und strukturierende Maßnahmen im Scaffolding

A) Scaffolding: Kognitiv anregende Maßnahmen
<p>Vorhandene Vorstellungen erschließen</p> <p>Fragen, Interessen der Lernenden aufgreifen</p> <p>Vorwissen, Erfahrungen der Lernenden aufnehmen und integrieren</p> <p>Vorstellungen bewusst machen</p>
<p>Kognitive Konflikte auslösen</p> <p>Problematisieren, auf Widersprüche im Denken und auf offene Fragen hinweisen</p> <p>Vorstellungen, Vermutungen, Aussagen der Lernenden in Frage stellen, Rückfragen dazu aufwerfen</p> <p>Auf unterschiedliche Vorstellungen hinweisen</p>
<p>Vorstellungen aufbauen bzw. weiterentwickeln</p> <p>Anregen, Ähnliches und Unterschiedliche in Vorstellungen zu erkennen</p> <p>Zu eigenen Vermutungen und Erklärungen anregen</p> <p>Verallgemeinerungen anbahnen, zu Generalisierungen anregen, die (allgemeine) Gültigkeit von Aussagen und Erklärungen prüfen, Gegenbeispiel suchen</p> <p>Zum Beschreiben, Erklären und Argumentieren anleiten</p> <p>Zum Prüfen, Auswerten und Vergleichen von Evidenzen sowie zum Erkennen von Regelmäßigkeiten und Zusammenhängen anleiten</p>
<p>Anwendung von Konzepten ermöglichen</p> <p>Zur Anwendung von erworbenem Wissen bzw. zum Übertragen auf andere Situationen und Beispiele anregen</p> <p>Angebote für die Übertragung und Anwendung der im Unterricht angebahnten Konzepte in leicht veränderten Kontexten machen</p> <p>Gelegenheiten zum Üben von Denk-, Arbeits-, und Handlungsweisen schaffen</p>
<p>Austausch über Vorstellungen und Konzepte anregen</p> <p>Zum Austausch unter den Lernenden anregen</p> <p>Aussagen von Lernenden zueinander in Beziehung setzen, Rückfragen stellen</p> <p>Zu Aussagen von Lernenden die Meinung von anderen erfragen</p>
<p>Über Lerninhalte und –wege nachdenken</p> <p>Zum Nachdenken über eigene Erfahrungen und Bezüge zu Sachen und Situationen anregen</p> <p>Gelegenheiten schaffen, über die Entwicklung des eigenen Wissens und Könnens, sowie über hilfreiche Strategien beim eigenständigen und gemeinsamen Lernen nachzudenken</p>
<p>Herausfordernde Aufgaben stellen</p> <p>Reichhaltige, problemhaltige Lernaufgaben stellen, die auf verschiedenen Lernwegen zum entdeckenden Lernen, zum Fragen, zum Vermuten, zum Erarbeiten neuer Konzepte, zum Überprüfen von Vorstellungen, zum Austausch von Ergebnissen sowie zum Klären von Fragen führen</p>

B) Scaffolding: Inhaltlich strukturierende Maßnahmen

Sequenzieren

in Teilbereich gliedern, Schritte strukturieren, Abfolgen festlegen, Lernvoraussetzung ermitteln

Zielklarheit schaffen

Zielsetzung und Vorgehen transparent machen

Klarheit über das fachliche Lernziel schaffen

Hervorheben

wichtige Äußerungen der Lernenden hervorheben, deren Bedeutung für die Klärung von Sachverhalten betonen

zutreffende, sachgemäße Erklärungen der Lernenden identifizieren, herausstellen, verstärken
wesentliche Punkte von Aussagen aufnehmen

Ähnliches und Unterschiedliches in Aussagen der Lernenden herausstellen

Zusammenfassen

Beiträge der Lernenden, bisher Besprochenes zusammenfassen

Sachbezüge ordnen, strukturieren

Zusammenhänge sichtbar machen

Veranschaulichen

Adäquate, sach- und lernendengemäße Repräsentationen und Analogien einsetzen

Modellieren

Als Lehrperson modellhaft vormachen, laut denken, Lösungen oder Teile von Lösungen vorzeigen und erläutern

Quelle: Möller, 2016, S. 56-57

Zur generellen Funktion des Scaffolding werden verschiedene Aspekte beschrieben, wie z.B. die Reduktion der Komplexität, das Hervorheben von relevanten Teilen einer Aufgabe, das Zeigen einer Lösungsstrategie oder das Problematisieren von Schüleraussagen (Kleickmann, Vehmeyer, & Möller, 2010). Zum Wirkmechanismus von Scaffolding-Maßnahmen postuliert z.B. Lipowsky (2015) das Zusammenspiel zwischen dem angemessenen Anforderungsniveau der Aufgaben (Struktur der Inhalte), der effektiven Lernzeit (organisatorische Struktur, Klassenführung) und dem Organisieren von neuem Wissen (kognitionspsychologische Struktur).

2.2.3 Die Bedeutung des unterstützenden Lernklimas

Die kognitiv anregenden und strukturierenden Maßnahmen finden sich nicht nur im Kontext des Scaffolding, sondern auch im Rahmen des umfangreichen Forschungsfeldes zur Unterrichtsqualität (z.B. Helmke & Schrader, 2008; Klieme & Rakoczy, 2008; Kunter et al., 2013). Hier haben sich im deutschsprachigen Raum die drei Dimensionen A) Kognitive Aktivierung B) Klassenführung, Regelmäßigkeit, Struktur und C) unterstützendes Unterrichtsklima / Lernklima etabliert. Dies zeigt, dass die Dimension des unterstützenden Lernklimas nicht vernachlässigt werden darf.

Das unterstützende Lernklima lehnt sich an die Selbstbestimmungstheorie der Motivation an (Deci & Ryan, 1993) und ist auch Gegenstand der fachdidaktischen Unterrichtsforschung. So untersuchen und überprüfen beispielsweise Ohle und McElvany (2016) die Motivierungsqualität des Unterrichts und entwickeln basierend auf einer Zusammenschau aktueller Literatur ein Modell mit fünf zentralen Facetten. Diese Facetten umfassen die Individualisierung, eine sachlich-konstruktive Rückmeldung, eine positive Fehlerkultur, eine positive Lehrkraft-Schüler-Interaktion und den Enthusiasmus der Lehrkraft (Ohle & McElvany, 2016, S. 126). Im Zusammenhang mit dem Aufgreifen von lebensweltlichen Vorstellungen der Schüler, die häufig nicht mit den wissenschaftlichen Konzepten übereinstimmen, besteht hinsichtlich der Fehlerkultur die besondere Herausforderung für den Unterricht darin, „die (...) Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler systematisch weiterzuentwickeln, ohne dabei deren Zutrauen und Selbstkonzept in Frage zu stellen oder sie gar zu beschämen“ (Seidel et al., 2006, S. 802).

In Bezug auf die Wirkung der drei Grunddimensionen der Unterrichtsqualität wird angenommen, dass die kognitive Aktivierung und die Strukturierung die Leistung und das konzeptuelle Verständnis der Lernenden positiv beeinflusst und das unterstützende Lernklima die Motivation erhöht (Klieme & Rakoczy, 2008, S. 228, vgl. Abb. 3).

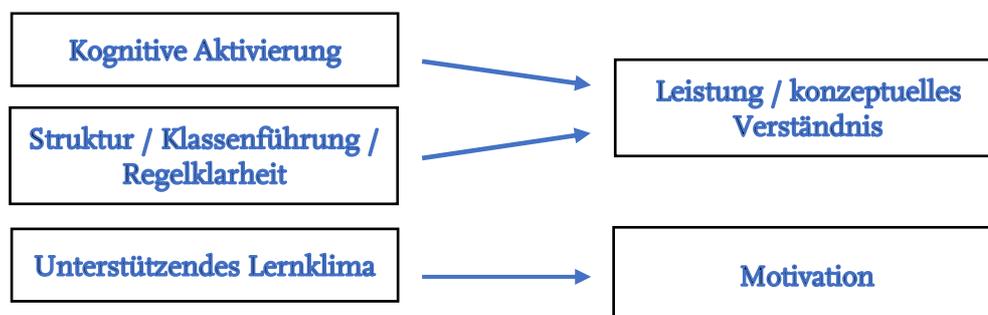


Abb. 3: Wirkung der Dimensionen der Unterrichtsqualität
Quelle: Verändert nach Klieme & Rakoczy, 2008, S. 228

2.2.4 Die Rolle der sozialen Interaktion

Innerhalb der konstruktivistischen Strömungen hat die Situated-Cognition-Forschung (Law & Wong, 1996; Resnick, 1991) den Kontextbezug und die soziale Partizipation beim Lernen in die Entwicklung eingebracht. Dabei spielt die Idee des „geteilten“ Wissens, das heißt, dass Wissen von Lernenden durch soziale Aktivitäten gemeinsam entwickelt und ausgetauscht wird, eine wichtige Rolle.

Der Cognitive-Apprenticeship-Ansatz (Collins, Brown, & Newman, 1988) setzt die soziale Interaktion explizit um. So lösen Lernende durch Kooperation mit Experten (z.B. Lehrkraft) Fragestellungen in authentischen Kontexten, indem sie zum Beispiel ihre Problemlösungen vergleichen und somit verschiedene Denkweisen und Argumentationen erkennen. Bei der Rolle der Lehrkraft betont der Ansatz die Unterstützung des Lernprozesses durch konkrete Strategien und Methoden (siehe unten). Bei den begleitenden Materialien spielen „Expertenkommentare“ eine wichtige Rolle. Diese enthalten Informationen, die aus Sicht des Experten für den Prozess der Problemlösung nötig sind. Im Unterricht können diese Expertenkommentare zum Beispiel in Form von kurzen Texten („Infotext“, „Wissensbaustein“ o.ä.) umgesetzt werden.

Strategien und Methoden des Cognitive-Apprenticeship-Ansatzes

- Modelling: Die Lehrkraft gibt ein Vorbild, indem sie ihr Vorgehen für die Lernenden transparent macht.
- Coaching: Die Lernenden befassen sich eigenständig mit einem Problem und werden von der Lehrkraft gezielt unterstützt.
- Scaffolding: Die Lehrkraft gibt gezielte Hilfestellungen.
- Fading: Mit zunehmender Sicherheit der Lernenden nimmt die Lehrkraft die Hilfestellungen zurück.
- Articulation: Lernende werden aufgefordert, ihre Denkprozesse und die Problemlösestrategie zu erläutern.
- Reflection: Die Lernenden vergleichen die unterschiedlichen Strategien, die in der Gruppe vorliegen hinsichtlich des Umgangs mit dem Problem.

Naturwissenschaftsdidaktische Aspekte

Seit den 90er Jahren ist die soziale Konstruktion von Wissen vermehrt in den Fokus der internationalen fachdidaktischen Forschung gerückt, um den konstruktivistischen Ansatz weiterzuentwickeln und das Erschließen von Bedeutungen zu unterstützen (Duit & Treagust, 2003b, S. 19). So untersuchen beispielsweise Taylor et al. (1997) die konstruktivistischen Merkmale naturwissenschaftlichen Unterrichts und entwickeln eine Skala für die Verhandlungsmöglichkeiten (negotiation) der Schüler. Die Skala erfasst, inwieweit die Schüler Möglichkeiten

haben, über neue Ideen zu diskutieren, um deren Plausibilität zu bewerten. Zum Beispiel sollen Schüler die Gelegenheit bekommen, ihre neuen Ideen zu erklären und zu begründen oder über die Plausibilität der Vorschläge der Mitschüler zu reflektieren und diese in Beziehung zur der eigenen Idee zu setzen (Taylor, Fraser, & Fisher, 1997, S. 4 ff.).

Labudde (2000) fordert aus fachdidaktischer Perspektive, dass Lernende den naturwissenschaftlichen Unterricht kommunikativ erleben sollen. Das Mitteilen von naturwissenschaftlichen Inhalten im Gespräch, der Austausch von Argumenten im Diskurs ist aus seiner Sicht konstitutiv (Labudde, 2000, S. 93 ff.). Die Aufgabe der Lehrkraft besteht in diesem Fall in der Diskussionsleitung, indem sie Kommunikation und Diskurs zwischen den Schülern fördert. Mit dem eigenen Fachwissen hält sich die Lehrkraft dabei zurück. Neben geeigneten Aufgabenstellungen fordert die Lehrkraft zu Fragen auf, präzisiert und differenziert unklare Fragen. Oder sie sammelt verschiedene Lösungsmöglichkeiten und lässt diese vergleichen. Zwischenschritte im Lernprozess werden durch Fragen der Lehrkraft deutlich wie: „Was haben wir bis jetzt erarbeitet? Welche Fragen sind noch offen?“ (Labudde, 2000, S. 99).

Tenebaum et al. (2001) untersuchen in ihrer Studie ebenso die soziale Interaktion als Kennzeichen einer konstruktivistischen Lernumgebung. Sie fokussieren auf Merkmale wie die Gelegenheit für Diskussionen und den Austausch von Argumenten sowie die Unterstützung der eigenständigen Ideenentwicklung. In einigen Fällen konnten sie auch zeigen, dass die Lernenden aufgefordert wurden, „laut zu denken“, indem sie den sich entwickelnden Gedankengang laut aussprechen (Tenebaum, Naidu, Jegede, & Austin, 2001, S. 97).

Auch Widodo und Duit (2004) greifen die soziale Interaktion als Kennzeichen einer konstruktivistischen Lernumgebung auf. Sie beschreiben die soziale Konstruktion von Wissen durch Fragen und Ideenaustausch unter Schülern oder zwischen Schülern und Lehrer und zeigen auf, dass dies in verschiedenen Sozialformen umgesetzt werden kann (Einzelarbeit, Gruppenarbeit, Arbeit in der gesamten Klasse). Die intensive Kommunikation über die unterschiedlichen Sichtweisen fördert das Verständnis für die eigene Position und unterstützt die Schüler gegebenenfalls bei der Revision der persönlichen Vorstellung (Widodo & Duit, 2004, S. 239).

Zusammenfassung: Ausgewählte Aspekte konstruktivistischer Lernumgebungen

- Instruktion und Konstruktion ergänzen sich. Durch eine angemessene Instruktion wird der aktive Konstruktionsprozess der Lernenden unterstützt.
- Die Lehrkraft lenkt das Unterrichtsgeschehen aktiv, adaptiv und situativ. In der unterrichtlichen Umsetzung bildet sich dieses Prinzip z.B. beim problemorientierten Lernen oder in Scaffolding-Maßnahmen ab.
- Scaffolding: Kognitive Konstruktionsprozesse eines Lernenden werden durch die Lehrkraft oder erfahrenere Mitschüler unterstützt. Grundlage ist das geteilte Verstehen des Themas. Die Lehrkraft diagnostiziert den Konstruktionsprozess und passt die Unterstützung flexibel an, indem sie diese nach und nach zurücknimmt.
- Ein Scaffolding-Konzept für den naturwissenschaftlichen Unterricht unterscheidet a) Maßnahmen zur kognitiven Aktivierung, die die Veränderung von Vorstellungen durch Ko-Konstruktion und Dialog in der Lernergruppe fördern und b) Maßnahmen zur Strukturierung der Fachinhalte.
- In Bezug auf die Weiterentwicklung von Schülervorstellungen spielt das unterstützende Lernklima eine wichtige Rolle. Facetten sind die Individualisierung, eine sachlich-konstruktive Rückmeldung, eine positive Fehlerkultur, eine positive Lehrkraft-Schüler-Interaktion und der Enthusiasmus der Lehrkraft.
- Soziale Interaktion unterstützt die Konstruktion von geteiltem Wissen. In Lernumgebungen wird dies z.B. durch die Kooperation mit Experten, durch Austausch von Ideen, Argumenten oder Vorstellungen in Form von Verhandlungen und Diskussionen erreicht.

2.3 Die Bedeutung von Schülervorstellungen aus konstruktivistischer Perspektive

Nachfolgend wird das Verständnis des Begriffes „Vorstellung“ dargestellt und aus konstruktivistischer Sicht argumentiert, dass es beim Lernen zur Veränderung von Vorstellungen kommt. Damit sind Schülervorstellungen sowohl Voraussetzung als auch Mittel zum Lernen.

2.3.1 Was sind Vorstellungen?

Der Begriff „Vorstellung“ ist in der Lehr-Lern-Forschung nicht einheitlich definiert. In Bezug auf Vorstellungen von Schülern werden deskriptive und wertneutrale Begriffe wie „Alltagsvorstellung“ (z.B. Duit, 2015), „vorunterrichtliche Vorstellung“, „lebensweltliche Vorstellung“, „vorwissenschaftliche Vorstellung“ (z.B. Barke, 2006) oder „Präkonzepte“ (z.B. Nachtigall, 1986) verwendet, um diese von den wissenschaftlichen Vorstellungen zu unterscheiden. Der wertende Begriff „Fehlvorstellung“ wird in der neueren Literatur weniger genutzt, um zu betonen, dass es bei den vorunterrichtlichen Vorstellungen von Schülern weniger darum geht, diese in die Kategorie „fachlich falsch“ einzuordnen. Vielmehr steht im Vordergrund, anzuerkennen, dass Schüler aus ihrem lebensweltlichen Verständnis heraus logische Folgerungen zu naturwissenschaftlichen Phänomenen ableiten (Barke, 2006, S. 22). Außerdem gibt es Hinweise aus Studien, dass die ursprünglichen Vorstellungen von Schülern auch nach dem Unterricht noch vorhanden sind, da sich diese in vielen Alltagssituationen als nützlich erweisen (Krüger, 2007, S. 82).

Aus neurobiologischer Sicht sind Vorstellungen Konstrukte der Hirnrinde, die mit spezifischen neuronalen Aktivitätsmustern verbunden sind. Sie sind damit die Leistung eines semantisch geschlossenen Gehirns eines Individuums (Roth, 1997). Die neuronalen Strukturen können gebildet, verändert, verfestigt oder reorganisiert werden. Bei diesen Prozessen können auch die korrelierten Vorstellungen verändert und aktualisiert werden oder neu entstehen (Gropengießer, 1997).

Vorstellungen sind aus dieser Sicht eine Form mentalen Erlebens, das sich z.B. auf Kognitionen, Emotionen oder Körperwahrnehmungen bezieht. In dieser Arbeit wird bei der Untersuchung der Vorstellungen ausschließlich auf die Kognitionen fokussiert. Dabei wird davon ausgegangen, dass Vorstellungen generell „verfügbar“ sind und kontextabhängig aktiviert bzw. erlebt werden. Beispielsweise kann der Begriff „Kern“ im Chemieunterricht mit einer anderen Vorstellung verknüpft sein („Atomkern“) als im lebensweltlichen Kontext („Kirsch-kern“).

Um die unterschiedliche Komplexität der Vorstellungen auszudrücken, wird der Begriff „Vorstellung“ in Anlehnung an Gropengießer (1997, S. 29 ff.) und Groß (2007, S. 15) in „Theorien“, „Denkfiguren“, „Konzepte“, „Begriffe“ und „Wörter“ unterteilt (vgl. Tab. 3). „Wörter“ sind sprachliche Elemente, die genutzt werden, um Begriffe, Konzepte etc. auszudrücken. „Begriffe“ stellen die einfachsten Elemente von Vorstellungen dar und werden mit Wörtern (oder Termini) bezeichnet. In steigender Komplexität folgen „Konzepte“, bei denen mindestens zwei Begriffe in einer Relation zueinander stehen. „Denkfiguren“ bestehen aus mehreren Konzepten und haben einen erklärenden Charakter. Die Konzepte sind dabei nicht aneinandergereiht, sondern tragen zu einem vertieften Verständnis bei. „Theorien“ sind sehr komplexe Vorstellungen. Dabei werden verschiedene Konzepte und Denkfiguren zu einem Aussagengefüge zusammengeführt, so dass die einzelnen Elemente in einer strukturierten und reflektierten Relation zueinander stehen.

Tab. 3: Ebenen von Vorstellungen

Ebene der Vorstellung	Beispiel
Wörter	die Hülle, der Kern
Begriffe	Atom, Ladung
Konzept	Das Atom hat einen Kern.
Denkfigur	Da das Atom insgesamt neutral ist, ist die Hülle negativ geladen.
Theorie	Kern-Hülle-Modell

Quellen: Eigene Darstellung nach Gropengießer, 1997; Groß, 2007

In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff „Vorstellung“ sehr weit gefasst: es werden darunter „ganz allgemein Kognitionen, also Gedanken zu einem bestimmten Phänomen oder Sachgebiet“ verstanden (Kattmann, 2005, S. 166). Die synonyme Verwendung von „Vorstellung“ und „Gedanken“ ist für den Ansatz dieser Arbeit sinnvoll, weil die untersuchten Gespräche in Phasen des Unterrichts stattfinden, in denen neues, gemeinsam geteiltes Wissen durch Ko-Konstruktion entwickelt wird. Auf Grundlage der Literatur (vgl. Punkt 2.5.2 „exploratory talk“) wird davon ausgegangen, dass die Äußerungen der Schüler in diesen Phasen dem „lauten Denken“ ähneln. Dies bedeutet, dass die Lernenden Gedankengänge, die im Entstehen sind, aussprechen oder Ideen formulieren, die noch wenig ausdifferenziert sind oder bezüglich deren Richtigkeit sie sich noch unsi-

cher sind. Deshalb wird in dieser Arbeit von „Ideen“ oder „Gedanken“ der Lernenden oder allgemein von „Vorstellungen“ gesprochen. Weiterhin wird postuliert, dass die Ideen der Lernenden auf Erfahrungen basieren und zu Konzepten und Denkfiguren im Sinne Gropengießers (1997) und Groß (2007) führen und dass diese in der Untersuchung der Gespräche identifiziert werden können (vgl. Kap. 6.2.2).

Vorstellungen werden in dieser Arbeit als Kognitionen, also Gedanken der Schüler zu einem naturwissenschaftlichen Phänomen verstanden und umfassen in den Ko-Konstruktionsphasen erste Ideen, die zum Teil noch wenig differenziert sind. Die entstehenden Ideen und Gedanken basieren auf Erfahrungen und führen zu Konzepten oder Denkfiguren.

2.3.2 Lernen ist Veränderung von Vorstellungen

Ausgehend vom Verständnis von Vorstellungen als Kognition und deren Korrelate auf neuronaler Ebene findet eine Veränderung von Vorstellungen ihre Entsprechung in der Veränderung von neuronalen Aktivitätsmustern. Beim Lernprozess erfolgt aufgrund der neuronalen Plastizität eine qualitative und quantitative Modifizierung von Nervenzellen (z.B. Groß, 2004; Kandel, Schwartz, & Jessel, 2000; Menzel, 2001).

Aus lerntheoretischer Sicht beschreibt der revidierte Conceptual Change - Ansatz von Posner und Strike (Strike & Posner, 1992) vier förderliche Bedingungen für die Veränderung von Vorstellungen:

- **Unzufriedenheit:** Die Unzufriedenheit der Lernenden mit der momentan existierenden Vorstellung, indem sie die Grenzen der Erklärungskraft ihrer Vorstellung erkennen.
- **Verständlichkeit:** Die neue Vorstellung muss verständlich und in ihrer Anwendbarkeit erfassbar sein.
- **Plausibilität:** Die neue Vorstellung muss plausibel und glaubwürdig erscheinen. Dabei wirkt sich der Grad der Übereinstimmung zwischen der neuen und bisherigen Vorstellung positiv auf die Plausibilität aus.
- **Fruchtbarkeit:** Die neue Vorstellung sollte sich erfolgreich auf andere Bereiche übertragen lassen.

Der Conceptual Change - Ansatz wurde in der Fachliteratur vielfältig und auch kritisch diskutiert (z.B. Chi, 1992; Duit & Treagust, 2003a; Stark, 2003; Vosniadou & Brewer, 1992). Krüger fasst in einer Literaturzusammenschau die wesentlichen Kritikpunkte zusammen (2007, S. 86). Genannt wird die fehlende Berücksichtigung motivationaler oder situierter, kontextbezogener Aspekte des Lernens. Wei-

terhin wird von Vertretern der Rahmentheorien betont, dass bisherige Vorstellungen nicht einfach aufgegeben werden können, da sich das allgemeine, umfassende Wissensgerüst eines Individuums nicht aufgrund einzelner fachlicher Vorstellungen ändern kann. Daraus wird eine mögliche Erklärung der Persistenz bisheriger Vorstellungen abgeleitet. Ebenso ist der Umgang von Lernenden mit nicht erwartungsgemäßen Beobachtungen oder Daten zu berücksichtigen: häufig werden diese zurückgewiesen oder ignoriert. Dieser Aspekt führt u.a. zur kritischen Betrachtung des „kognitiven Konflikts“, der häufig zu Vorstellungsänderung in Unterrichtskonzepten eingesetzt wird. Es wird angenommen, dass es beim Auflösen des kognitiven Konflikts bei konkurrierenden Vorstellungen nicht zu einer vollständigen unmittelbaren Übernahme der neuen Vorstellung kommt, sondern dass damit eine graduelle, kontinuierliche Veränderung der bisherigen Vorstellung angestoßen wird.

Unter Beachtung der Kritikpunkte bzw. Erweiterungen hat sich der Conceptual Change - Ansatz in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung etabliert und leistet einen wichtigen Beitrag zum Verständnis von Lehr-Lernprozessen.

Krüger (2007, S. 82) fasst alternative Benennungen der Literatur zum „conceptual change“ zusammen, die jeweils einen anderen Akzent im Verständnis der Veränderungsprozesse setzen: „conceptual development“ (Entwicklung), „conceptual growth“ (Wachstum), „conceptual reorganisation“ (Reorganisation) oder „conceptual reconstruction“ (vgl. Ulrich Kattmann et al. 1997). So fokussieren die Begriffe „Wachstum“ und „Entwicklung“ eine schrittweise Veränderung von Vorstellungen, wobei die bisherige Vorstellung verschwindet. „Reorganisation“ betont die Situiertheit und Verknüpfung vor dem Hintergrund der Neurophysiologie während die „Rekonstruktion“ die Eigenaktivität der Schüler in den Mittelpunkt rückt.

In dieser Arbeit wird von „Veränderung“ und „Entwicklung“ von Vorstellungen gesprochen, wobei davon ausgegangen wird, dass dabei Rekonstruktionsprozesse stattfinden und es sowohl zu umfassenden als auch graduellen Veränderungen von Vorstellungen kommen kann.

2.3.3 Vorstellungen sind Lernvoraussetzung und Lernmittel

Aus der konstruktivistischen Sicht des Lernens nehmen Vorstellungen von Schülern eine zentrale Rolle im Unterricht ein, denn aus dieser Perspektive bedeutet Lernen, „dass die Lernenden ihre persönlichen Vorstellungen beim fachlichen Lernen nicht hinter sich lassen müssen, sondern an und mit ihnen lernen können“ (Kattmann, 2005, S. 167). Beim Prozess der Rekonstruktion werden demnach Schülervorstellungen mit wissenschaftlichem Wissen in Beziehung gesetzt. Dabei ist entscheidend, auf welche Art und Weise die Vorstellungen der Schüler

mit wissenschaftlichen Sichtweisen in Bezug gebracht werden: Schülervorstellungen sind sowohl Lernvoraussetzung als auch Lernmittel. Letzteres bedeutet, dass Vorstellungen nicht umgangen oder ersetzt werden können, sondern dass im Fachunterricht mit ihnen gearbeitet werden muss (Kattmann, 2007, S. 98).

Bezugnehmend auf die Conceptual Change-Theorie (vgl. Punkt 2.3.2) schlägt beispielsweise Duit (1995, S. 913) vor, bei Schülern einen kognitiven Konflikt zu erzeugen, indem wissenschaftliche Vorstellungen herangezogen werden, die in wesentlichen Punkten den Schülervorstellungen widersprechen. Duit unterscheidet drei Szenarien des kognitiven Konflikts: 1) Die Hypothese des Schülers und die Beobachtung oder das Ergebnis unterscheiden sich; 2) die wissenschaftliche Vorstellung und die Schülervorstellung unterscheiden sich 3) die Vorstellungen zwischen verschiedenen Schülern sind unterschiedlich. Als Alternative zum Begriff „kognitiver Konflikt“ wird auch „konzeptueller Konflikt“ (conceptual conflict) verwendet, um damit den Wechsel bzw. die Veränderung von Konzepten zu betonen (Hewson, 1984). Bei einem kognitiven Konflikt entstehen diskontinuierliche Lernwege, das bedeutet, dass Lernende in diesem Fall ihre Vorstellungen sehr grundlegend verändern müssen. Bei kontinuierlichen Lernwegen hingegen werden Anknüpfungspunkte gesucht, die eine Erweiterung der bisherigen Vorstellung zulassen oder nur geringe Veränderungen erfordern. In einer späteren Arbeit benennen Widodo und Duit (Widodo & Duit, 2005, S. 132) diese zwei Lernwege mit „revolutionär“ (vermittelt über kognitive Konflikte) und „evolutionär“ und setzen diese in Bezug zu aktueller Literatur. „Evolutionäre“ Ansätze leiten Schritt für Schritt von den vorunterrichtlichen Vorstellungen hin zu den wissenschaftlichen Vorstellungen. Dazu werden Schülervorstellungen ausgewählt, die einen möglichst bruchlosen Weg versprechen.

Als Variante wird das „Umdeuten“ (nach Grayson, 1996) genannt, bei der zunächst die Bedeutungen eines Begriffes für Schüler ermittelt wird. Dann werden richtige Anteile dieser Bedeutung identifiziert und die anderen Anteile werden umgedeutet. Damit erfolgt eine Ausdifferenzierung des Begriffsverständnisses in Richtung der wissenschaftlichen Vorstellung.

An dieses begriffliche Umlernen knüpft auch Kattmann an, indem er herausstellt, dass hierbei die Potenziale der Alltagsvorstellungen genutzt werden (Kattmann, 2017, S. 9 ff.). Umlernen bedeutet hier „alte Vorstellungen in neue verwandeln und im Neuen aufheben (im doppelten Sinne des Wortes)“ (Kattmann, 2017, S. 19). Er beschreibt vier Möglichkeiten, Alltagsvorstellungen in diesem Sinne im Unterricht zu nutzen:

- **Anknüpfung:** Ein Aspekt in der Alltagsvorstellung wird ermittelt, der mit einer fachlichen Vorstellung korrespondiert und somit einen Anknüpfungspunkt darstellt.
- **Perspektivenwechsel:** Ein anderer Blickwinkel regt zum Vergleich der Alltagsvorstellung und der anderen Perspektive an und ergänzt die Alltagsvorstellung.
- **Kontrast:** Eine wissenschaftliche Vorstellung wird der Alltagsvorstellung alternativ gegenübergestellt. Dies kann zum kognitiven Konflikt führen, denkbar ist auch, dass es beim Kontrast bleibt und die Schüler ihre Vorstellung rekonstruieren, ohne ihre Alltagsvorstellung als unbrauchbar zu verwerfen.
- **Brücke:** Die Alltagsvorstellung bildet eine Brücke zu fachlichen Konzepten, die es erlaubt, die Schüler zur fachlichen Vorstellung zu führen.

Folgende Abbildung (4) fasst die Nutzung von Schülervorstellungen zusammen und zeigt Möglichkeiten, wie diese zum Lernmittel für den Unterricht werden können.

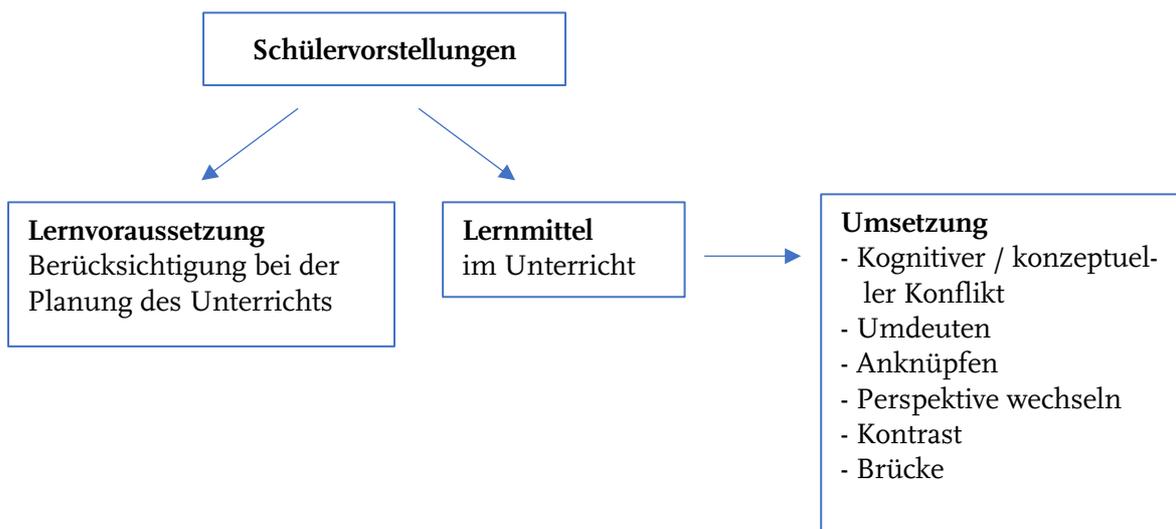


Abb. 4: Nutzung von Schülervorstellungen
Quelle: Eigene Darstellung

Neben den prinzipiellen Möglichkeiten, Schülervorstellungen als Lernmittel zu nutzen, werden aus den konstruktivistischen Überlegungen vielfach Verläufe von Lehr-Lern-Sequenzen abgeleitet. Die Ergebnisse einer umfassenden Literaturrecherche zu solchen Lehr-Lern-Sequenzen (englischsprachig, erfasster Zeitraum 1985-2002) fassen Widodo und Duit (2005) in einem Modell zusammen. Für die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit ist dieses Modell besonders geeignet, da es die strukturierte unterrichtliche Abfolge durchgängig von den Schülervorstellungen aus denkt und diese damit in den Mittelpunkt des gesamten Un-

terrichts rückt. Es enthält nachfolgende Phasen, die in der Regel mehrfach durchlaufen werden (leicht verändert entnommen aus Widodo & Duit, 2005, S. 135-137).

Unterrichtliche Abfolge zum Umgang mit Schülervorstellungen aus konstruktivistischer Sicht

Phase 1: Orientierung

- Lerner nähern sich dem Lerngegenstand, Interessensbildung am Thema
- Beispiele für Unterrichtsaktivitäten: Bezug zum vorherigen Thema wird erläutert, ein Experiment wird vorgeführt

Phase 2: Erkunden der Schülervorstellungen

- Schülervorstellungen werden erkundet, damit die Lehrkraft daran anknüpfen kann
- Schüler sollen sich ihre Vorstellungen bewusst machen und erfahren, das Mitschüler ggf. andere Vorstellungen zum Thema besitzen
- Beispiele für Unterrichtsaktivitäten: Lehrkraft lässt Schüler erläutern, wie sie das Thema verstehen oder wie sie ein Experiment deuten würden

Phase 3: Umstrukturieren der Schülervorstellungen

- Entwicklung einer fachwissenschaftlichen Vorstellung, ausgehend von den Schülervorstellungen (nach den Kriterien des „conceptual change“ nach Posner & Strike, 1982)
- Beispiele für Unterrichtsaktivitäten: Schüler sollen über Alternativen zu ihren Vorstellungen nachdenken; Experiment wird gezeigt und Schüler sollen überprüfen, ob die Beobachtung mit ihren Vorstellungen übereinstimmt; Schüler sollen ihre Vorstellungen mit anderen Quellen hinsichtlich Gemeinsamkeiten und Unterschieden vergleichen; Schüler sollen ihre Vorstellungen aufgrund neuer Informationen erneut formulieren; Schüler werden mit Widersprüchen konfrontiert; Analogien werden dargestellt

Phase 4: Anwenden der neuen Vorstellung

- Durch Anwendung in verschiedenen Situationen werden die neuen Vorstellungen gefestigt und weiterentwickelt.

Phase 5: Überprüfen und Bewerten der neuen Vorstellung

- Die neuen Vorstellungen werden rückblickend betrachtet, so dass die Schüler den Lernprozess nachvollziehen können
- Beispiele für Unterrichtsaktivitäten: Lehrkraft verweist auf Vorstellungen zu Beginn des Lernprozesses und auf den jetzigen Stand; Schüler sollen die Erklärungskraft („Fruchtbarkeit“) der neuen Vorstellung im Vergleich zur bisherigen bewerten.

Auch im Zusammenhang mit der durch die nationalen Bildungsstandards (z.B. Klieme et al., 2003) beförderten Entwicklung eines kompetenzorientierten Unterrichts stehen Vorstellungen von Schülern im Mittelpunkt von Unterrichtsmodellen. Beispielsweise stellt Leisen (2011) ein Lehr-Lern-Modell vor, das in der Lehrerbildung entwickelt wurde und die Vorstellungen von Lernenden in mehreren Schritten des Lernprozesses aufgreift. Insbesondere in den Schritten 2 und 4 wird auf die Vorstellungen Bezug genommen. Nachfolgende Lernschritte sind zusammengefasst und leicht verändert entnommen aus Leisen, 2011, S. 8.

Unterrichtliche Abfolge zum Umgang mit Schülervorstellungen im kompetenzorientierten Unterricht: Lernprozess im Lehr-Lern-Modell

1. Lernschritt: Problemstellung entdecken
Lernende entdecken die Problemstellung
2. Lernschritt: Vorstellungen entwickeln
Lernenden entwickeln individuelle Vorstellungen zum Problem; die Vorstellungen werden im Plenum verhandelt, dadurch wird der Wissensstand bewusst und öffentlich gemacht
3. Lernschritt: Lernmaterial bearbeiten / Lernprodukt erstellen
Die Lernenden erhalten neue Informationen (z.B. Texte, Arbeitsblätter, Experimente), um im Lernprozess weiterzukommen. Bei der Bearbeitung entstehen Lernprodukte in Form von Materialien (z.B. Tabelle, Text, Skizze) oder Erkenntnissen.
4. Lernschritt: Lernprodukt diskutieren
Bei der Erstellung des Lernproduktes werden Vorstellungen weiterentwickelt. Diese veränderten Vorstellungen werden artikuliert, verbalisiert, verhandelt und mit denen anderer Lerner abgeglichen. Die Lernergruppe verständigt sich auf gemeinsame Erkenntnisse im Sinne eines gemeinsamen Kerns.

5. Schritt: Lernzugewinn definieren
Die Lernenden ermitteln ihren individuellen Lernzuwachs.
6. Schritt: Vernetzen und transferieren / Sicher werden und üben
Die Lernenden lösen das neu gelernte Wissen aus dem bisherigen Kontext und wenden es in einem anderen Kontext wieder an. Damit wird das Wissen verfügbar.

Zusammenfassung: Die Bedeutung von Schülervorstellungen aus konstruktivistischer Perspektive

- Vorstellungen werden in dieser Arbeit als Kognitionen, Gedanken der Schüler zu einem naturwissenschaftlichen Phänomen verstanden und umfassen in den Ko-Konstruktionsphasen Ideen und Äußerungen, die zum Teil noch wenig differenziert sind. Die entstehenden Ideen und Gedanken basieren auf Erfahrungen und führen zu Konzepten oder Denkfiguren.
- Lernen wird als Veränderung von Vorstellungen betrachtet. Dieser Prozess wird durch Unzufriedenheit mit der bisherigen Vorstellung und dem Angebot einer neuen Vorstellung, die plausibel, verständlich und fruchtbar erscheint, gefördert.
- Durch Rekonstruktionsprozesse setzen Schüler ihre Vorstellung mit wissenschaftlichen Vorstellungen in Beziehung. Deshalb sind Schülervorstellungen Ausgangspunkt des Lernens und Lernmittel, das heißt, dass mit Vorstellungen im Unterricht gearbeitet werden sollte.
- Zum Umgang mit Schülervorstellungen im Unterricht gibt es verschiedene Vorgehensweisen: Kognitiver / konzeptueller Konflikt, Umdeuten, Anknüpfen, Perspektivwechsel, Kontrast, Brücke. Ein auf Schülervorstellungen ausgerichteter Unterricht bildet dies auch in den Zielen verschiedener Phasen bzw. Schritte ab.

2.4 Ko-Konstruktive Lernprozesse im Unterrichtsgespräch

Die folgenden Punkte nehmen Lernprozesse im Unterrichtsgespräch in den Blick, woraus sich zwei Besonderheiten ergeben: Ausgehend vom Gespräch einer Gruppe als Raum, in dem Lernern stattfindet, schließt sich die Frage nach kollektiven Lernprozessen in Gruppen an, die durch Ko-Konstruktion beschrieben werden können. Nach einer Annäherung an den Begriff „Ko-Konstruktion“ und Aspekte zum Unterrichtsgespräch folgen mit Blick auf die Forschungsfragen eine Betrachtung von kollektiven Lernprozessen und Kennzeichen erfolgreicher ko-konstruktiver Gespräche.

2.4.1 Was ist Ko-Konstruktion?

Der Begriff „Ko-Konstruktion“ wird in der Literatur äußerst heterogen verwendet, es gibt weder ein gemeinsames, zugrundeliegendes Modell noch eine allgemeingültige Beschreibung der zugehörigen Lernprozesse. Je nach theoretischem Kontext sind unterschiedlichste Zugänge und Akzente zur Ko-Konstruktion zu finden.

Reusser (2001) fasst wesentliche Unterschiede und Gemeinsamkeiten zusammen. Zusätzlich verdeutlichen die exemplarisch in Klammern hinzugefügten englischsprachigen Begrifflichkeiten und Literaturbeispiele die Vielfalt der Zugänge zur Ko-Konstruktion.

Unterschiede im Verständnis der Ko-Konstruktion finden sich vor allem in Bezug auf folgende Merkmale:

A) Die soziale Form des Gesprächs, die ko-konstruktiv genannt wird:

- Dialog zwischen Mutter und Kind oder Erzieherin und Kindern (z.B. Fthenakis, 2009)
- Interaktion zwischen Gleichaltrigen (peer collaboration; z.B. Lumpe, 1995)
- Interaktion zwischen Schülern in Gruppenarbeiten (z.B. Richmond & Striley, 1996) oder zwischen Lehrer und Schülern (z.B. van Vondel et al., 2017)
- Interaktion in Teams (z.B. Stokols et al. 2008)
- computergestütztes kollaboratives Arbeiten (z.B. Puntambekar & Hubscher, 2005)

B) Die pädagogisch-psychologischen Prozesse, die bei einer erfolgreichen ko-konstruktiven Aktivität beteiligt sind:

- ein produktiver Dialog in Form eines explorativen Gespräches (exploratory talk; z.B. Mercer & Hodgkinson, 2012) oder in Form von kollektiven Argumentationen (collective argumentation; z.B. Lazarou et al. 2016)
- eine gemeinsame Verhandlung in Bezug auf einen kognitiven Konflikt oder als Prozess eines gemeinsamen Verstehens (negotiation, critical discourse; z.B. Osborne, 2010)
- Aushandeln einer gemeinsamen Bedeutung (joint meaning making; z.B. Berland & Reiser, 2009; Mortimer et al. 2003)
- Ausarbeitung von Ideen und Konstruktion von gemeinsamen Wissen (construction of knowledge; z.B. Damşa & Ludvigsen, 2016)

C) Die erwarteten Ergebnisse der ko-konstruktiven Zusammenarbeit:

- Entwicklung von Vorstellungen von Lernenden (conceptual development; z.B. Chan, 2001; Sorsana, 2008)
- Positive Auswirkungen auf Motivation und argumentative Fähigkeiten der Lernenden (z.B. Sampson & Clark, 2009)

Der gemeinsame Kern der meisten theoretischen Konzepte zur Ko-Konstruktion wird durch nachfolgende Aspekte beschrieben (nach Reusser, 2001, S. 2059). Für diese Arbeit sollen ein allgemeines Verständnis von Ko-Konstruktion charakterisieren.

Ko-Konstruktion:

Durch eine Form der kollaborativen Tätigkeit kommt es mittels gemeinsam geteilter Vorstellungen zu einer Übereinstimmung von Meinungen (Konvergenz), wodurch das gemeinsame Erkennen und Verstehen komplexer Sachverhalte (Intersubjektivität) gefördert wird, wobei die Sprache der zentrale Vermittler ist.

2.4.2 Ausgewählte Aspekte zum Unterrichtsgespräch

Nachfolgend wird das Unterrichtsgespräch bezüglich einer Definition und hinsichtlich verschiedener Formen betrachtet und es werden Begrifflichkeiten wie „Dialog“ oder „Diskurs“ aufgegriffen, die häufig im Kontext von Ko-Konstruktion zu finden sind.

Zum Begriff „Unterrichtsgespräch“ erörtert Bitter (2006, S. 20 ff.) verschiedene Aspekte. Ausgehend von dem grundlegenden Kommunikationsdreieck (Sender-

Empfänger-Inhalt) besetzen im schulischen Rahmen Lehrer, Schüler und Unterrichtsinhalte die Eckpunkte. Mit der beruflichen Position der Lehrkraft begründet Bittner die asymmetrische Rollenverteilung von Lehrkraft und Schüler im Gespräch. In diesem Zusammenhang ist zu bedenken, dass auch ein symmetrischer Schüler-Schüler-Dialog innerhalb eines Unterrichtsgespräches durch fachdidaktische und pädagogische Zielsetzungen der Lehrkraft beeinflusst wird. Weiterhin sind Unterrichtsgespräche an bestimmte Zeitfenster gebunden und erfordern seitens der Lehrkraft eine Moderation, um die Vielzahl der Beiträge zu bündeln. Bezüglich der Inhalte unterscheidet Bittner „Erarbeitungsgespräche“, bei denen es um das Verstehen und Nachvollziehen von Sachverhalten geht und „Verarbeitungsgespräche“, bei denen das eigentätige Ergründen und Interpretieren (im konstruktivistischen Sinne das Konstruieren von Vorstellungen), im Vordergrund steht. Weiterhin umfassen erforderliche soziale Kompetenzen das Zuhören, das Formulieren von Beiträgen, die Geduld (insbesondere seitens der Lehrkraft) beim Warten auf Beiträge und generell der respektvolle Umgang mit den geäußerten Beiträgen. Aus seinen Ausführungen definiert Bittner (2006, S. 31): „Ein Unterrichtsgespräch ist eine zum schulischen Lehren, Lernen und Erziehen eingesetzte dialogische Interaktion, mit der unter kommunikativen Gesetzmäßigkeiten sozial relevante Bildungskontexte bereitgestellt werden und in der die personalen Interessen, Rücksichten und Erwartungen so zu moderieren sind, dass Schüler kulturell vorstrukturierte Stoffgebiete er- und verarbeiten können“.

Huwendiek (2014, S. 86 ff.) nennt als mögliche Ziele des Unterrichtsgespräches Erkenntnisse erwerben, Zusammenhänge verstehen, Probleme lösen oder die Meinungsbildung und unterscheidet drei verschiedene Gesprächsformen (Kennzeichen vgl. Tab. 4), in denen die kommunikative Interaktion stattfinden kann.

Tab. 4: Formen des Unterrichtsgesprächs

	Formen des Unterrichtsgesprächs		
Aspekte	Fragend-gelenktes Verfahren	Entwickelndes Unterrichtsgespräch	Schülergespräch
Ziele	Fachwissen	Fachliche und methodische Kompetenzen	Fachliche und methodische und soziale Kompetenzen
Lehrperson	Instruktor	Gesprächsleiter	Moderator, Berater
Steuerung Interaktion	Hoch lehrergesteuert, wenig Schüler-Schüler-Bezug	Lehrergesteuert und schülerorientiert	Schülerzentriert, viel Schüler-Schüler-Bezug
Gesprächsführung, Fragetechnik	Viele enge und kleinschrittige Fragen, umfangreiche Vermittlungshilfen, direktes Feedback (pro Schülerbeitrag)	Wenige Leitfragen, Impulse, minimale Vermittlungshilfen, bündelndes Feedback	Offene Fragen, Fragen der Lernenden im Mittelpunkt, Austausch
Leistungen Chancen	Klar strukturierter Wissensaufbau	Transparentes gemeinsames Problemlösen, angeleitetes Entdecken-lernen	Bewusstmachen eigener Erfahrungen und Weiterentwicklung, Akzeptanz verschiedener Sichtweisen, Meinungen
Probleme Gefahren	Gängelung, Ratespiel	Unklare Struktur	„Gelaber“, Scheinbare Offenheit oder Symmetrie

Quelle: Tabelle gekürzt und leicht verändert entnommen aus Huwendiek, 2014, S. 88

Weiterhin werden insbesondere bei der Betrachtung ko-konstruktiver Unterrichtsgespräche häufig die Begriffe „Diskurs“, „Diskussion“ und „Dialog“ verwendet. Im Duden (www.duden.de, abgerufen im Juli 2017) sind für diese Begriffe folgende Bedeutungen zu finden:

- Dialog: von zwei oder mehreren Personen abwechselnd geführte Rede und Gegenrede; Zwiegespräch, Wechselrede und Gespräche, die zwischen zwei Interessengruppen geführt werden mit dem Zweck des Kennenlernens der gegenseitigen Standpunkte
- Diskussion: (lebhaftes, wissenschaftliches) Gespräch über ein bestimmtes Thema, Problem
- Diskurs: (lebhaft) Erörterung; Diskussion

Zu erkennen sind die Überschneidungen der Begriffe in der Bedeutungserklärung und auch die im Duden aufgeführten Synonyme der Begriffe sind in großen Teilen identisch. Auch Kolenda (2010, S. 34) weist auf die enge Verwandtschaft der Begriffe „Gespräch“, „Dialog“ und „Diskurs“ hin. Beim Begriff des „Diskurses“ verweist Kolenda auf den lateinischen Ursprung (*discurrere*: hin und her laufen) und leitet daraus die Prozesshaftigkeit von Gesprächen, in denen die Gedanken hin- und herlaufen ab. Demnach fokussiert das ursprüngliche Verständnis des Begriffes „Diskurs“ auf „den Aspekt des wechselseitigen Austausches, um einen sachinhaltlichen Gegenstand sprachlich gemeinsam weiterzuentwickeln.“ (Kolenda, 2010, S. 35).

Auch aus fachdidaktischer Perspektive ist Kommunikation im Rahmen des Unterrichtsgesprächs ein zentrales Thema, wobei Sprache ein Mittel für Verständigung und Anschauung ist (Anton, 2008, S. 168 ff.; Harms & Kattmann, 2013, S. 378 ff.).

In Anlehnung an Kolenda (2010) werden in dieser Arbeit die Begriffe „Gespräch“, „Dialog“, „Diskurs“ und „Diskussion“ synonym verwendet, wobei mit Verwendung des Begriffes „Diskurs“ der wechselseitige Austausch im Gespräch betont wird.

2.4.3 Lernprozesse in Gruppen

Die Frage nach der theoretischen Begründung von Lernprozessen in Gruppen kann zum einen aus konstruktivistischer Sicht durch den sozialen Aspekt von Lernen betrachtet werden (vgl. Punkte 2.1 und 2.2.4). Zum anderen formuliert der genetische Interaktionismus die These, dass individuelle Lernprozesse in soziale Interaktionsprozesse integriert sind. Dies greift Miller (1986) auf, um seine Theorie der kollektiven Lernprozesse darzulegen. So definiert er kollektive Lernprozesse als „eine bestimmte Form des an Verständigung orientierten sozialen Handelns bzw. des kommunikativen Handelns (...). Sie vollziehen sich im Wesentlichen in Form von kollektiven Argumentationen“ (Miller, 1986, S. 10). Miller betont, dass das Subjekt eines Lernprozesses immer nur das einzelne Individuum sein kann. Insofern bezieht er den Begriff „kollektiver Lernprozess“ nicht

auf das Lernen eines Kollektivs, sondern auf die These, dass bei Lernprozessen innerhalb von Gruppen ein Lernen der Individuen stattfindet (ebd. S. 32). Mit dem Begriff der „Argumentation“ spezifiziert Miller die soziale Interaktion, um Lernprozesse in Gruppen untersuchbar zu machen und zu rekonstruieren. Grundlegende Lernprozesse werden ausgelöst, indem kollektive Lösungen für ein gemeinsames Problem entwickelt werden. Als Handlungstypus nennt Miller den „kollektiven Diskurs“ bzw. die „kollektive Argumentation“ (ebd. S. 22-23). Auch Brandt und Höck (2011) betonen, dass die gemeinsam ausgehandelte Ko-Konstruktion zur Problemlösung für alle Lernenden neue Deutungsaspekte enthalten kann und somit individuelle Lernprozesse eröffnet werden (Brandt & Höck, 2011, S. 250). De Boer (2015) merkt an, dass das Lerngeschehen in Gesprächen nicht direkt beobachtbar ist, sondern nur die Veränderungen, die bei den Diskursteilnehmern stattfinden und die Entwicklung der ausgehandelten, gemeinsam geteilten und akzeptierten Deutung. Lernen ist damit Teilhabe an einer gemeinsamen Konstruktion, bei der das Ergebnis des gemeinsamen Denkprozesses über die Einzeläußerungen hinaus geht (Boer, 2015, S. 19). Die Partizipation am Gespräch umfasst auch das (bloße) Zuhören, wie Brandt (2015) darstellt. Nach Kolenda (2010) wird der Lernprozess in Gruppen an den veränderten Perspektiven der Beteiligten erkannt. Wichtige Merkmale sind dabei die Anschlussfähigkeit von verschiedenen Bedeutungen, die dadurch für die gemeinsame Sinnkonstruktion zur Verfügung gestellt werden und die sich aufeinander beziehenden Beiträge (reziproke Gesprächsstruktur), zum Beispiel von Lehrkraft und Schülern (Kolenda, 2010, S. 164).

Naturwissenschaftsdidaktische Aspekte

Aus fachdidaktischer Sicht gibt es zum einen konkrete Anknüpfungspunkte für den kollektiven Diskurs zwischen Schülern und zum anderen etliche Ergebnisse aus Studien im naturwissenschaftlichen Unterricht, die zeigen, dass explizite Phasen der Ko-Konstruktion zu Lernprozessen führen. Osborne (2010) fasst Ergebnisse aus der Literatur, darunter auch etliche Metastudien, zusammen, um wesentliche Implikationen für den naturwissenschaftlichen Unterricht aufzuzeigen.

Ausgangspunkt ist die Bedeutung kollektiver Diskurse für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Wenn Naturwissenschaftler neue Erkenntnisse über die Natur gewinnen, ist es ein wesentlicher Prozess der Qualitätssicherung, dass die neuen Daten, Theorien, Methoden in der Community diskutiert werden. Diese Diskussion kann informell stattfinden, zum Beispiel in Arbeitsgruppen oder im Labor oder formell auf Konferenzen oder beim Review-Prozess von Publikationen. Über Argumentationsprozesse werden die neuen Ergebnisse z.B. hinsichtlich Qualität, Reproduzierbarkeit, Relevanz kritisch diskutiert (Osborne, 2010,

S. 463). Insofern sollte sich auch dieser zentrale Prozess des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgangs im Unterricht abbilden. Osborne leitet hier vier zentrale Fähigkeiten ab, die Lernende benötigen, um im Unterricht naturwissenschaftlich zu argumentieren (ebd. S. 465): 1) Die Identifizierung von Mustern in Daten, um zum Beispiel Zusammenhänge und Abhängigkeiten von Variablen zu erkennen, 2) Theorien mit Beweisen zu unterstützen/nicht zu unterstützen, 3) Evidenzbasierte, erklärende Hypothesen oder Modelle von wissenschaftlichen Phänomenen entwickeln und überzeugende Argumente für die Gültigkeit anführen und 4) Gültigkeitsbereiche und Aussagen der Daten darlegen, wie zum Beispiel Messfehler diskutieren, Einschränkungen in der experimentellen Anordnung oder in der Messmethode benennen.

Damit knüpft Osborne an einen weiteren wichtigen und langjährigen internationalen Bereich naturwissenschaftsdidaktischer Forschung an: Im Rahmen der naturwissenschaftlichen Bildung (Nature of Science) wird die Erkenntnisgewinnung als naturwissenschaftliches Problemlösen aufgefasst (z.B. Arnold et al. 2013; Knorr-Cetina, 1981; Lederman, 2007). Hier sind die von Osborne aufgeführten Fähigkeiten, die beim wissenschaftlichen Diskurs benötigt werden, in der Kompetenz „Wissenschaftliches Denken“ (scientific reasoning) verortet (Mayer, 2007, S. 178). Ein weiterer Anknüpfungspunkt sind die Argumentationsprozesse selbst. Diese ebenfalls umfangreiche naturwissenschaftsdidaktische Forschungsrichtung beschäftigt sich im Detail mit der Untersuchung der Prozesse beim wissenschaftlichen Argumentieren und Begründen im Unterricht, die ebenfalls einem Zielbereich der naturwissenschaftlichen Grundbildung (Scientific literacy) zugeordnet werden (z.B. Beinbrech et al., 2009; Berland & Reiser, 2009; Driver et al. 1994; Riemeier et al., 2012).

Unabhängig von der Forschungsrichtung zeigen viele Studien, dass schlussfolgerndes Denken, Argumentieren und kritisches Hinterfragen das konzeptuelle Lernen von Schülern fördert (Osborne 2010). Dabei entwickeln Lernende im Dialog durch Vergleichen und Kontrastieren von Ideen neue Konzepte bzw. Vorstellungen. Daher sollten Lernumgebungen Möglichkeiten bieten, Annahmen darzulegen und Hypothesen zu belegen oder zu verteidigen, wenn sie hinterfragt werden. Dabei ist es genauso wertvoll, fachlich richtige Annahmen zu entwickeln, wie nicht zutreffende Überlegungen zu identifizieren. In diesem Zusammenhang wurde auch gezeigt, dass die Diskussion von fachlich falschen Annahmen der Schüler (aus konstruktivistischer Sicht „Alltagsvorstellungen“ oder „lebensweltliche Vorstellungen“) zu einem Lernerfolg geführt haben (Ames & Murray, 1982, zitiert nach Osborne, 2010).

Obwohl die kognitiven Prozesse im Individuum stattfinden, ist es sehr wahrscheinlich, dass die Diskussion mit anderen Lernenden es ermöglicht, neue Vorstellungen durch Widersprüche oder Gegenargumente zu prüfen. In diesem

Sinne werden Argumentieren und Diskutieren als Kernprozesse bei der Konstruktion von Wissen verstanden (Osborne, 2010, S. 464). Deshalb sollten im Unterricht für die Schüler verstärkt explizite Möglichkeiten geschaffen werden, dies zu üben. Zum Beispiel in Form von kollektiven Argumentationen, in denen sich Schüler konstruktiv mit den Ideen und Vorstellungen zu naturwissenschaftlichen Phänomenen der Mitschüler auseinandersetzen (ebd., S. 466).

Die Untersuchung der Lernprozesse im Unterrichtsgespräch geht in dieser Arbeit von folgenden Annahmen aus:

- Lernprozesse innerhalb von Gruppen werden als Lernen der Individuen verstanden.
- Ko-konstruierte Vorstellungen eröffnen individuelle Lernprozesse.
- Das Lerngeschehen an sich ist nicht beobachtbar. Es können nur die Veränderung der Vorstellungen, die von den Schülern im Unterrichtsgespräch geäußert werden, untersucht werden. Auch durch Zuhören ist eine Teilnahme am Denk- und Lernprozess möglich.
- Zentrale Merkmale im Ko-Konstruktionsprozess sind das Verhandeln einer gemeinsam akzeptierten Deutung oder Problemlösung im kollektiven Diskurs, die Anschlussfähigkeit der Vorstellungen und die inhaltlichen Bezüge und Zusammenhänge zwischen den Gesprächsbeiträgen.

2.4.4 Kennzeichen ko-konstruktiver Unterrichtsgespräche

Für Ko-Konstruktionsprozesse werden in der Literatur meist folgende Voraussetzungen beschrieben: 1. Die Wechselseitigkeit (Reziprozität) zwischen Lehrer und Schüler im Gespräch, 2. die Fokussierung der Aufmerksamkeit aller Beteiligten auf das Ziel (z.B. Problemlösung) und 3. die Verantwortlichkeit für die Entwicklung der gemeinsamen Lösung mit der entsprechenden Koordination des Gruppengesprächs (z.B. Alexander, 2012; Barnes & Todd, 1995; Kumpulainen & Kaartinen, 2000; Tatsis & Koleza, 2006). Vor diesem Hintergrund kann eine genauere Betrachtung der Gespräche zum einen auf der funktionalen Ebene erfolgen, indem beispielsweise den Diskussionsbeiträgen soziale und kognitive Funktionen im Lernprozess zugeordnet werden (z.B. Barnes & Todd, 1995) oder zum anderen auf der inhaltlichen Ebene, indem die Entwicklung der gemeinsamen Ideen beschrieben wird (z.B. Höck, 2015; Howe, 2009).

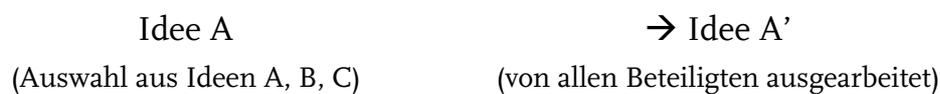
Die inhaltliche Betrachtung von ko-konstruktiven Gesprächen

Für die inhaltliche Betrachtung wurden von Howe (2009, S. 217 ff.) mehrere Fälle der ko-konstruktiven Ideenentwicklung (joint construction) in Gruppengesprächen identifiziert: Typ 1 ist eine symmetrische Konstellation, in der die Ideen

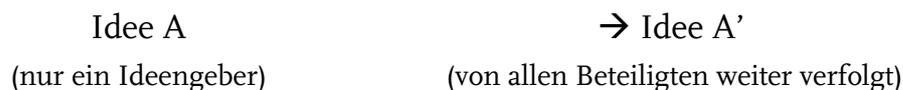
mehrerer Schüler (A+B) zu einer gemeinsamen, erweiterten Problemlösung (C) beitragen.



Typ 2 ist die asymmetrische Ko-Konstruktion, bei der sich die Idee eines Schülers (A) unter allen anderen durchsetzt und im Anschluss von allen Beteiligten gemeinsam zu Lösung (A') weiterentwickelt wird. Der Ideengeber kann im Sinne von Vygotskys „Zone der nächsten Entwicklung“ (vgl. Punkt 2.1.2) der erfahrenere Mitschüler sein.



Höck (2015, S. 125 ff.) fügt noch einen Typ 0 hinzu, bei dem es keine konkurrierenden Ideen gibt, sondern von Beginn an einstimmig die Idee eines Schülers weiter verfolgt wird.



Die Untersuchung der Lernprozesse im Unterrichtsgespräch geht in dieser Arbeit von folgenden Überlegungen aus: Die Ansätze von Howe (2009) und Höck (2015) sollen mit dem Verständnis von Schülervorstellungen verknüpft werden. Dies bedeutet für die Analyse der Gespräche, dass bei den Ko-Konstruktionsprozessen die Ideen bzw. Äußerungen der Schüler betrachtet und die zugrundeliegenden Konzepte oder Denkfiguren (vgl. Gropengießer, 1997) identifiziert werden.

Die funktionale Betrachtung von ko-konstruktiven Gesprächen

In vielen Studien werden die Beiträge der Gesprächsteilnehmer hinsichtlich ihrer Funktion, die sie im Ko-Konstruktionsprozess übernehmen, betrachtet (z.B. Berland & Reiser, 2009; Chan, 2001; Damşa & Ludvigsen, 2016; Hardman, 2008; Paavola, Lakkala, Muukkonen, Kosonen, & Karlgren, 2011; Richert, 2005; Tatsis & Koleza, 2006; van Vondel et al., 2017).

Ein ausführliches Kategoriensystem für die funktionale Ebene haben zum Beispiel Barnes und Todd (1995) abgeleitet. In ihrer Studie untersuchen sie die funktionalen Bedingungen, die ein erfolgreiches ko-konstruktives Gespräch bei Gruppendiskussionen von Schülern ermöglichen. Die Diskussion der Schüler wurde

nicht von der Lehrkraft beeinflusst. Aus einer Mikroanalyse der Gesprächsmuster wurde unter anderem ein Kategoriensystem abgeleitet, das soziale und kognitive Funktionen von ko-konstruktiven Lerngesprächen beschreibt. Barnes und Todd merken an, dass die beschriebenen Gesprächsmuster Voraussetzung für eine zielgerichtete, lernförderliche Diskussion der Schüler sind: „Without such moves, purposive group discussions oriented towards learning would not take place“ (Barnes & Todd, 1995, S. 29).

Das gesamte Kategoriensystem ist in zwei Ebenen unterteilt und umfasst die Bereiche „Gesprächsmuster“, „logische Prozesse“, „soziale Dimension“, „kognitive und reflexive Strategien“ von ko-konstruktiven Gesprächen. Im Folgenden werden die Funktionen von Gesprächsmustern beschrieben, die zur Zusammenarbeit, zur reziproken Gesprächsstruktur und zu geteiltem Wissen führen und vier Kategorien umfassen (Barnes & Todd, 1995, S. 27-38 und 79):

„Initiating“: Initiieren

In dieser Kategorie wird aufgezeigt, wie neue Perspektiven und Sichtweisen initiiert werden. Oft beginnen solche Gesprächsmuster mit Satzanfängen wie „Ich denke, dass...“ oder „Ich denke nicht, dass...“ Schüler bringen damit eine Sichtweise ein, die sie für relevant und nützlich halten, um diese im Plenum mit den Mitschülern zu diskutieren.

„Eliciting“: Auslösen, Fortführen

Diese Kategorie subsummiert sprachliche Strategien, die ein Gespräch aufrechterhalten und dazu führen, dass sich weitere Schüler am Gespräch beteiligen. Ohne gegenseitige Unterstützung ist es unwahrscheinlich, dass eine Gruppe über einen längeren Zeitabschnitt eine fokussierte Diskussion führt. Barnes und Todd unterscheiden dabei vier Arten von fortführenden Strategien:

- Die Aufforderung, mit dem begonnenen Beitrag fortzufahren.
- Die Aufforderung, eine zuvor eingebrachte Bemerkung anzureichern, zu erweitern.
- Die Frage nach Bestätigung der Sprechermeinung (z.B. „Ist es nicht so?“ Antwort z.B. „Mhm“).
- Der Wunsch nach (mehr) Information.

„Extending“: Ausbauen, Erweitern, Ausarbeiten von Ideen

Barnes und Todd stellten fest, dass erfolgreiche Gruppen nach der Festlegung einer gemeinsamen Strategie zur Lösung der Frage in den Prozess der Ausschärfung und Ausarbeitung der Strategie gehen. Eine Idee wird weiter ausgebaut und differenziert oder verändert, andere Ideen dafür fallen gelassen.

„Qualifying“: Eignung überprüfen, Bewerten von Beiträgen

Das Ausbauen und Erweitern von Lösungsansätzen geht fließend in die vierte Kategorie über, deren sprachliche Muster eine überprüfende Funktion besitzen. Wenn eine Idee ausgebaut und erweitert wird, führt dies zwangsläufig zu einer Veränderung der Idee, z.B. der Anwendungsbereich wird verändert oder es werden Schwierigkeiten benannt, die bisher noch nicht bedacht wurden. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn Schüler bei der vertiefenden Diskussion eines Lösungsansatzes Widersprüche in der Argumentation bzw. in den Beiträgen oder Ideen bemerken und dann Möglichkeiten suchen, diese Widersprüche aufzulösen.

„Responding (Accepting)“: Feedback, (bestätigende) Antwort

Weiterhin wurden Gesprächsbeiträge identifiziert, die eine Rückmeldung bzw. Antwort zu vorher geäußerten Überlegungen geben. Eine bestätigende Antwort fördert die Fortführung des Gespräches.

Die Kategorien von Barnes und Todd wurden in ähnlicher Form auch in anderen Studien bestätigt. Zum Beispiel identifizieren Damsa und Ludvigsen (2016) bei erfolgreichen ko-konstruktiven Prozessen von Lernenden wichtige Aktivitäten wie das Teilen, Diskutieren, Verhandeln oder das gemeinsame Ausarbeiten von Ideen. Zur Analyse der Funktion der Gesprächsbeiträge verwenden sie Kategorien wie: Informationen teilen, Erklärungen entwickeln, Ideen generieren, Ideen aufgreifen, Ideen ausarbeiten, Ideen verhandeln, Wissen strukturieren, den Gesprächsfokus verschieben oder festlegen, Problematisieren oder konstruktives Feedback. Ein weiteres Ergebnis dieser Studie zeigt, dass es eine große Herausforderung für Schülergruppen darstellt, ihre im Gespräch erarbeiteten Ideen in eine schriftliche Form (Text oder andere Produkte) umzuwandeln. Dieser Wechsel von der mündlichen zur schriftlichen Ebene benötigt eine klare Orientierung während der Gespräche und spezifische Aktivitäten, die auf dieses Ergebnis hinführen.

Die Untersuchung der funktionalen Ebene der Gespräche in dieser Arbeit lehnt sich an Barnes und Todd (1995) an und wendet diese Kategorien auf das Unterrichtsgespräch an. Im Gegensatz zu Barnes und Todd und anderen Studien wird

in dieser Arbeit eine Schülerdiskussion untersucht, die durch die Lehrkraft gelenkt wird.

Zusammenfassung: Ko-Konstruktive Lernprozesse im Unterrichtsgespräch

- Die Begriffe „Gespräch“, „Dialog“, „Diskurs“ und „Diskussion“ können synonym verwendet werden, wobei mit „Diskurs“ der wechselseitige Austausch im Gespräch betont wird.
- Lernprozesse in Gruppen werden als Lernen der Individuen in einer sozialen Gruppe verstanden.
- Ko-Konstruktion ist gekennzeichnet durch eine Form der kollaborativen Tätigkeit, bei der es mittels gemeinsam geteilter Verstehensmuster zu einer Übereinstimmung von Meinungen (Konvergenz) und einem gemeinsamen Erkennen und Verstehen komplexer Sachverhalte (Intersubjektivität) kommt, wobei die Sprache der zentrale Vermittler ist.
- Ko-konstruierte Vorstellungen eröffnen individuelle Lernprozesse. Auch durch Zuhören ist eine Teilnahme am Denk- und Lernprozess möglich.
- Zentrale Merkmale im Ko-Konstruktionsprozess sind das Verhandeln einer gemeinsam akzeptierten Deutung oder Problemlösung im kollektiven Diskurs, die Anschlussfähigkeit der Vorstellungen und die inhaltlichen Bezüge und Zusammenhänge zwischen den Gesprächsbeiträgen.
- Ko-Konstruktive Gespräche können inhaltlich (Entwicklung der Ideen) und formal (Funktionen der Gesprächsbeiträge) untersucht werden.

2.5 Die Rolle der Lehrkraft bei ko-konstruktiven Gesprächen

Nachfolgend wird die Rolle der Lehrkraft genauer betrachtet. Ausgehend von der Darstellung bekannter Herausforderungen im Unterrichtsgespräch werden Möglichkeiten eines kommunikativen Lehrerhandelns erörtert, das Ko-Konstruktionen der Lernenden fördert. Neben der Betrachtung verschiedener Gesprächstypen werden unterschiedliche Lehrerinterventionen aufgezeigt.

2.5.1 Herausforderungen im Unterrichtsgespräch

Das lehrergelenkte Unterrichtsgespräch ist ein elementares Mittel zur Gestaltung von Lernprozessen und nimmt in Bezug auf die Unterrichtszeit einen großen Umfang ein. In der Lehr-Lernforschung sind die Gestaltung des Unterrichtsgesprächs und die benötigten Fähigkeiten der Lehrkraft seit langem zentrale Themen (z.B. Bittner, 2006; Friedrich, 2002; Kobarg, Prenzel, & Schwindt, 2009; Loska, 1995; Mehan, 1979; Pauli, 2006; Seidel et al., 2003).

In vielen Studien werden bei der Rolle der Lehrkraft die Impulse und Fragen, die im Unterrichtsgespräch eingesetzt werden, untersucht. Hier zeigen die Befunde seit Jahrzehnten ein vorherrschendes Sprachmuster, das als eine Abfolge von „Frage-Antwort-Rückmeldung“ beschrieben wird (auch: „IRF-pattern“ Initiation-Reply-Feedback oder „IRE“: Initiation-Reply-Evaluation): Nach einer eng geführten Frage der Lehrkraft erfolgt eine Kurzantwort eines Schülers, die im Anschluss von der Lehrkraft (häufig im Sinne richtig/falsch) bewertet wird (z.B. Dawes, 2004; Mehan, 1979; Pauli, 2010; Richert, 2005). Hauptkritikpunkt an den IRF-Mustern ist der geringe Grad an kognitiver Aktivierung der Lernenden. Mit einher gehen bei solchen Sprachmustern sequenzierte, isolierte Schülerbeiträge und eine ergebnisorientierte Steuerung der Lehrkraft. Dabei werden nur die Schülerbeiträge aufgegriffen, die zur fachwissenschaftlichen Zielvorstellung passen, andere Antworten werden übergangen oder negativ bewertet oder die Lehrkraft versucht, mit gezielten inhaltlichen Hinweisen das Gespräch wieder in die gewünschte Richtung zu lenken. Durch die alleinige Fokussierung der Lehrkraft auf die richtigen, passenden Schülerantworten kommt es zu einer Verengung des kommunikativen Handlungsspielraumes. Beispielsweise unterbleibt ein Nachfragen bei Schüleräußerungen, was nötig wäre, um das Konzept, auf dem die Schülerantwort basiert, zu identifizieren, um die Vorstellung im Sinne eines Lernmittels in das Unterrichtsgespräch einbinden zu können (Bauersfeld, 1978; Jahnke-Klein, 1998; Loska, 1995). Weitere Kritikpunkte, die in vielen Studien bestätigt wurden, sind der hohe Redeanteil der Lehrkräfte, die Dominanz von Fragen, die Schüler zu Kurzantworten oder reproduktiven Antworten verleiten, sehr kurze Bedenkzeiten nach einer Frage sowie einfache (lediglich be-

stätigende oder falsifizierende) Rückmeldungen zur Schülerantwort (Pauli, 2010, S. 151).

Auch für den naturwissenschaftlichen Unterricht werden die dargestellten Befunde zur Lehrer-Schüler-Interaktion bestätigt. Zum Beispiel zeigt die umfangreiche, sechsjährige IPN Videostudie (Seidel et al., 2006a, S. 806), dass zu 80% die Lehrkraft das Unterrichtsgespräch dominiert, die Fragen der Lehrkräfte in 80% der Fälle Reproduktionsfragen sind und nur 5% der Fragen sogenannte „Deep-Reasoning Fragen“ waren, die auf Zusammenhänge zwischen Fachinhalten zielen. Die Rückmeldungen der Lehrkräfte zu den Schülerbeiträgen bestanden überwiegend aus kurzen ja/nein - Äußerungen und nur 12 % der Rückmeldungen enthielten weitergehende sachlich-konstruktive oder positiv-unterstützende Anmerkungen. In 90% der Fälle hatten die Schülerbeiträge im Unterrichtsgespräch die Funktion, passende Stichworte für den roten Gesprächsfaden der Lehrkraft zu liefern. Dagegen wurden lernförderliche Situationen, in denen Schüler im Klassengespräch laut denkend naturwissenschaftliche Inhalte modellieren konnten, sehr selten gefunden. Auch Kobarg et al. (2009, S. 421) fassen für den naturwissenschaftlichen Unterricht zusammen, dass ein eng geführtes fragend-entwickelndes Gespräch vorherrschend ist, das wenig Möglichkeiten für das Initiieren, Begleiten und Strukturieren vertiefter Denkprozesse der Schüler bietet.

Trotz zahlreicher Empfehlungen der Lehr-Lernforschung zur Gestaltung und Qualität des Unterrichtsgesprächs hat sich in der Praxis bisher wenig geändert (Pauli, 2010, S. 152). Zur Erklärung dieser Tatsache wird beispielsweise diskutiert, dass eine technologische, instruktionale Einstellung der Lehrkräfte zum Lehren und Lernen vorliegen kann (Becker-Mrotzek, 2012, S. 105). Die Sichtweise, dass erfolgreiches Lernen klar vorstrukturierte Wissensportionen benötigt, die am besten in einer logischen Reihenfolge Schritt für Schritt von den Schülern aufgenommen werden können, bedingt in Folge ein von der Lehrkraft entsprechend vorstrukturiertes, eng geführtes Klassengespräch, bei dem vor allem auf die richtigen, passenden Schülerantworten fokussiert wird. Weiterhin wäre ein möglicher Erklärungsansatz, dass bei Lehrkräften, die eine konstruktivistische Auffassung von Lehr-Lernprozessen haben, ein Transferproblem vorliegt (z.B. Hardman, 2008, S. 261). Die Flexibilität, das schnelle Reagieren im laufenden Gespräch, den Perspektivwechsel zur Denkweise der Schüler sind Anforderungen, die Übung und Erfahrung bedürfen. Auch Barnes (2008, S. 8) merkt an, dass es für Lehrkräfte schwer ist, allein durch Fragen stellen und dem Hören der eher kurzen Schülerantworten sich in das Denken der Schüler hineinzusetzen. Als Folge davon können keine hilfreichen Gesprächsimpulse erfolgen. So ist es denkbar, dass es Lehrkräften trotz einer konstruktivistischen Einstellung möglicher-

weise nur bedingt gelingt, die entsprechenden Qualitäten des Unterrichtsgesprächs in der Praxis umzusetzen. Ähnlich argumentiert Pauli (2010, S. 147 ff.), indem sie darlegt, dass bereits der Lehr-Lern-Dialog im fragend-entwickelnden Unterricht nach Aebli (1983) auf einem konstruktivistischen Verständnis von Lernen basiert und konkrete Qualitätsmerkmale formuliert (wie eine anregende Problemstellung, die Entwicklung eines Problembewusstseins der Schüler, Fragen und Impulse der Lehrkraft, die konstruktive kognitive Aktivitäten der Schüler fördern, die Zielorientierung der Lernprozesse und die adaptive Unterstützung der Schüler im Sinne einer „minimalen Unterstützung“). Insofern würde ein in diesem Sinne gut gestaltetes fragend-entwickelndes Unterrichtsgespräch die geforderten Qualitätsmerkmale durchaus beinhalten, was möglicherweise die seltenen, positiven Befunde zu effektiven IRF-Mustern erklärt (vgl. Hardman, 2008, S. 257).

2.5.2 Weiterentwicklung des kommunikativen Lehrerhandelns

Vor dem Hintergrund der eben aufgezeigten Herausforderungen des Unterrichtsgesprächs und der Annahme, dass Ko-Konstruktionsprozesse Lernmöglichkeiten eröffnen, stellt sich nun die Frage, wie förderliche Bedingungen für Ko-Konstruktions-Prozesse im Unterrichtsgespräch geschaffen werden können. Zum Beispiel: Wie kann eine Verhandlung der Schüler in Bezug auf eine gemeinsame Problemlösung unterstützt werden oder wie gelingt es, inhaltliche Bezüge und Zusammenhänge zwischen Gesprächsbeiträgen sichtbar zu machen?

Mit dem Blick auf Ko-Konstruktion rückt der Aspekt einer aktiven Teilnahme und Mitgestaltung des Gespräches durch Schüler ins Blickfeld. So sollen Lernende „nicht nur reaktiv auf Fragen und Impulse der Lehrperson reagieren, sondern als selbstbestimmte Wissensproduzenten *agieren*, das heißt, substanzielle Ideen und Vorschläge einbringen und verteidigen, Positionen und Gegenvorschläge konstruktiv diskutieren und weiterentwickeln und insgesamt Mitverantwortung für die gemeinsame Erarbeitung einer Lösung (...) übernehmen (...)“ (Pauli, 2010, S. 148).

Fragen und Rückmeldungen der Lehrkraft

Gelungene Beispiele aus Unterrichtsstudien zeigen verschiedene Möglichkeiten zur Weiterentwicklung des kommunikativen Lehrerhandelns. So werden hinsichtlich der Qualität der Lehrerfragen Deep-Reasoning Fragen empfohlen (Kobarg et al., 2009, S. 417). Diese Fragen laden zu einer längeren Schülerantwort ein, die nicht reproduktiv ist, sondern tiefergehende Denkprozesse erfordert. Zum Beispiel wenn Schüler neue Informationen beurteilen oder Ursache-Wirkungszusammenhänge erläutern sollen. Ein Beispiel für eine Deep-Reasoning

Frage lautet: „Was muss man tun, um das Bild, das eine Linse erzeugt, zu vergrößern?“ (ebd. S. 417).

Weiterhin wird der Einfluss der Lehrerrückmeldung auf den Charakter des Gespräches hervorgehoben. Pauli (2010, S. 149) legt dar, dass dialogische und konstruktive Klassengespräche gefördert werden, wenn die Schülerbeiträge von der Lehrkraft nicht nur zustimmend wiederholt, sondern zum expliziten Gegenstand des weiteren Gespräches gemacht werden, indem sie aufgegriffen und erweitert oder akzentuiert werden. Für diesen konstruktiven Umgang mit Beiträgen wird der Begriff „Revoicing“ verwendet. Durch Revoicing erfahren Beiträge Wertschätzung, da die Ideen der Lernenden ernst genommen werden.

Ebenso besitzt die Adaptivität der Lehrerintervention bei Lernprozessen von Gruppen eine zentrale Rolle (Pauli & Reusser, 2000, S. 431). Damit stellt sich die Frage nach dem „Wann und Wie“ der Intervention im Klassengespräch. De Boer (2015, S. 24) fasst aus einer Literaturzusammenschau weitere Hinweise für gelungene Rückmeldungen der Lehrkraft zusammen: Bewertungen (richtig, falsch) von Schüleräußerungen zurückhalten, ausreichend lange Wartezeiten nach Fragen einhalten, Schüler aufeinander verweisen, um Partizipation zu erzeugen.

Moderation und Diskursivität

Lüders (2003, S. 240 ff.) spricht von moderierenden Akten der Lehrkraft, wenn diese Schüleräußerungen zur Diskussion stellt, um weitere, elaboriertere Stellungnahmen oder Überlegungen zum Thema einzuholen. In seiner Studie beobachtet er, dass moderierende Akte, die sich nicht bewertend, sondern referierend auf einzelne Schülerbeiträge beziehen, einen diskursähnlichen Charakter des Unterrichtsgesprächs erzeugen. Die Schüler leisten längere zusammenhängende Beiträge und beziehen sich dabei argumentativ auf gemeinsam erarbeitete Ergebnisse.

Leisen (2017) betont ebenfalls die Diskursivität einer guten Moderation. Durch geeignete und an passender Stelle eingesetzte Methoden wird das Unterrichtsgespräch geöffnet um dann inhaltlich in die Tiefe zu gehen. Bei diesem Prozess ist die Diagnose der Schülervorstellungen durch die Lehrkraft essenziell, um Lernhürden und Lernchancen zu erkennen, Widersprüche und fehlende Perspektiven wahrzunehmen, um danach auf dieser Grundlage den Blick der Lernenden auf die Lernchancen zu richten. Die Lehrkraft „bietet den Schülern Strukturierungshilfen an, die den Schülern nicht das Denken abnehmen, sondern den Denkprozess katalysieren“ (Leisen, 2017, abgerufen am 12.7.17). Ausgehend vom Diskurs als Kommunikationsform, in der Erkenntnisse durch Argumentation auf ihre Berechtigung untersucht werden, folgert Leisen für den Unterricht: „Diskurs braucht Gegenstände, Situationen, Fälle, Sachverhalte, die in ihrem Ergebnis

nicht eindeutig, sondern hinsichtlich Inhalt, Darstellung, Breite und Tiefe vielfältig und sehr verschieden sind. (...) Diskurse entfalten sich an Lösungswegen und bilden den Lernprozess ab“ (Leisen, 2017, abgerufen am 12.7.17). Eine Moderation, die Lernprozesse durch Diskursivität unterstützt, entsteht nicht zufällig, sondern ist das Ergebnis eines bewussten Einsatzes von Methoden und Strategien auf Basis einer fortlaufenden Diagnose (Studienseminar Koblenz, 2016).

Lernförderliche Gesprächstypen und Lehrerinterventionen

In der internationalen Unterrichtsforschung wurden vielfach Kommunikationstypen untersucht und beschrieben. Im Anschluss wird daraus ein förderliches kommunikatives Lehrerverhalten abgeleitet. Als unterstützender Typus für Konstruktion gilt der „exploratory talk“. Er wird als ideal angesehen, um Bedeutungen zu verhandeln, Verstehen zu prüfen und im Diskurs Wissen zu generieren. Der „exploratory talk“ wird zwei weiteren, eher lernhinderlichen Kommunikationstypen, dem „cumulative talk“ und „disputational talk“ gegenübergestellt (Wuttke, 2006).

Folgende Übersicht (vgl. Tab. 5) zeigt die zentralen Merkmale der Typen, die Wuttke aus einer Literaturzusammenschau erstellt. Die Inhalte sind leicht verändert entnommen aus Wuttke, 2006, S. 129:

Tab. 5: Gesprächstypen und Merkmale

Gesprächstyp	Merkmale
Cumulative talk Kumulative Kommunikation Unkritische Zustimmung	Die Kommunikation erfolgt oft nach dem Schema „Vorschlag einer Idee“ – „Akzeptanz der Idee“. Es finden kaum Diskussionen statt, der erste Vorschlag wird ohne oder nur mit geringen Änderungen akzeptiert.
Disputational talk Streitgespräch Unreflektierte Konfrontation	Einem Vorschlag folgt eine (unbegründete) Ablehnung oder eine Herausforderung durch Mitschüler. Diese wird wiederum mit einem herausfordernden Beitrag beantwortet. Den Gesprächsteilnehmern geht es vor allem darum, den Disput zu gewinnen. Im Vordergrund stehen Wettbewerb und Meinungsverschiedenheiten, die wenig konstruktiv sind.

Gesprächstyp	Merkmale
Exploratory talk Erforschende Kommunikation Kritische Auseinandersetzung mit Ideen und Lösungswegen	Wesentliche Bestandteile sind logisches Schlussfolgern und begründetes Argumentieren in einer effektiven Kooperation. Einem Vorschlag folgt hier eine Herausforderung und evtl. auch eine Gegenherausforderung, allerdings sind diese immer verbunden mit Begründungen und /oder Alternativen zur ursprünglichen Idee. Wenn ein Streitgespräch entsteht, geht es nicht um den Wettbewerb der Personen, sondern um die zutreffendste Idee bzw. den erfolgreichsten Lösungsweg. Kennzeichnend ist für diesen Kommunikationstyp, dass die Teilnehmer bereit und in der Lage sind, ihre Meinungen aufgrund eines treffenden Argumentes zu ändern.

Quelle: Leicht verändert entnommen aus Wuttke, 2006, S. 129

Barnes (Barnes, 2008, S. 5 ff.) charakterisiert die Sprache im „exploratory talk“ als zögerlich, mit unvollständigen Sätzen, weil die Schüler ihre Ideen ausprobieren und wahrnehmen, wie sie sich ausgesprochen anhören und vornehmlich mit der Klärung der eigenen Gedanken beschäftigt sind. Auf dieses „laute Denken“ lassen sich Schüler nur ein, wenn sie nicht befürchten, dabei lächerlich gemacht zu werden. Mercer und Dawes (2008, S. 66) weisen auf den Nutzen dieser vorläufigen, noch unfertigen Gedanken der Schüler hin, denn die Nachfragen der Mitschüler fordern den Sprecher auf, seine Sichtweise sorgfältiger auszuarbeiten, sie in einer klaren, überzeugenden Form darzustellen – oder seine Ansicht zu ändern. „Exploratory talk“ hilft damit nicht nur dem Einzelnen, seine Gedanken klarer zu formulieren und zu strukturieren, sondern auch der Gruppe, Probleme zu lösen, weil verschiedene (auch unfertige) Ideen in einer kooperativen Form geteilt werden. Somit wird eine Gesprächssituation geschaffen, in der das vorläufige Formulieren und Evaluieren von Ideen zu einem kollektiven Vorhaben werden.

Barnes (2008, S. 5 ff.) unterscheidet vom „exploratory talk“ den „presentational talk“, bei dem die Aufmerksamkeit des Sprechers auf der angemessenen Anwendung der Sprache, den Inhalt und die Zuhörer gerichtet ist. Eine typische Situation des „presentational talk“ ist ein Vortrag im Bewertungskontext, wenn Lernende ihr Wissen unter Beweis stellen sollen. Barnes merkt an, dass Lehrkräfte

die meisten Unterrichtsgespräche im „presentational talk“ führen oder diese Gesprächsform zu früh einfordern, während die Schüler noch die neuen Ideen verarbeiten. In Erarbeitungsphasen ist es sinnvoll, im „exploratory talk“ zu bleiben, weil dies die Anknüpfung an Vorwissen und die Entwicklung der Vorstellungen unterstützt. Barnes betont, dass beide Gesprächsformen, der „presentational talk“ und der „exploratory talk“ ihre Berechtigung für das Lernen haben und plädiert dafür, dass Lehrkräfte die Unterschiede der beiden Gesprächsformen kennen und diese bewusst im Unterricht einsetzen sollen.

Weitere Erklärungen zur lernförderlichen Wirkung des „exploratory talk“ führen kognitive Konflikte an, die entstehen, wenn die eigene Vorstellung durch die Gegenargumente der Mitschüler hinterfragt wird. Außerdem übernehmen die sprachlichen Formulierungen der Mitschüler die Funktion von „linguistic scaffolding tools“. Auch wenn ein Mitschüler noch nicht mehr Erfahrung oder Wissen besitzt, (im Sinne des Scaffolding und Vygotskys Zone der nächsten Entwicklung, vgl. Punkt 2.1.2), findet sprachliches Scaffolding in der Lernergruppe statt. Als weiterer Wirkmechanismus wird postuliert, dass die Fülle der begründeten Argumente und Lösungsideen in einem „exploratory talk“ vielfältige Anknüpfungsmöglichkeiten für das individuelle Vorwissen und die individuellen lebensweltlichen Vorstellungen der Schüler bietet (z.B. Egbers & Marohn, 2014; Wuttke, 2006).

Ausgehend von den dargestellten Vorteilen werden Empfehlungen für eine Lehrerkommunikation abgeleitet, die den „exploratory talk“ fördert. Generell wird die Lenkung der Gruppengespräche durch die Lehrkraft als sehr bedeutsam erachtet, da ein qualitativ hochwertiger Kommunikationstyp wie der „exploratory talk“ äußerst selten in Schülergruppen spontan auftritt, meist wird kumulativ kommuniziert, im ungünstigen Fall auch konfrontativ (z.B. Barnes, 2008, S. 8; Egbers & Marohn, 2014, S.122; Wuttke, 2006, S. 130). Diese Befunde sollten allerdings nicht zu einer Geringschätzung unbeeinflusster Schülergespräche führen, denn nach Ansicht von Mercer und Daws (2008, S. 69) sind lehrergelenkte Klassengespräche und Gruppengespräche zwischen Schülern keine alternativen Wege des Lernens, sondern sich ergänzende Wege. Schüler benötigen eine Kombination von lehrergelenkten Aktivitäten und Gruppenarbeitsphasen, in denen sie die sprachliche Nutzung testen und zu einer gemeinsam geteilten Idee kommen können. Voraussetzung ist, dass die Gruppenaktivitäten und Aufgaben so angelegt sind, so dass sie Diskussion und gemeinsame Lösungsbildung fördern.

Als förderlich für den „exploratory talk“ werden folgende Regeln für die Klasse benannt (nach Mercer & Dawes, 2008, S. 66):

- Jeder nimmt teil.
- Die Gesprächspartner gehen kritisch und konstruktiv mit den Ideen der anderen um.
- Vorläufige Ideen werden mit Respekt verhandelt.
- Ideen, die zur gemeinsamen Überlegung angeboten werden, dürfen angezweifelt werden.
- Anzweiflungen müssen belegt und alternative Ideen müssen angeboten werden.
- Mehrere Meinungen werden gesammelt und berücksichtigt, bevor eine gemeinsame Entscheidung getroffen wird.

Für die Lehrkraft formulieren Mercer und Dawes folgende Hinweise und Strategien (mit geringen Veränderungen übernommen aus ebd., 2008, S. 64):

- Machen Sie deutlich, dass Teile des Unterrichts in Form von Diskussionen ablaufen, in welchen Fragen und verschiedene Sichtweisen zu einem Thema vorgestellt werden sollen.
- Fördern Sie während Klassengesprächen eine Abfolge von Schülerantworten, ohne jeweils eine unmittelbare Bewertung dazu abzugeben.
- Bitten Sie die Schüler in Klassendiskussionen, den nächsten Schüler auszuwählen, damit Sie als Lehrkraft nicht immer den nächsten Sprecher auswählen müssen.
- Wenn verschiedene Sichtweisen geäußert werden, fragen Sie die Schüler nach ihrem Argument und der Begründung, bevor es im Gespräch weitergeht.
- Stellen Sie Klassendiskussionen kurze Gruppenphasen voran, in denen die Schüler gemeinsam geteilte Stellungnahmen vorbereiten können. Als Unterstützung können den Schülern alternative Erklärungen oder kontroverse Aussagen zum Thema angeboten werden, damit sie entscheiden können, was sie davon als richtig oder falsch erachten.
- Bevor Sie als Lehrkraft einen Sachverhalt erklären oder eine Frage beantworten, eruieren Sie die momentanen Ideen mehrerer Schüler zu dem Thema. Verbinden, vernetzen oder verknüpfen Sie Ihre Erklärung mit diesen Ideen.
- Fragen Sie die Schüler, wie sie in den Gruppen gearbeitet haben. Waren ihre Gruppendiskussionen konstruktiv? Wenn nein, warum nicht? Wie kann die Kommunikation verbessert werden?

Barnes (2008, S. 12) macht Vorschläge für die Förderung einer (hinter-) fragenden Haltung in Gesprächen, indem zum Beispiel generell nachgefragt wird, detailliertere Erklärungen angeregt werden oder zum Vergleichen oder zum Aufstellen von Analogien aufgefordert wird oder über Wirkung von Veränderungen nachgedacht wird. Sprechakte der Lehrkraft könnten sein: „Ich habe das nicht verstanden, was meinst du mit ...?“, „Wenn das der Fall ist, wie kann es so und so kommen?“, „Ist ... ein Beispiel, das zu dem passt, was du eben erklärt hast?“, „Wenn man ... ändert, würde dann dasselbe Ergebnis herauskommen?“, „Ist das wie...?“.

Gemeinsam sind den dargestellten Empfehlungen, dass die Lehrkraft eine aktive Vorbildrolle im Klassengespräch einnimmt, um Schüler anzuleiten, Sprache und Modellbildung für kollektive Denkprozesse zu nutzen. Dies gilt für den respektvollen Umgang von vorläufigen Ideen, der Sicherstellung, dass verschiedene Sichtweisen gehört werden, dass Ideen so dargestellt werden, dass sie verständlich sind. Weiterhin die umsichtige, begründete Betrachtung verschiedener Lösungswege oder die Bewertung verschiedener Erklärungen von Problemen oder Fragestellungen (Mercer & Dawes, 2008, S. 69).

Zusammenfassung: Die Rolle der Lehrkraft bei ko-konstruktiven Gesprächen

- Herausforderungen im Unterrichtsgespräch: Gesprächstypus: IRF-Muster mit sequenzierten, isolierten Schülerbeiträgen (Stichwortgeber) und einer ergebnisorientierten Steuerung der Lehrkraft erzeugen einen geringen Grad an kognitiver Aktivierung. Zusätzlich: hoher Redeanteil der Lehrkräfte, eng gestellte, reproduktive Fragen, einfache (bestätigende oder falsifizierende) Rückmeldung an Schüler
- Mögliche Ursachen für die geringen Verbesserungen in der Qualität der Unterrichtsgespräche: instruktionale Einstellung der Lehrkräfte oder Transferproblem
- Weiterentwicklung des kommunikativen Lehrerhandelns: Deep-Reasoning Fragen (zielen auf Zusammenhänge), „Revoicing“ (konstruktiver Umgang mit Schülerbeiträgen)
- Ko-Konstruktion im Gespräch fördern: Aktive Lenkung der Gespräche durch die Lehrkraft ist nötig (Moderation); Diskursivität: verschiedene Ideen der Schüler zum Gegenstand eines Verhandlungsprozesses machen (Voraussetzung: Aufgabenstellung und Materialien fördern unterschiedliche Ideen oder Lösungswege), Gesprächstypus „exploratory talk“ wählen (Argumentieren und logisches Schlussfolgern fördern, kritisch-konstruktiver Umgang mit Ideen)

- Wirkmechanismen des „exploratory talk“: Mehrwert der Gruppe (Ideen werden kollektiv entwickelt und evaluiert); Ideen erleichtern durch ihre Vielfalt das Anknüpfen an individuelles Vorwissen und die Weiterentwicklung der individuellen Vorstellungen; unterschiedliche Ideen erzeugen kognitive Konflikte; sprachliche Erprobung der Ideen unterstützt Konstruktion, Formulierungen der Mitschüler übernehmen unterstützende Funktion („linguistic scaffolding tools“)

3 Fragestellungen der Untersuchung

Ziel der Arbeit ist es, fallbasiert die Ziele und Methoden einer Lehrkraft im Umgang mit Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch vor dem Hintergrund von Ko-Konstruktionsprozessen im Chemieunterricht zu untersuchen. Als Forschungsrahmen wird das Modell der Didaktischen Rekonstruktion genutzt, da es durch die fachliche Klärung, die Lernerperspektiven und die didaktische Strukturierung einen mehrdimensionalen Blick auf den Untersuchungsgegenstand ermöglicht. Die Fragestellungen leiten sich aus diesem fachdidaktischen Triplet ab.

Fachliche Klärung

In der fachlichen Klärung wird der fachwissenschaftliche Kontext der untersuchten Unterrichtsstunden geklärt (vgl. Kap. 5). Zentrale Fragestellungen sind: Welche fachwissenschaftlichen Aussagen liegen zu den chemischen Themenbereichen vor und welche Vorstellungen von Wissenschaftlern lassen sich identifizieren? Die Themenbereiche aus dem Chemieunterricht sind: Experimente von Rutherford und das Kern-Hülle-Modell; Volumenänderungen bei realen Lösungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen

Lernerperspektiven

Die Untersuchung der Lernerperspektiven (vgl. Kap. 6) umfasst drei Teilbereiche.

Eine Reanalyse von empirischen Befunden (vgl. Kap. 6.1) beantwortet die Fragen: Welche Befunde gibt es in der Literatur zu Vorstellungen von Lernenden zu den o.g. fachlichen Themen? Welche fachdidaktischen Aspekte sind bei den Vermittlungsprozessen zu beachten?

Im Kap. 6.2. werden die Lernerperspektiven innerhalb der Unterrichtsgespräche analysiert. Die Arbeit geht von der Annahme aus, dass Ko-Konstruktionsprozesse in den Gesprächen stattfinden, die die Entwicklung der individuellen Lernvorstellungen beeinflussen. Ausgehend von Befunden aus der Literatur werden die Ko-Konstruktionsprozesse in den Gesprächen zunächst auf formaler Ebene mit folgenden Fragestellungen untersucht: Erfüllen die Gesprächsbeiträge von Schülern und der Lehrkraft die formalen Funktionen von Ko-Konstruktionsprozessen? Gibt es Unterschiede oder Gemeinsamkeiten in Bezug auf die Verteilung der formalen Funktionen und der Häufigkeit der Fundstellen? Treten Muster in der Verteilung auf?

Bei der inhaltlichen Betrachtung der Ko-Konstruktionsprozesse wird anhand folgender Fragen vorgegangen: Welche Vorstellungen von Lernenden können im Verlauf der Gespräche identifiziert werden? An welchen Stellen im Gespräch wird die Lehrkraft mit welchen inhaltlichen Beiträgen aktiv? Eine vergleichende Analyse gibt Auskunft über die Fragen: Entwickeln sich die Vorstellungen von Lernenden in Richtung der wissenschaftlichen Vorstellungen? Können Auswirkungen der Lehrerbeiträge identifiziert werden?

Das Kapitel 6.3 greift eine weiterte Perspektive der Lernenden auf, indem sich Schüler zur Rolle der Lehrkraft in den Gesprächen und zu ihren individuellen Lernprozessen äußern. Leitende Fragen sind: Welche Rolle hat die Lehrkraft in den Gesprächen aus Sicht der Schüler? Welche individuellen Lernprozesse beschreiben Schüler innerhalb der Gespräche?

Didaktische Strukturierung

Im Kapitel 7 wird die didaktische Strukturierung der Lehrkraft untersucht. Der Schwerpunkt liegt auf dem Umgang mit Schülervorstellungen in Gesprächsphasen im Chemieunterricht in Bezug auf die Ziele und deren methodischer Umsetzung. Die zentralen Fragestellungen sind: Welche Ziele hat die Lehrkraft im Umgang mit Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch des Chemieunterrichts? Wie begründet die Lehrkraft diese Ziele? Welche methodische Umsetzung – insbesondere in Bezug auf die Gesprächsführung – wählt die Lehrkraft, um diese Ziele zu erreichen?

4 Untersuchungsdesign und Methoden

In diesem Kapitel wird zunächst das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als Forschungsrahmen dargelegt und ein Überblick über alle Untersuchungsaufgaben gegeben (Punkt 4.1). Danach folgen allgemeine Überlegungen zur Wahl der qualitativen Methoden (Punkt 4.2). Unter dem Punkt 4.3 werden leitfadengestützte Interviews eigens behandelt, da diese mehrfach zur Datenerhebung genutzt wurden. Die Punkte 4.4 bis 4.9 beschreiben die Methoden zur Auswertung des Datenmaterials innerhalb der Untersuchungsaufgaben (fachliche Klärung, Lernerperspektiven, didaktisch Strukturierung) auf. Die Kästen, die den Erklärungen in den Punkten 4.7 bis 4.9 vorangestellt sind, zeigen im Überblick die Auswahl des Materials, seine Entstehung und die formalen Charakteristika (Maring, 2015, S. 54) sowie die jeweils verwendete Auswertungsmethode. Die Beschreibung konzentriert sich dabei auf die allgemeine Darstellung der Methoden und die konkrete Umsetzung in dieser Studie. Zur besseren Übersichtlichkeit werden Details im methodischen Vorgehen wie zum Beispiel Kategoriensysteme zum Teil bei den jeweiligen Ergebniskapiteln oder im Anhang aufgeführt. Abschließend werden beim Punkt 4.10 Maßnahmen zur Erhöhung der Studiengüte dargestellt.

4.1 Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als Forschungsrahmen

Die zentralen Fragestellungen dieser Arbeit betrachten die Perspektiven der Fachwissenschaft, der Lernenden und der Lehrkraft in Bezug auf die Unterrichtsplanung und setzen diese miteinander in Beziehung. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997) eignet sich für diese mehrperspektivische Betrachtung, da es im fachdidaktischen Triplet genau diese drei Perspektiven abbildet (vgl. Abb. 5).

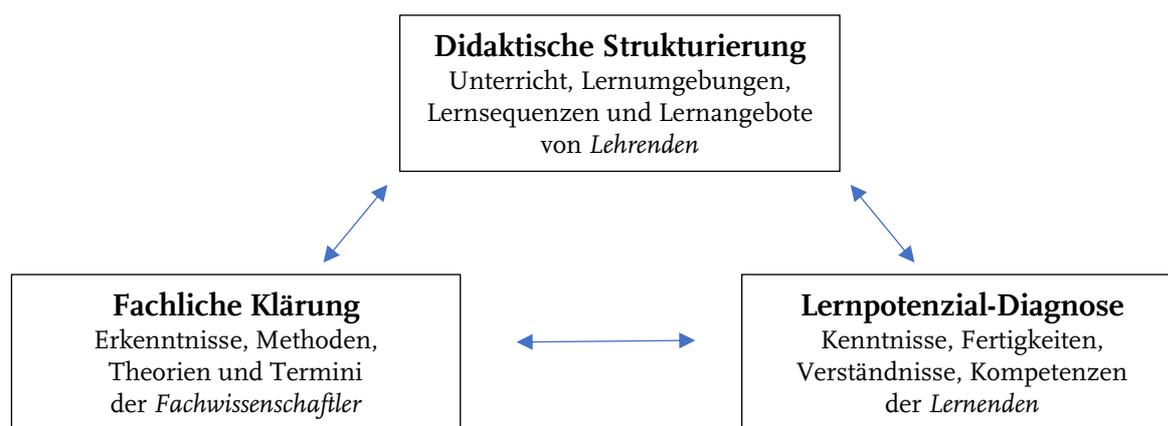


Abb. 5: Fachdidaktisches Triplet

Quelle: Abbildung grafisch leicht verändert entnommen aus Gropengießer & Kattmann, 2013, S. 17

Die Lernpotenzial-Diagnose umfasst die empirische Erhebung von Schülervorstellungen und in der fachlichen Klärung werden die Vorstellungen der Wissenschaftler analysiert. Auf Grundlage dieser Ergebnisse erfolgt die didaktische Strukturierung des Unterrichts im Sinne einer konstruierenden Aufgabe. Gropengießer und Kattmann (2013) merken an, dass das Modell der Didaktischen Rekonstruktion nicht nur als Planungsinstrument für den Unterricht geeignet ist, sondern auch im Rahmen der fachdidaktischen Forschung die Grundlage für ein Untersuchungsdesign bilden kann. Für die vorliegende Arbeit wurde das Modell ausgewählt, weil es durch seine konstruktivistische Ausrichtung an den Theorierahmen anknüpft und das fachdidaktische Triplet eine mehrperspektivische Untersuchung der Lernprozesse in den Unterrichtsgesprächen ermöglicht. Weiterhin lassen sich durch das Modell die wechselseitigen Bezüge der drei Perspektiven abbilden und als Grundlage für die Interpretation der Daten nutzen.

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion wird auch zur Evaluation genutzt, indem die didaktische Strukturierung der Lehrkraft im Hinblick auf deren Ziele, Methoden und Strategien im Umgang mit Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch untersucht wird. Die Lernpotenzial-Diagnose konzentriert sich auf die

Erfassung von Lernerperspektiven in den videographierten Gesprächsabschnitten. Mit mehreren Teilfragen ist diese Untersuchungsaufgabe breit angelegt. So werden neben den Vorstellungen der Lernenden zu den Fachinhalten auch Aussagen zu individuellen Lernprozessen und zur Wahrnehmung der Lehrkraft erhoben. Weiterhin wird die Veränderung von Lernervorstellungen innerhalb der Gesprächssequenzen untersucht. Grundlage bildet die fachliche Klärung fachwissenschaftlicher Texte, die den Vergleich von Vorstellungen von Lernenden und Wissenschaftlern ermöglicht. Die ermittelten Lernervorstellungen werden auch vor dem Hintergrund der bisherigen empirischen Befunde (Stand der Forschung) betrachtet. Neu hinzugefügt wird bei der Untersuchung der Lernerperspektiven die Analyse von Ko-Konstruktionsprozessen. Aus der Theorie wird abgeleitet, dass in den lehrergelenkten Schülerdiskussionen Ko-Konstruktionsprozesse stattfinden, welche die Entwicklung der Vorstellungen beeinflussen. Deshalb werden Ko-Konstruktionsprozesse auf formaler und inhaltlicher Ebene untersucht, wobei Lernprozesse in Gruppen eine besondere Beachtung finden. Für die Untersuchung der Ko-Konstruktionsprozesse wird ein Analyseinstrument aus der Literatur mit Hilfe eigener Daten modifiziert und angewendet.

Das nachfolgende Schaubild (vgl. Abb. 6) gibt einen Überblick über die Untersuchungsaufgaben und das jeweilige Vorgehen und strukturiert diese nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Zur leichteren Orientierung sind die entsprechenden Kapitel innerhalb der Arbeit angegeben.

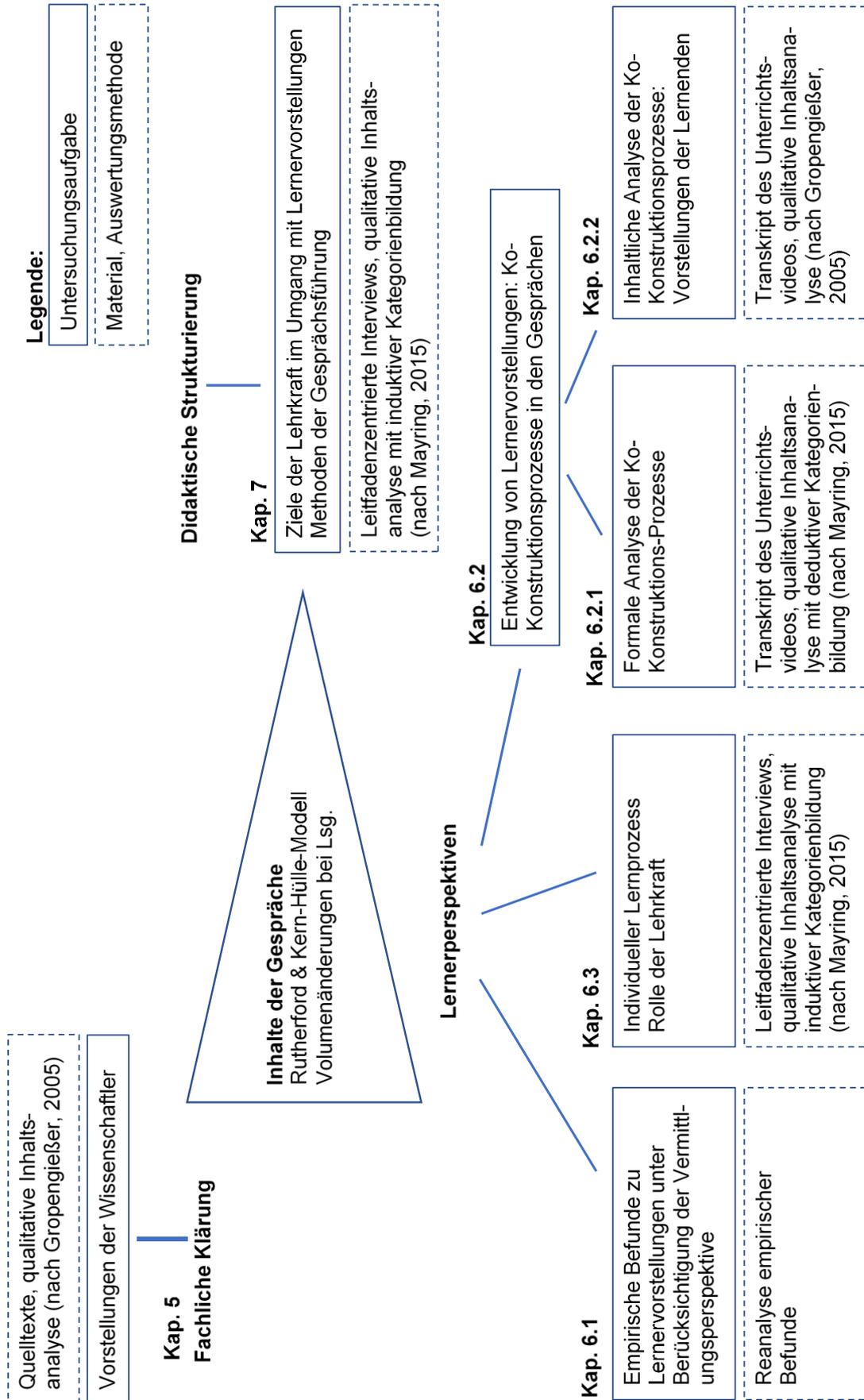


Abb. 6: Untersuchungsdesign und Methoden
Quelle: Eigene Darstellung

4.2 Allgemeine Überlegungen zum Einsatz qualitativer Methoden

Nachfolgend werden Gründe für die Verwendung qualitativer Methoden angeführt und Gütekriterien dargestellt.

Begründung der qualitativen Methoden

Die qualitative Forschung zeichnet sich durch Angemessenheit von Methoden und Theorien in Bezug auf den Untersuchungsgegenstand, die Analyse verschiedener Perspektiven und die kritische Reflexion der eigenen Forschung aus (Flick, 2007). Die verwendeten qualitativen Methoden werden in dieser Arbeit durch den Forschungsgegenstand und durch das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als Forschungsrahmen begründet (Harald Gropengießer, 2007). Zur Untersuchung der didaktischen Strukturierung der Unterrichtsgespräche ist die Erfassung und Interpretation der individuellen Denkstrukturen der Lehrkraft nötig. Um diese in Breite, Tiefe und Qualität zu beschreiben, ist ein offenes, problemzentriertes und interaktives Vorgehen nötig. Ein vertieftes Nachfragen ermöglicht es, die Komplexität der Zusammenhänge und der zugrundeliegenden individuellen Vorstellungen interpretativ zu erschließen. Außerdem muss die Methode zunächst unbekannte, individuelle Vorstellungen erfassen. Dieselben Anforderungen an das methodische Vorgehen stellt die Betrachtung der Lernerperspektiven: Schüler werden zu ihren individuellen Lernprozessen und zu ihrer Wahrnehmung der Rolle der Lehrkraft im Unterrichtsgespräch befragt. Auch hier gilt, dass ein interaktives Vorgehen das Verständnis der individuellen Lernprozesse und Sichtweisen erleichtert. Qualitative Untersuchungsmethoden erfüllen diese Anforderungen an Problemzentrierung, Offenheit und Interaktivität und werden daher für diese Arbeit ausgewählt.

Qualitative Daten können – im Gegensatz zu den rein numerischen quantitativen Daten – von vielfältiger Art sein, wie zum Beispiel Texte, Zeichnungen oder Audioaufzeichnungen (Kuckartz, 2014, S. 14). In der vorliegenden Arbeit besteht das Datenmaterial aus Audio-Aufzeichnungen von leitfadengestützten Interviews und Videos von Unterrichtsstunden. Als generelle Analyseform wird die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2002) gewählt. Sie zeichnet sich durch die grundlegenden Interpretationsformen „Zusammenfassung“, „Explication“ und „Strukturierung“ aus. Die Stärke dieses systematischen, regelgeleiteten Vorgehens darf allerdings nicht zu einer Starrheit führen. Die qualitative Inhaltsanalyse ist eine spezifische Auswertungstechnik, die in Kombination mit einer passenden Datenerhebung und -aufbereitung auf den konkreten Forschungsgegenstand ausgerichtet und angepasst werden muss. Für die fachdidaktischen Fragestellungen werden deshalb Anpassungen im Vorgehen vorgenommen (Mayring,

2015; Niebert & Gropengießer, 2014). Die Anpassungen werden unter den Punkten 4.3 – 4.5 und gegebenenfalls bei den Ergebniskapiteln beschrieben.

Gütekriterien qualitativer Forschung

Im Zuge der langjährigen, kontroversen Diskussion um die Übertragbarkeit der „klassischen“ Gütekriterien Objektivität (Bestätigbarkeit), Reliabilität (Zuverlässigkeit) und Validität (Gültigkeit) auf die qualitative Forschung wurden eigene Kriterien und verschiedene Systeme für die Güte von qualitativen Methoden entwickelt (Flick, 1987; Krippendorff, 1980; Mayring, 2002). Im Kern zeigt die Diskussion, dass die klassischen Gütekriterien einer Modifizierung und Anpassung bedürfen, um dem prozeduralen Charakter der qualitativen Forschung gerecht zu werden (Flick, 2009, S. 272 ff.). In Bezug auf die qualitative Inhaltsanalyse unterscheidet Kuckartz (2014, S. 165 ff.) die „interne Studiengüte“ (Zuverlässigkeit, Glaubwürdigkeit, Verlässlichkeit) von der „externen Studiengüte“ (Übertragbarkeit und Verallgemeinerbarkeit). Die Güte der Daten wird beispielsweise durch die begründete Auswahl der Methode, die genaue Anwendung der methodischen Regeln für die Interviewführung oder in der Nachvollziehbarkeit des Transkriptionsprozesses erreicht. Ein computergestütztes Vorgehen bei der Inhaltsanalyse, ein schlüssiges Kategoriensystem mit Kategoriendefinitionen und Ankerbeispielen sowie mehrere, unabhängige Codierer sind weitere Gütekriterien. Die Darstellung von verschiedenen Antworten (Breite des Spektrums), Hinweise auf Gegenbeispiele und Widersprüche vermeiden eine selektive Plausibilisierung bei der Interpretation der Daten. Im Rahmen der „externen Studiengüte“ wird diskutiert, inwieweit sich die Befunde der qualitativen Forschung verallgemeinern lassen. Bei den üblicherweise kleinen Stichproben muss die Auswahl der Probanden begründet und die Übertragbarkeit auf andere Situationen in Abhängigkeit der Fragestellung reflektiert werden. Weiterhin nennt Kuckartz (2014, S. 168) verschiedene Strategien, die die Verallgemeinerbarkeit qualitativer Ergebnisse erhöhen: Beim „Peer debriefing“ findet ein Austausch mit kompetenten Personen außerhalb des Forschungsprojekts über die Vorgehensweise und ersten Ergebnisse der Studie statt. Das „Member checking“ erfolgt im Sinne einer kommunikativen Validierung und führt in einem diskursiven Prozess zu einer Einigung über die Ergebnisse der Analyse zwischen Forscher und Beforschtem. Dieses Vorgehen ist insbesondere bei der Interpretation von Selbstdarstellungen, die zu einer Verständigung über die Alltagspraxis führen soll, sinnvoll (Mayring, 2015, S. 127). Techniken der Triangulation ermöglichen einen mehrperspektivischen Blick auf den Untersuchungsgegenstand und erhöhen dadurch ebenfalls die Verallgemeinerbarkeit.

4.3 Leitfadengestützte Interviews in der fachdidaktischen Forschung

Vorausgehend sollen wichtige Aspekte zu leitfadengestützten Interviews angesprochen werden, da diese Form der Datenerhebung in der vorliegenden Studie bei den Interviews mit der Lehrkraft und den Schülern angewendet wurde. Niebert und Gropengießer (2014, S. 122) fassen Eignung, Kriterien und Vorgehen für die Lehr-Lernforschung zusammen. Das leitfadengestützte Interview eignet sich für die Rekonstruktion von alltäglichen und wissenschaftlichen Vorstellungen, wobei eine Balance zwischen Offenheit und Steuerung durch die Themen und Fragen des Interviewers anzustreben ist. In einer kurzen Einführungsphase stellt sich der Interviewer vor und nennt die Ziele und den Rahmen des Interviews. Dabei wird der Proband darauf hingewiesen, dass das Interview anonymisiert wird und alle Aussagen (positiv, neutral und kritisch) erwünscht sind. Insbesondere bei Schülern ist es wichtig, zusätzlich zu betonen, dass keine Bewertung ihrer Aussagen (im Sinne einer Leistungsmessung) erfolgt. Generell wird bei der Erhebung von Daten durch Interviews davon ausgegangen, dass sich die Befragten authentisch und aufrichtig äußern.

Die Interpretation von Interviews ist immer ein Fremdverstehen von Vorstellungen über fachliche Phänomene oder über Lehr-Lernprozesse. Der Forscher rekonstruiert dabei das Denken der Befragten in einem methodisch kontrollierten Prozess. Dabei sind die Gütekriterien qualitativer Forschung zu beachten. Niebert und Gropengießer (2014, S. 123 ff.) weisen auf eine genaue Dokumentation des Verfahrens bei der Datenerhebung und -aufbereitung und die vertrauensvolle Mitwirkung der Probanden hin, was die Qualität der Daten erhöht. Außerdem empfehlen sie eine interne Triangulation, indem das Interview so gestaltet wird, dass an mehreren Stellen auf denselben Aspekt Bezug genommen wird, um so die Ähnlichkeit der Aussagen eines Probanden vergleichen zu können.

Der erforschende, offene Charakter einer qualitativen Untersuchung zeigt sich im Leitfaden, der das Gespräch weder durch einen genauen Wortlaut noch durch eine festgelegte Reihenfolge von Fragen einengt. Er gibt Orientierung, indem er einer logischen Struktur folgt und dem Interviewer einen schnellen Überblick ermöglicht. Die Fragen werden in der Alltagssprache formuliert und passen sich bei Lernenden dem Wortschatz und Vorstellungshorizont an (Niebert & Gropengießer, 2014, S. 126).

Die Interventionen eines Leitfadens lassen sich einteilen in offene Einstiegsimpulse, Aufgabenstellungen mit und ohne Material, vertiefende und validierende Interventionen sowie einer abschließenden Intervention (Gropengießer, 2007, S. 134). Zu Beginn des Interviews werden offene Fragen gestellt, die den Befragten zum Erzählen auffordern, beispielweise: „Welche Bedeutung haben Schülervorstellungen für Sie?“ Danach kann der Interviewer durch vertieftes Nachfragen

oder die Bitte um genauere Erklärungen bestimmte Inhalte erneut aufgreifen, um sein Fremdverstehen zu verbessern. Oder es folgen spontane Interventionen durch Impulse, die sich aus dem Erzählten ergeben. Generell erfolgt nach einem offenen Einstieg eine zunehmende Fokussierung auf einzelne Fragestellungen durch Aufgabenstellungen mit oder ohne Material, wie zum Beispiel: „Kannst du erklären, was du bei der Diskussion dieses Bildes von deinem Mitschüler gedacht hast?“. Eine vertiefende oder steuernde Intervention könnte dazu sein: „Du hast eben von den Alpha-Teilchen gesprochen: wie hast du dir die Flugbahn vorgestellt?“. Validierende Interventionen nutzen verschiedene Zugänge zum selben Thema, wie zum Beispiel Zeichnungen, Videoausschnitte und Fragen oder Zusammenfassungen wie: „Bitte fassen Sie noch einmal zusammen, was beim Umgang mit Schülervorstellungen während dieser Phase Ihrer Meinung nach zu beachten ist“. In der abschließenden Intervention sollen die Probanden die Möglichkeit erhalten, Aspekte hinzuzufügen, die noch nicht angesprochen wurden oder in einem kurzen Fazit das Wichtigste aus dem Interview herauszustellen.

Nach einer ersten Fassung und einer Testung in Probeinterviews wird der Leitfaden optimiert und auch im Verlauf der Erhebung werden in der Regel Ergänzungen eingefügt, um auf der Basis bereits ermittelter Vorstellungen die Kategorien noch differenzierter zu erfassen (Niebert & Gropengießer, 2014, S. 130).

Die verwendeten Leitfäden für die Interviews mit der Lehrkraft und den Schülern wurden nach obigem Vorgehen mehrfach überarbeitet, die jeweils letzte Version befindet sich im Anhang.

4.4 Retrospektive Befragung zu Lehr-Lernprozessen

Bei einer retrospektiven Befragung werden Metakognitionen und Einstellungen sowie Motivationen zu einem bereits durchlaufenen Lernprozess rückblickend erfasst. Durch die Introspektion (Selbstbeobachtung) können Erinnerungen an Unterrichtssituationen rückwirkend verbalisiert werden (Groß & Gropengießer, 2003; Paul, Schanze, & Groß, 2016). Dieses qualitative Untersuchungsinstrument findet Verwendung bei den Interviews mit den Schülern, die unmittelbar nach dem Unterricht rückblickend zu ihren individuellen Lernprozessen während der Gespräche und zu ihrer Wahrnehmung der Rolle der Lehrkraft befragt wurden. Analog wurde die Lehrkraft zum Lehr-Lernprozess (didaktische Strukturierung, Ziele und Methoden im Umgang mit Schülervorstellungen) retrospektiv im Zeitraum von ein bis neun Monaten nach dem Unterricht befragt. Der Rückblick der Lehrkraft wird durch die videographierten Unterrichtsszenen und deren Transkripte unterstützt. Die Vorteile einer retrospektiven Befragung sind der individuelle Dialog mit dem Probanden zur Reflexion der Lehr-Lernprozesse

und die Benennung von Ursachen für diese Prozesse durch den Probanden (Paul et al., 2016, S. 173).

4.5 Auswahl der Probanden und Inhalte

Zur Verknüpfung der Themen Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch, Ko-Konstruktionsprozesse und Rolle der Lehrkraft in der unterrichtlichen Umsetzung gibt es noch wenige Untersuchungen. Deshalb findet in dieser Arbeit eine Analyse von Erfahrungen aus der Unterrichtspraxis statt, die im Sinne eines guten Praxisbeispiels erste Hinweise zum lernförderlichen Umgang mit Schülervorstellungen in ko-konstruktiven Gesprächen geben können. Die qualitative Ausrichtung erfordert eine mehrperspektivische Betrachtung des Forschungsgegenstandes, um die Qualität der Studie zu erhöhen. Deshalb wurden auch die Perspektiven der Lernenden mit einbezogen. Schüler berichten zu ihren individuellen Lernprozessen und zu ihrer Wahrnehmung der Lehreraktivitäten in den Unterrichtsgesprächen.

Auswahl der Lehrkraft

Für ein gutes Praxisbeispiel wurde eine Lehrkraft gesucht, die bereits viel Erfahrung mit der didaktischen Strukturierung von Unterrichtsgesprächen besitzt, in denen Schülervorstellungen im Mittelpunkt stehen. Außerdem sollte sie in der konkreten Umsetzung im Unterricht, beispielsweise durch ein entsprechendes Methodenrepertoire, versiert sein. Daher wurde eine Lehrkraft ausgewählt, die seit mehreren Jahren in der Lehramtsausbildung für das Fach Chemie am Gymnasium tätig ist und sich nach eigenen Angaben im Bereich Gesprächsführung bei Schülerdiskussionen spezialisiert hat. Aufgrund der Ausbildungstätigkeit wird angenommen, dass die Lehrkraft sehr reflektiert Ziele und Methoden benennen und deren Umsetzung beschreiben sowie im Unterricht zeigen kann, da dies Voraussetzungen für die Vermittlung an Studienreferendare sind. Zudem nehmen Schülervorstellungen eine zentrale Stellung im Unterricht dieser Lehrkraft ein, weil sie ihren Unterricht nach dem Koblenzer Lehr-Lern-Modell konzipiert, das den Unterricht konsequent aus Sicht der Lernenden anlegt und durchführt (vgl. Kap. 2.3.3; Leisen, 2011). In diesem Modell wird der Umgang mit den Vorstellungen der Lernenden im Unterrichtsgespräch explizit als eine Form der personalen Steuerung (Moderation) von Lernprozessen thematisiert (Studienseminar Koblenz, 2016, S. 85 ff).

Auswahl der Inhalte

Um zwei Gruppen zu untersuchen, die sich im Alter der Lernenden unterscheiden, wurden Inhalte aus dem Chemieunterricht der Mittel- und Oberstufe am Gymnasium festgelegt. Die konkreten Themen bestimmte die Lehrkraft. Inhalte in der Jahrgangsstufe 8 waren der Streuversuch von Rutherford und das Kern-Hülle Modell. In der Jahrgangsstufe 11 wurden die Volumenkontraktion und -expansion mit Hilfe von zwischenmolekularen Wechselwirkungen diskutiert.

Die Auswahl der videographierten Unterrichtssequenzen erfolgte nach der Fragestellung der Untersuchung. Die Gespräche mit der ganzen Klasse konzentrierten sich in den untersuchten Fällen auf zwei Phasen, die nach dem Koblenzer Lehr-Lern-Modell „Vorstellungen entwickeln“ und „Lernprodukt diskutieren“ genannt werden. Die Lehrkraft nutzt in den Interviews diese Begrifflichkeiten. In der Erhebung werden die Phasen mit U1 (Vorstellungen entwickeln) und U2 (Lernprodukt diskutieren) bezeichnet.

Auswahl der Lernenden

Die Lernenden wurden in den jeweiligen Gruppen (Jahrgangsstufe 8 mit 25 Schülern; Jahrgangsstufe 11 mit 11 Schülern) nach Freiwilligkeit ausgewählt. In den Einverständniserklärungen der Eltern war die Freiwilligkeit Voraussetzung für die Genehmigung der Studie. In der Jahrgangsstufe 8 meldeten sich acht Schüler (vier weibliche und vier männliche Probanden im Alter von 13-14 Jahren), in der Jahrgangsstufe 11 stellten sich fünf Schüler (eine weibliche Person und vier männliche Probanden im Alter von 16-17 Jahren) für die Interviews zur Verfügung. Das Leistungsniveau der befragten Schüler umfasste den Notenbereich von 1 (sehr gut) bis 4 (ausreichend).

4.6 Datenerhebung und -aufbereitung

Vor der Datenerhebung erfolgte eine Abklärung der rechtlichen Vorgaben und eine Information von Schulleitung, Eltern und Schüler. Eine schriftliche Einverständniserklärung der Lehrkraft und der Eltern der gefilmten und befragten Schüler wurde eingeholt.

Videographie

Für die Untersuchung der Unterrichtsgespräche wurde die Videographie ausgewählt, weil dieses Medium die Interaktivität zwischen den Schülern und zwischen den Schülern und der Lehrkraft besonders gut abbilden kann. Ein weiterer

Vorteil war die Nutzung von Videoausschnitten für die Interviews mit der Lehrkraft. Die Fragen zur didaktischen Strukturierung (Ziele und Methoden der Lehrkraft im Umgang mit Schülervorstellungen) sollte an konkreten Beispielen erfolgen. Die gefilmten Unterrichtsszenen und deren Transkripte dienten als Material, durch das die Interviews strukturiert wurden. So konnte die Lehrkraft zu ihren Zielen und zum konkreten Methodeneinsatz an bestimmten Stellen des Unterrichts Auskunft geben. Ein weiterer Vorteil war, dass durch das Anschauen der Videoausschnitte die Unterrichtssituation wieder präsent wurde und so die insgesamt acht Stunden Interview mit der Lehrkraft auf mehrere Sitzungen aufgeteilt werden konnten. Weiterhin wurden die Ausschnitte der Unterrichtsvideos und deren Transkripte als Datenmaterial für die Untersuchung der Lernerperspektiven (formale und inhaltliche Analyse der Gespräche mit Untersuchung der Ko-Konstruktionsprozesse, Identifizierung der Konzepte der Lernenden und Lehreraktivitäten) genutzt.

Die Videographie erfolgte in Anlehnung an die IPN-Videostudie Physik (Seidel, Dalehefte, & Meyer, 2003) mit drei Kameras, wobei zwei Überblickskameras auf Stativen fest installiert waren (Perspektive zur Tafel und Perspektive in die Klasse) und die dritte „Lehrerkamera“ das Unterrichtsgeschehen durch flexible Kameraführung verfolgte. Zusätzlich wurden an den Schülertischen insgesamt sechs PCM-Rekorder aufgestellt, um eine Tonspur in hoher Qualität zu erfassen. Bei jeder Jahrgangsstufe wurde eine Doppelstunde (90 min) videographiert. Anschließend wurden die Ausschnitte der zu untersuchenden Unterrichtsphasen (U1, Vorstellungen diskutieren und U2, Lernprodukt diskutieren) aus dem Video herausgeschnitten und mit der Tonspur der PCM-Rekorder unterlegt. Zum Teil wurden von den drei Kameras verschiedene Perspektiven zusammengefügt, um eine spätere, mögliche Nutzung der Videoausschnitte in nicht-öffentlichen Lehrerweiterbildungen zu ermöglichen. Für die technische Umsetzung wurde eine Videoschnittsoftware benutzt.

Leitfadengestützte Interviews

Für die Fragestellungen zur didaktischen Strukturierung und die Lernerperspektiven wurden leitfadengestützte Interviews mit der Lehrkraft und den Schülern geführt. Die Interviews wurden mit einem digitalen PCM-Rekorder aufgenommen. Die Einzelinterviews mit den Schülern fanden unmittelbar nach der videographierten Doppelstunde in einem separaten Raum statt und dauerten bei den Schülern der Jahrgangsstufe 8 jeweils ca. 10 min und bei den Schülern der Jahrgangsstufe 11 jeweils ca. 15 min. Die Interviews mit der Lehrkraft fanden ein bis neun Monate nach dem Unterricht anhand der Videoausschnitte und der Transkripte statt. Insgesamt umfassten die Interviews mit der Lehrkraft acht Stunden.

Audio- oder Videodatei
Transkribieren
Redigieren

Die Tondateien von Video- bzw. Audioaufnahmen wurden mit der Transkriptionssoftware F5 mit festgelegten Regeln (siehe Anhang) transkribiert. Danach wurden die zu untersuchenden Gesprächsabschnitte ausgewählt (Kriterien siehe Punkte 4.5 ff.) und die Sprache durch Redigieren geglättet.

Dieser Vorgang umfasst das Selegieren, bei Interviews das Transformieren in eigenständige Aussagen des Interviewten, das Auslassen von Redundanzen und Füllsätzen und das Paraphrasieren (Gropengießer 2001, S. 145 ff.). Die redigierten Transkripte (siehe Anhang) der Gespräche bildeten die Grundlage für die verschiedenen Auswertungsmethoden.

Übersicht zur Datenerhebung und -aufbereitung

Juni 2015: Videographie je einer Doppelstunde (90 min) in den Jahrgangsstufen 8 und 11, im Anschluss Interviews mit den Schülern

Juni 2015 – Dezember 2015: Aufbereitung der Videos

Juni 2015 – März 2016: Transkription der Audiodateien

Juli 2015 – März 2016: Interviews mit der Lehrkraft

Tab. 6: Übersicht Datenerhebung und -aufbereitung

Jahrgangsstufe Ausgewählte Unterrichtsphasen	Länge des un- tersuchten Vi- deoausschnitts	Anzahl und Al- ter der inter- viewten Schüler	Interviews mit der Lehrkraft, Zeitpunkte
Jgst. 8			
Vorstellungen entwickeln (U1)	14 min	8 (13-14 Jahre)	Juli 2015
Lernprodukt diskutieren (U2)	17 min		März 2016
Jgst. 11			
Vorstellungen entwickeln (U1)	10 min	5 (16-17 Jahre)	November 2015
Lernprodukt diskutieren (U2)	13 min		

Quelle: Eigene Darstellung

Inhalte:

Jgst. 8: Streuversuch von Rutherford, Kern-Hülle Modell

Jgst. 11: Volumenkontraktion und -expansion, zwischenmolekulare Wechselwirkungen

4.7 Vorgehen und Methoden im Rahmen der fachlichen Klärung – Vorstellungen der Wissenschaftler

Datenmaterial

Rutherford: zwei Quelltexte aus Lehrbüchern, ein Originaltext

Volumenänderungen bei Lösungen:
Eigene Zusammenfassung aus verschiedenen Lehrbüchern

Auswertungsmethode

Qualitative Inhaltsanalyse
(nach Gropengießer 2005)

Für die fachliche Klärung (siehe Kap. 5) wird eine fachdidaktisch adaptierte Form der qualitativen Inhaltsanalyse nach Gropengießer (2005) angewendet. Dazu werden wissenschaftlich anerkannte Texte aus Fachbüchern, Lehrbüchern und Originalveröffentlichungen hinsichtlich ihrer Aussagen und aus fachdidaktischer Sicht untersucht. Im Fall der Experimente von Rutherford sind dies zwei Texte aus Lehrbüchern und eine Originalveröffentlichung von Rutherford. Die Volumenänderungen bei realen Lösungen berührt mehrere Teilbereiche der Chemie. Dementsprechend sind relevante Textstellen in unterschiedlichen Lehrbüchern der anorganischen, organischen und physikalischen Chemie verortet. Aufgrund der vielen unterschiedlichen Quellen wird eine Zusammenfassung der diversen Lehrbuchstellen als Grundlage für die Explikation gewählt. Die kritische Betrachtung in Bezug auf die Vermittlungsabsicht ist ein wichtiges Merkmal der fachlichen Klärung. Leitende Fragestellungen sind: Welche fachwissenschaftlichen Aussagen liegen zu den Themen vor? Welche Bedeutung besitzen die Begriffe und Termini in den fachwissenschaftlichen Kontexten? Welche Termini unterstützen lernförderliche Vorstellungen und welche Termini könnten Lernhindernisse erzeugen? Ein methodisch kontrolliertes Vorgehen erfolgt durch die qualitative Inhaltsanalyse, die Gropengießer (2005) für die fachdidaktische Forschung beschrieben hat.

Zusammenfassung(Identifizieren,
Paraphrasieren,
Ordnen)**Explikation****Strukturierung**
(Konzepte)

Die fachliche Klärung gliedert sich demnach in die Schritte Zusammenfassung, Explikation und Strukturierung. Bei der Zusammenfassung werden zu den Themen der Unterrichtsstunden (Streuexperimente von Rutherford und Kern-Hülle-Modell sowie Volumenänderungen bei realen Lösungen) inhaltstragende Passagen aus Originalveröffentlichungen und Lehrbuchtexten identifiziert, paraphrasiert und zum Teil zitiert.

Beim anschließenden Ordnen der Aussagen (siehe Anhang) werden diese unter Berücksichtigung der Fragestellung thematisch geordnet. Das Ergebnis ist eine Zusammenfassung der zentralen Vorstellungen von Wissenschaftlern zu den jeweiligen Themenbereichen. Der Abgleich verschiedener Quellen zeigt den gemeinsamen Kern und gegebenenfalls Unklarheiten oder Widersprüche in den Vorstellungen. In der nachfolgenden Explikation wird dargestellt, welche Quellen für Vorstellungen in Frage kommen, sprachliche Aspekte werden beleuchtet oder es werden Brüche, Probleme oder Widersprüche aufgezeigt. Zusammenfassung und Explikation bilden die Grundlage für die Strukturierung, durch die die zentralen Denkfiguren und Konzepte von Wissenschaftlern identifiziert werden. Dabei werden Konzepte, die fragend diskutiert werden, in der Strukturierung mit (?) versehen. Die Konzepte, die zustimmend vertreten werden, erhalten ein (*). Antithetisch vertretene Konzepte werden durchgestrichen dargestellt (~~Beispiel~~). Die identifizierten Konzepte der Wissenschaftler bilden die Grundlage für den Vergleich mit den Konzepten der Lernenden.

4.8 Vorgehen und Methoden im Rahmen der Lernerperspektiven

Da für die verschiedenen Teilfragen unterschiedliche Methoden angewendet wurden, wird im Folgenden die Beschreibung nach den Teilfragen bzw. Kapiteln in der Arbeit gegliedert.

Empirische Befunde zu Lernervorstellungen unter Berücksichtigung der Vermittlungsperspektive (Kapitel 6.1)

Datenmaterial

Fachdidaktische Literatur,
empirische Erhebungen

Auswertungsmethode

Reanalyse empirischer Befunde,
zusammenfassende Übersicht

Die Darstellung zum Stand der Forschung zu Lernervorstellungen (Kap. 6.1) erfolgt durch eine Reanalyse empirischer Erhebungen (in Anlehnung an Klauer, 2006). Die vorliegenden Befunde werden qualitativ reinterpretiert und in einer zusammenfassenden Übersicht dargestellt. Dabei wurden die Primärerhebungen unter Berücksichtigung der Fragestellung gesichtet und zusammengefasst. Die Vorstellungen von Lernenden wurden auf der Ebene von Konzepten zu den relevanten Inhalten der Untersuchung (Streuversuch von Rutherford, Vorstellungen von Atomen, Volumenänderungen bei Lösungen, zwischenmolekularen Wechselwirkungen) dargestellt. Unter Berücksichtigung der Vermittlungsperspektive werden im Kapitel 6.1 einleitend fachdidaktische Aspekte zu zentralen Modellen und deren Entwicklung wie die Vorstellungen zum Aufbau der Atome oder das Teilchenmodell zusammengefasst. Auch auf die kontroverse Diskussion zur fachdidaktischen Bedeutung des Standardversuchs zur Volumenkontraktion einer Lösung von Ethanol und Wasser wird verwiesen.

Ko-Konstruktionsprozesse in den Gesprächen (Kapitel 6.2)

Grundlage des Kapitels 6.2 ist die Annahme, dass Ko-Konstruktionsprozesse in den Unterrichtsgesprächen stattfinden. Aus der Literatur leitet sich eine Untersuchung der Schüleräußerungen im Hinblick auf formale und inhaltliche Kriterien ab. Die Untersuchung der formalen Ebene zeigt, ob die Aussagen die Kriterien einer erfolgreichen Ko-Konstruktion aufweisen. Die Inhaltsebene lässt eine Identifikation der Konzepte der Lernenden zu und bildet die Grundlage für den Vergleich mit den Konzepten der Wissenschaftler.

Formale Analyse der Ko-Konstruktionsprozesse (Kapitel 6.2.1)

Datenmaterial

Redigierte Transkripte von videographierten Unterrichtsstunden

Auswertungsmethode

Qualitative Inhaltsanalyse mit deduktiver Kategorienbildung (nach Mayring 2015)

Die redigierten Transkripte der Gespräche werden mit der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015, S. 97 ff.) ausgewertet. Als Analyseform wird die deduktive Kategorienbildung (Strukturierung) genutzt, da aus dem bisherigen Forschungsstand bereits Kategoriensysteme für die formale Analyse von ko-konstruktiven Gesprächen vorliegen (vgl. Kap. 2.4.4). Mayring unterscheidet vier Formen der Strukturierung (formal, inhaltlich, typisierend, skalierend). Zur Beantwortung der Frage, ob die Kriterien von ko-konstruktiven Gesprächen vorliegen, wird eine formale Strukturierung verwendet, da damit die innere Struktur von Gesprächen untersucht werden kann. Dabei ist das Kriterium der formalen Strukturierung dialogisch, das heißt, dass die Abfolge der Gesprächsbeiträge analysiert wird (Mayring 2015, S. 100-101).

Theoriegeleitete Festlegung der Dimensionen und Ausprägungen → Ableitung des Kategoriensystems

Definition der Kategorien, Ankerbeispiele ggf. Codierregeln

Materialdurcharbeitung, Extraktion der Fundstellen

Überarbeitung und ggf. Revision der Kategorien

Materialdurchgang

Ergebnisaufbereitung: Feinstruktur und ggf. allgemeine Strukturelemente

Der Prozess der Strukturierung mit deduktiver Kategorienbildung verläuft nach nebenstehendem Schema (gekürzt und leicht verändert entnommen aus Mayring, 2015, S. 98). Die Dimensionen und ihre Ausprägungen werden aus der Theorie und gegebenenfalls eigenen Untersuchungen abgeleitet und begründet. Daraus entsteht das Kategoriensystem. Die Zugehörigkeit eines Materialbestandteils zur Kategorie wird festgelegt, indem jede Kategorie definiert und mit konkreten Ankerbeispielen veranschaulicht wird. Falls Kategorien schwierig abzugrenzen sind, werden Regeln formuliert, um eine eindeutige Einordnung zu gewährleisten. Nach der Erprobung der Kategorien werden die Fundstellen im Text markiert und zusammengefasst.

Die Ergebnisaufbereitung einer formalen Strukturierung beinhaltet zunächst die Feinstruktur, aus der im zweiten Schritt eine übergeordnete, allgemeine Struktur abgeleitet wird.

In der vorliegenden Studie wird das Kategoriensystem aus der Literatur (vgl. Kap. 2.4.4) und den Befunden aus den Lehrerinterviews (vgl. Kap. 7) abgeleitet und begründet. Die genaue Ableitung und Anwendung des Kategoriensystems wird im Kapitel 6.2.1.2 dargestellt. Das Ergebnis ist eine Feinstruktur, die die zeitliche Abfolge der Gesprächsbeiträge und ihre Funktion im Ko-Konstruktionsprozess aufzeigt. Weiterhin werden daraus Elemente einer allgemeinen Struktur, im Sinne eines Gesprächsmusters, abgeleitet. Aufgrund der großen Datenmengen und der grafischen Möglichkeiten zur Visualisierung der Ergebnisse wurde eine QDA-Software benutzt.

Inhaltliche Analyse der Ko-Konstruktionsprozesse – Vorstellungen der Lernenden (Kapitel 6.2.2)

Datenmaterial

Redigierte Transkripte von videographierten Unterrichtsstunden

Auswertungsmethode

Qualitative Inhaltsanalyse (nach Gropengießer 2005)

Die redigierten Transkripte werden mit der qualitativen Inhaltsanalyse nach Gropengießer (2005, vgl. auch Punkt 4.6) methodisch kontrolliert ausgewertet. Ziel des Vorgehens ist die Identifizierung von Konzepten der Lernenden, um sie auf gleicher Ebene mit den Konzepten der Wissenschaftler vergleichen zu können. Aufgrund des Forschungsgegenstandes liegen in dieser Arbeit besondere Voraussetzungen für die Datenauswertung vor. Zum einen ist zu berücksichtigen, dass weder eine Interviewsituation noch ein Vermittlungsexperiment vorliegen, bei denen der Interviewer eine Steuerungsfunktion durch Fragen oder Nachfragen bei den Lernenden übernimmt. Hier tritt der Forscher als externer, nicht teilnehmender Beobachter auf, der einen Ausschnitt eines durch die Lehrkraft moderierten Unterrichtsgesprächs untersucht. Dadurch kann bei den geäußerten Vorstellungen der Schüler nicht vertieft nachgefragt werden, sondern für die Auswertung stehen größtenteils einzelne Aussagen verschiedener Schüler zur Verfügung. Auch die Anzahl der teilnehmenden Lerner ist (im Vergleich zu Gruppeninterviews) relativ hoch, da eine ganze Klasse betrachtet wird (25 Schüler in der Jahrgangsstufe 8 und 11 Schüler in der Jahrgangsstufe 11). Weiterhin sind die untersuchten Sequenzen dadurch gekennzeichnet, dass sie einen Ko-Konstruktionsprozess abbilden, in dem Vorstellungen in einem hohen Maße Veränderungsprozessen ausgesetzt sind, da die Lernenden häufig neue Ideen, erste Annahmen oder Hypothesen äußern, die im Verlauf des Gesprächs überprüft und hinterfragt werden (vgl. Kap. 2.3.1 und Osborne, 2010). Auch Gropengießer postuliert den Aspekt der Veränderung und merkt an, dass Vorstellungen „auch ad hoc als Konstrukte in der Situation entwickelt werden“ können (Gropengießer, 2007, S. 143). Die Folgen für die Interpretation der Daten werden im Kapitel 6.2.2 näher erläutert.

Perspektiven der Lernenden zum individuellen Lernprozess und zur Rolle der Lehrkraft in den Gesprächen (Kapitel 6.3)

Datenmaterial

Redigierte Transkripte von leitfadenzentrierten Interviews

Auswertungsmethode

Qualitative Inhaltsanalyse mit induktiver Kategorienbildung (nach Mayring 2015)

Zur Untersuchung der Lernerperspektiven werden die Probanden retrospektiv (vgl. Punkt 4.4) zu ihrem Lernprozess und zur Rolle der Lehrkraft befragt. Das induktive Vorgehen bei der Auswertung ist typisch für qualitative Ansätze und hat zum Ziel, den Untersuchungsgegenstand ohne Vorannahmen des Forschers abzubilden.

Fragestellung → Thema der Kategorienbildung

Festlegen des Selektionskriteriums; Definition der Kategorien und des Abstraktionsniveaus

Materialdurcharbeitung; Subsumption oder neue Kategorie

Überprüfung des Kategoriensystems

Endgültiger Materialdurchlauf

Interpretation

Im Rahmen einer zusammenfassenden qualitativen Inhaltsanalyse werden bei einem induktiven Vorgehen die Kategorien direkt aus dem Material abgeleitet, ohne vorherigen Bezug auf Theoriekonzepte (Mayring, 2015, S. 85 ff.). Da der eigene Lernprozess und die Wahrnehmung der Rolle der Lehrkraft individuumsbezogen und damit zunächst unbekannt sind, wurde das induktive Vorgehen gewählt. Zudem sind diese Fragestellungen bisher noch zu wenig untersucht, als dass man auf Theoriekonzepte zurückgreifen könnte. Das nachfolgend beschriebene Vorgehen folgt dem Prozessmodell von Mayring (2015), die Schrittabfolge im Kasten ist leicht verändert entnommen aus Mayring, 2015, S. 86. Aus der Fragestellung wird das Thema der Kategorienbildung abgeleitet, wie zum Beispiel: „Welche Aufgaben der Lehrkraft bei den Unterrichtsgesprächen beschreiben die Schüler?“

Durch dieses Selektionskriterium können die Kategorien definiert und das Abstraktionsniveau festgelegt werden. Beispiel: Kategoriendefinition: „Subjektiv wahrgenommene Aufgaben oder Aktivitäten der Lehrkraft während der Unterrichtsgespräche“ Abstraktionsniveau: „Konkrete Aktivitäten mit Bezug auf den Unterricht, die von den Befragten genannt werden“ Im Anschluss erfolgt die Materialdurcharbeitung mit der Bildung von Kategorien als Begriff oder kurzer Satz.

Weitere Fundstellen werden subsummiert oder es wird eine neue Kategorie gebildet. Wenn nach einem Großteil des Materials nur wenige neue Kategorien gebildet werden können, wird das Kategoriensystem kritisch überprüft (Passung des Selektionskriteriums und des Abstraktionsniveaus). Danach erfolgt der endgültige Materialdurchgang. Das Ergebnis dieses Vorgehens ist ein Kategoriensystem zur Fragestellung, das mit konkreten Textauszügen verbunden ist. Da aus dem vorliegenden Material nur wenige Kategorien gebildet werden konnten, wurde für die weitere Analyse das ganze Kategoriensystem mit einer zusammenfassenden Inhaltsanalyse interpretiert. Zur übersichtlicheren Bearbeitung wurde eine QDA-Software benutzt. Die Kategoriendefinitionen und die Abstraktionsniveaus befinden sich im Anhang.

4.9 Vorgehen und Methoden im Rahmen der didaktischen Strukturierung

Datenmaterial

Redigierte Transkripte von leitfadenzentrierten Interviews

Auswertungsmethode

Qualitative Inhaltsanalyse mit induktiver Kategorienbildung (nach Mayring, 2015)

Die didaktische Strukturierung wird im Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al. 1997) als Planungsaufgabe beschrieben, die durch den wechselseitigen Bezug von wissenschaftlichen, geklärten Vorstellungen und Lernervorstellungen zu Ziel- und Methodenentscheidungen im Hinblick auf die unterrichtliche Vermittlung des Themas führt. In dieser Arbeit wird das Ergebnis der didaktischen Strukturierung einer Lehrkraft untersucht (Gropengießer & Kattmann, 2013; Groß, 2004). Die Ziel- und Methodenentscheidungen der Lehrkraft zum Umgang mit Schülervorstellungen werden mit leitfadengestützten Interviews retrospektiv erhoben. Die redigierten Transkripte der Interviews werden mit der qualitativen Inhaltsanalyse mit induktiver Kategorienbildung nach Mayring (2015) ausgewertet. Zur Begründung des induktiven Vorgehens und dessen einzelne Schritte vgl. Punkt 4.8 und Kapitel 6.3. Das Ergebnis ist ein Kategoriensystem, das die Ziele der Lehrkraft im Umgang mit Schülervorstellungen sowie die eingesetzten Methoden anhand konkreter Textstellen beschreibt. Bei der Interpretation der Ergebnisse werden im Sinne einer zusammenfassenden Inhaltsanalyse Hauptkategorien gebildet und beschrieben. Zusätzlich erfolgt bei ausgewählten Begriffen eine Explikation nach Mayring (2015, S. 90 ff.). Nach einer lexikalischen Betrachtung wird eine enge Kontextanalyse angeschlossen, d.h. die Erläuterung der Begriffe erfolgt aus dem Textkontext. Ergebnis der Explikation

ist eine Formulierung, die den Begriff interpretiert. Aufgrund der großen Datenmengen und dem umfangreichen Kategoriensystem wurde eine QDA-Software benutzt.

4.10 Maßnahmen zur Erhöhung der Studiengüte

Eingangs wurde unter dem Punkt 4.2 auf die Gütekriterien qualitativer Studien verwiesen. Bereits dargestellt wurden die Begründung der Methodenwahl, die explizite Beschreibung und Dokumentation der Datenerhebung, -aufbereitung und -auswertung, die Begründung der Probandenauswahl und das computergestützte Vorgehen bei der Analyse der Daten. Zusätzlich erfolgte im Verlauf der Datenanalyse an mehreren Stellen ein Austausch mit kompetenten Personen außerhalb des Forschungsprojektes (peer debriefing) durch Vorstellung von Ergebnissen innerhalb der Arbeitsgruppe, auf Konferenzen und durch Diskussion mit den Kollegen aus dem Studienseminar Koblenz. Eine kommunikative Validierung wurde wiederholt mit der Lehrkraft durchgeführt. Die Fülle und inhaltliche Dichte des Materials sowie die Verwendung von vielen Begrifflichkeiten, die aus dem Koblenzer Lehr-Lern Modell stammen, erforderte den Abgleich zwischen Beforschtem und Forscher, um die Qualität des Fremdverstehens zu erhöhen. Durch das Modell der Didaktischen Rekonstruktion ist zudem ein mehrperspektivischer Blick auf die Daten im Sinne einer Triangulation möglich. Ableitungen hierzu finden sich im Kapitel 8 (Diskussion).

5 Fachliche Klärung – Vorstellungen der Wissenschaftler

In diesem Kapitel werden Vorstellungen von Wissenschaftlern zum Streuverhalten von Rutherford, dem Kern-Hülle Modell und zu Volumenänderungen bei realen Lösungen und zwischenmolekularen Wechselwirkungen untersucht.

Zunächst erfolgt unter Punkt 5.3 eine zusammenfassende Beschreibung der Forschungen Rutherfords zum Streuverhalten von Alpha-Strahlen an einer Goldfolie, die im untersuchten Unterricht der Jahrgangsstufe 8 thematisiert werden und eine kurze Betrachtung des Kern-Hülle Modells im historischen Kontext. Unter Punkt 5.4 wird eine Ableitung der wissenschaftlichen Konzepte aus Quelltexten mit der qualitativen Inhaltsanalyse nach Gropengießer (2005) vorgenommen.

Beim Unterrichtsthema der Jahrgangsstufe 11 werden die wissenschaftlichen Konzepte aus einer Zusammenfassung von diversen Lehrbuchstellen abgeleitet (Punkte 5.5 und 5.6), da die Inhalte etliche Teilbereiche der Chemie betreffen (vgl. Kap. 4, Punkt 4.7). Es erfolgt zunächst eine Zusammenfassung der fachlichen Zusammenhänge bei Volumenänderungen von Lösungen aus flüssigen Ausgangsstoffe aus verschiedenen Lehrbuchtexten. Diese Zusammenfassung bildet die Grundlage für die qualitative Inhaltsanalyse zur Ableitung der Konzepte.

5.1 Fragestellungen des Kapitels

Über welche Vorstellungen verfügen Wissenschaftlicher zu den oben genannten Themen? Welche Konzepte und Denkfiguren können in wissenschaftlichen Quelltexten identifiziert werden?

5.2 Datenerhebung und -auswertung

Das Vorgehen bei der Datenerhebung und -auswertung folgt der qualitativen Inhaltsanalyse nach Gropengießer (2005), vgl. Kap. 4, Punkt 4.7.

5.3 Rutherfords Forschungen zum Aufbau des Atoms – Beschreibung der Experimente und Einordnung in den historischen Kontext

Die Forschungen von Ernest Rutherford (1871-1937) trugen zu Beginn des 20. Jh. entscheidend zur Weiterentwicklung des Atommodells bei. Der Stellenwert wird erst vor dem Hintergrund der historischen Entwicklung der Vorstellungen zum Atombau deutlich, die im Folgenden knapp skizziert wird. Die Arbeiten und Erkenntnisse von Rutherford, die im untersuchten Unterricht Thema sind, werden ausführlicher dargestellt.

Antike Vorstellungen

In der Antike gab es zwei unterschiedliche Denkweisen in Bezug auf den Aufbau der Materie. So postulierten um 400-300 v.Chr. die griechischen Philosophen Demokrit (460-371 v. Chr.) und Leukippos (5. Jh. v. Chr.) unteilbare Bausteine („atoma“) der Materie und vertraten damit eine Diskontinuumshypothese. Die zentrale Vorstellung des Atomismus von Demokrit und Leukippos bestand aus nicht weiter teilbaren Teilchen, die sich in einem leeren Raum befinden. Platon (448-348 v. Chr.) und Aristoteles (384-322 v. Chr.) hingegen hatten die gegenteilige Vorstellung von der unbegrenzten Zerteilbarkeit von Körpern und vertraten damit eine Kontinuumshypothese. Ihr zentrales Argument war die Ablehnung der Vorstellung eines leeren Raumes („horror vacui“). Ihre These prägte für fast zwei Jahrtausende die Meinung unter den Forschern (Barke, 2006, S. 14 ff.; Kirchhoff, 2001, S. 7 ff.).

17. Jh. bis 19. Jh. – Atommodell von Dalton

Im 17. Jahrhundert wurde ausgehend von den Experimenten von E. Torricelli (1608-1647) das Vakuum nachgewiesen und bei der Suche nach einer Erklärung auf submikroskopischer Ebene der Ansatz des Diskontinuums von Demokrit und Leukippos wieder aufgegriffen. Das erste naturwissenschaftlich begründete Atommodell wird mit J. Dalton (1766-1844) verknüpft, der ab 1802 die damals bekannten quantitativen Gesetzmäßigkeiten bei chemischen Reaktionen erklären konnte. Wichtige Punkte seiner Hypothese waren: Atome sind nicht mehr teilbare Teilchen und unveränderlich. Alle Atome eines Elements sind untereinander gleich und unterscheiden sich in Größe und Masse von den Atomen anderer Elemente. Atome bleiben bei chemischen Reaktionen erhalten und treten in bestimmten ganzzahligen Verhältnissen zu Verbindungen zusammen (Kirchhoff, 2001, S. 15-16).

20. Jh. – Atommodell von Thomson

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden erste Modelle zur inneren Struktur der Atome entwickelt. P. Lenard (1862-1947) zeigte 1903 mit seinen Untersuchungen zum Durchtreten von Kathodenstrahlen durch Aluminiumfolie als erster, dass das Atom innen größtenteils leer sein musste. Josef John Thomson (1856-1940) konnte im Rahmen seiner Untersuchungen von Kathodenstrahlen 1897 negativ geladene Partikel („Korpuskel“) mit geringer Masse nachweisen. Kurze Zeit später gab H. A. Lorentz (1853-1928) dem Korpuskel den Namen „Elektron“. Mit der Entdeckung des Elektrons war das erste Teilchen gefunden worden, das kleiner als ein Atom war (Andrade, 1965, S. 66-69; Bethge & Gruber, 1990, S. 13; Holleman & Wiberg, 2007, S. 60).

Thomson postulierte 1903 ein Atommodell, nach dem sich die Elektronen in einer Kugel aus gleichmäßig verteilter, schwerer Masse mit positiver Ladung befinden (Holleman & Wiberg, 2007, S. 82). Der Begriff „Rosinenkuchen-Modell“ wurde von Crowther, einem früheren Mitarbeiter von Thomson, geprägt: er beschreibt das Atom wie folgt: „(...) as a region of positive electrification, in which electrons were distributed like plums in a pudding“ (Crowther, 1974, S. 151). Dieses Bild wird (auch in Schulbüchern) häufig zur Veranschaulichung genutzt: die Elektronen entsprechen den Rosinen, die sich im Teig (positive Masse) verteilen.

H. Nagaoka (1856-1950) postulierte 1904 ein Atommodell, bei dem eine zentrale Masse von Elektronenringen umgeben ist (auch: Saturn-Modell oder Planetenmodell).

Anfang des 20. Jahrhunderts wurden damit mehrere Modelle zum Aufbau des Atoms aus positiver und negativer Elektrizität postuliert, doch kein Modell war so genau, dass es durch Experimente überprüft und nachgewiesen werden konnte. Der nächste Entwicklungsschritt gelang mit der Entdeckung der Radioaktivität und der radioaktiven Zerfallsgesetze. Damit war die Grundlage für die Forschungen von Rutherford gelegt, die letztlich das Modell von Thomson ablösten (Justi & Gilbert, 2000, S. 996; Kirchhoff, 2001, S. 43-46; Mayer-Kuckuk, 1994, S. 12 ff.).

20. Jh. – Atommodell von Rutherford

Als Ernest Rutherford 1907 eine Professur für Physik an der Universität in Manchester erhielt, begannen er und seine Mitarbeiter Hans Geiger und Ernest Marsden mit den Forschungen zum Streuverhalten von Alpha-Strahlen, die sie unter anderem auf sehr dünne Goldfolien (Dicke ca. 3.000 Atome) schossen. Zur Messung der Streuung wurde die Szintillationsmethode eingesetzt (Andrade,

1965, S. 147 ff.): Durch einen Schlitz wurde ein schmaler Teilchenstrahl erzeugt, der auf einen phosphorisierenden Zinksulfidschirm trifft. Wird eine dünne Metallfolie zwischen dem Schlitz und dem Schirm angebracht, kann die Streuung durch die Lichtblitze (Szintillationen), die die Alphateilchen beim Auftreffen auf den Zinksulfidschirm erzeugen, beobachtet werden.

Aus den Beobachtungen der ersten Szintillations-Experimente 1908 konnten Geiger und Marsden bereits grundlegende Zusammenhänge ableiten: Mit einer Zunahme des Ablenkungswinkels nimmt die Anzahl der abgelenkten Alpha-Teilchen sehr schnell ab. Die größten Winkel betragen nur wenige Grad. Die Streuung wird mit Dicke der Folie und dem Atomgewicht des Metalls größer. Je dicker die Folie ist, desto mehr Zusammenstöße gab es und je schwerer die Atome waren, desto größer war die Ablenkung (Andrade, 1965, S. 148).

In den entscheidenden Experimenten im Jahr 1909 wurde nachstehende Anordnung (vgl. Abb. 7) genutzt (Haken & Wolf, 1990, S. 42; Mayer-Kuckuk, 1994, S. 18-19). Ein Alpha-Präparat R wird mit einem Bleimantel (Kollimator) D umgeben, um einen parallelen Strahlenverlauf zu erzeugen. Die Alpha-Teilchen werden an der Folie F gestreut. Die Lichtblitze beim Auftreffen auf den Szintillationsschirm werden mit Hilfe des Szintillators S detektiert und können mit der Lupe oder dem Mikroskop M beobachtet werden. Mittels der Schliffverbindung C kann die Lupe bzw. das Mikroskop um die Achse der Folie gedreht werden. Die gesamte Anordnung wurde über die Pumpleitung T evakuiert, um Luftstreuungen zu vermeiden.

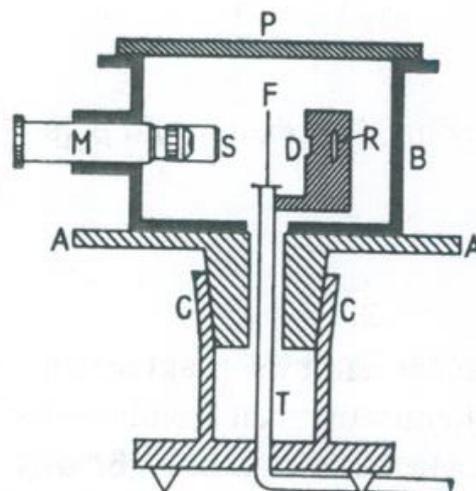


Abb. 7: Experimentelle Anordnung zur Untersuchung des Streuverhaltens von Alpha-Strahlen
Quelle: Mayer-Kuckuk, 1994, S. 18

Rutherford und seine Mitarbeiter stellten bei den Experimenten fest, dass nahezu alle Alpha-Teilchen (99,9 %) fast ungehindert durch die Goldfolie traten. In sehr

geringem Ausmaß traten auch Weitwinkelstreuungen von über 90 Grad der Alpha-Teilchen auf, dabei wurde auch sehr selten ein Zurückprallen beobachtet (Andrade, 1965, S. 150; Holleman & Wiberg, 2007, S. 82-83). Von der erstaunlichen Beobachtung, dass einige Alpha-Teilchen rückwärts gestreut worden waren, erzählte Rutherford in einer seiner Vorlesungen (Andrade, 1965, S. 149). Als sein Mitarbeiter Geiger zu ihm kam und ihm von der Beobachtung aufgeregt berichtete, bewertete Rutherford dies als „(...) das unglaublichste Vorkommnis, von dem ich je gehört hatte. Es war so unglaublich, wie wenn man aus einer Pistole eine Kugel auf einen Bogen Seidenpapier abfeuert, und sie kommt zurück und trifft den Schützen“ (Andrade, 1965, S. 149).

Geiger und Marsden zeigten, dass das Phänomen der zurückgeworfenen Alpha-Teilchen nicht mit der Oberfläche der Folie zusammenhing, denn die Anzahl der zurückgeworfenen Teilchen stieg zunächst mit zunehmender Foliendicke an, um dann konstant zu bleiben. Daraus leiteten sie ab, dass der Rückstoß auf das Eindringen der Teilchen bis zu einer bestimmten Tiefe und somit auf Zusammenstöße mit den Atomen im Inneren der Folie zurückzuführen war (Andrade, 1965, S. 150).

Als zentrale Frage der Experimente blieb: „Wie konnte eine atomare Kraft existieren, die so stark war, dass sie ein Atom zur Umkehr zwingen konnte, das sich in einer Geschwindigkeit von einigen zehntausend Kilometern in der Sekunde bewegte?“ (Andrade, 1965, S. 152).

Im Jahr 1911 publizierte Rutherford die ersten Berechnungen, um die Streuung der Alpha-Teilchen zu erklären (Rutherford, 1911). Er ging dabei von einer positiven Ladung aus, die sich im Zentrum des Atoms konzentriert und von einer negativen Ladung umgeben ist. Mit seiner Streuformel konnte er nachweisen, dass die Alpha-Teilchen bei einem Zusammenstoß mit einem schweren Atomkern eine Hyperbelbahn beschreiben (Andrade, 1965, S. 159 ff.; Mayer-Kuckuk, 1994, S. 18 ff.). Je näher das Alpha-Teilchen an den Kern kommt, desto größer ist die Ablenkung bis hin zum Rückstoß. Nachfolgend abgebildet sind drei typische Fälle von Hyperbelbahnen (siehe Abb. 8), die auch in der untersuchten Unterrichtseinheit in vereinfachter Form verwendet werden.

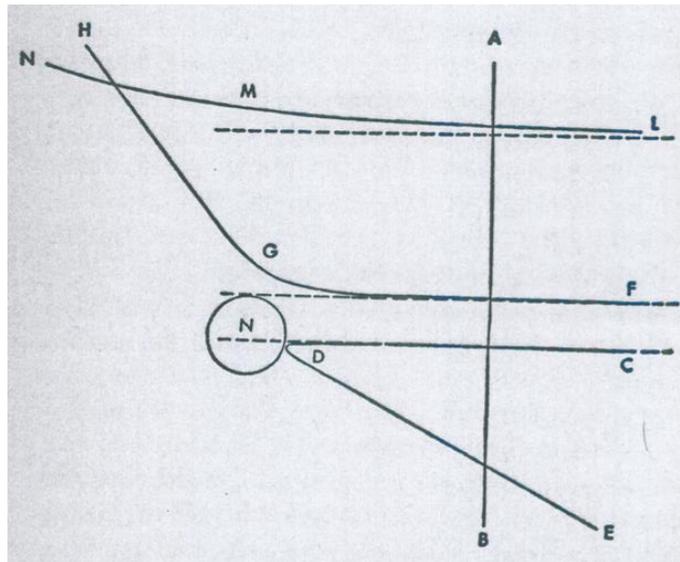


Abb. 8: Hyperbelbahnen von Alpha-Teilchen
Quelle: Andrade, 1965, S. 160

Die Linie AB stellt die Oberfläche der Goldfolie dar. Die gestrichelten Linien verdeutlichen die geradlinigen Bahnen der Alpha-Teilchen vor dem Eintritt in die Goldfolie. Der Kreis um N symbolisiert den Atomkern. Im Fall LMN wird das Alpha-Teilchen mit 11 Grad abgelenkt. Im Fall FGH wird das Alpha-Teilchen nahe am Kern mit einem Winkel von 53 Grad abgelenkt. Im Fall CDE wird die ursprüngliche Richtung bis kurz vor dem Kern beibehalten und danach erfolgt eine Ablenkung um 152 Grad (Andrade, 1965, S. 160).

Aus der Seltenheit der Ablenkung leitete Rutherford die geringe Größe des Atomkerns und die vergleichsweise große Ausdehnung der Elektronenhülle ab. Die großen Streuwinkel führten zu der Schlussfolgerung, dass sich die gesamte Masse und die gesamte positive Ladung des Atoms im Kern konzentriert. Das Rutherfordsche Atommodell postulierte somit einen kleinen, positiv geladenen Atomkern, in dem sich fast die gesamte Masse des Atoms konzentriert und eine räumlich ausgedehnte Hülle, in der sich negativ geladene Elektronen von geringer Masse um den Kern bewegen (Bethge & Gruber, 1990, S. 14; Haken & Wolf, 1990, S. 43; Holleman & Wiberg, 2007, S. 82-83).

Rutherfords Modell konnte noch nicht die Beschaffenheit der Elektronenhülle schlüssig begründen. Im Falle unbeweglicher Elektronen müssten diese durch die Anziehung positiver und negativer Ladungen in den Kern gezogen werden. Wenn man Elektronen postuliert, die sich auf einer Bahn um den Kern bewegen, würden nach den Gesetzen der klassischen Mechanik die Elektronen elektromagnetische Strahlung emittieren. Durch den Energieverlust müssten die Elektronen immer langsamer kreisen und nach kurzer Zeit auf einer Spiralbahn in den Kern

fallen (Meschede, 2002, S. 621-622). Obwohl das Rutherfordsche Atommodell bereits zwei Jahre später vom Bohrschen Modell abgelöst wurde, sind seine Grundaussagen in die Entwicklung aller nachfolgenden Atommodelle eingegangen (Wulftange, 1975, S. 109).

20. Jh. – Atommodell von Bohr, Erweiterung durch Sommerfeld

Die Fortschritte in der Spektralanalyse zu Beginn des 20. Jahrhunderts und die Forschungen von N. Bohr (1885-1962) zum Wasserstoff-Spektrum führten eine neue Theorie der Atommodelle ein, die die Widersprüche in der Elektronenhülle im Atommodell von Rutherford angingen (Meschede, 2002, S. 622 ff.). Um das Linienspektrum des Wasserstoffs zu erklären, veröffentlichte Bohr 1913 Ergebnisse, in denen er u.a. den strahlungsfreien Umlauf eines Elektrons auf einer bestimmten („Bohrschen“) Bahn begründete. Aus den Frequenzen der Wasserstofflinien entwickelte Bohr das Energieniveauschema des Wasserstoffatoms und konnte damit erklären, weshalb nur diskrete Energieportionen vom Atom aufgenommen bzw. emittiert werden können (Holleman & Wiberg, 2007, S. 90; Kirchoff, 2001, S. 63).

Die Erweiterung des Bohrschen Modells erfolgte 1915/16 durch A. Sommerfeld (1868-1951) (Kirchoff, 2001, S. 69). Aufgrund seiner sehr erfolgreichen Vorhersagen und plausiblen Begründung der Spektrallinien leitete das Bohr-Sommerfeldsche Modell den Übergang zur modernen Atomtheorie ein, die 1925 in die Quantenmechanik mündete.

Ab 1925: Quantenmechanisches Atommodell

Eine entscheidende Weiterentwicklung des Atommodells fand zwischen 1920 und 1928 statt, wobei das quantenmechanische Modell der Atomstruktur die Vorstellung von Umlaufbahnen von Elektronen ablöste und bis zur heute gültigen Vorstellung der Orbitale als räumliche Verteilung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Elektronen führte. Wichtige Grundlagen waren 1925 das Postulat von G.E. Uhlenbeck und S. Goudsmit zum Spin des Elektrons sowie das Prinzip von W. Pauli (1900-1958), das ausschließt, dass sich in einem Atom mehr als ein Elektron in demselben Zustand (beschrieben durch den Satz der Quantenzahlen) befinden kann. Weitere zentrale Arbeiten folgten von E. Schrödinger (1887-1961), der 1926 mit der Wellengleichung die Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen im Raum beschrieb und W. Heisenberg (1901-1976), der mit der Unschärferelation 1927 besagte, dass Ort und Impuls eines Teilchens nicht gleichzeitig präzise gemessen werden können. Als nächste Entwicklung folgte die Quantenelektrodynamik, die zum Konzept der Antiteilchen führte. Mit der Entdeckung des Laser-Lichts (1960) konnte das Auflösungsvermögen der atomaren

Spektroskopie stark erhöht werden, so dass heute ein in sich geschlossenes Modell des Atoms auf der Basis von Quantenmechanik und elektromagnetischer Wechselwirkung vorliegt (Bethge & Gruber, 1990, S. 14-17; Mayer-Kuckuk, 1994, S. 12 ff.).

5.4 Konzepte von Wissenschaftlern zum Streuversuch von Rutherford und zum Kern-Hülle Modell

Mit der fachdidaktisch adaptierten qualitativen Inhaltsanalyse (nach Gropengießer, 2005, siehe Kap. 4, Punkt 4.7) werden die Vorstellungen von Fachwissenschaftlern untersucht, um Konzepte und Denkfiguren abzuleiten. Quelltexte sind ein historischer Artikel von Ernest Rutherford und Auszüge von Lehrbüchern der Anorganische Chemie und der Atomphysik.

Quelle 1: Historischer Artikel

Dokument: Rutherford, E. (1911). LXXIX. The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 21(125), 669-688.

Zusammenfassung

Rutherford stellt in diesem Artikel seine Hypothesen zum Atommodell vor und grenzt diese von den bisherigen Annahmen zum Atombau nach Thomson ab.

Er nimmt Bezug auf das Thomson-Modell: „It has generally been supposed that the scattering of a pencil of alpha or beta rays in passing through a thin plate of matter is the result of a multitude of small scatterings by the atoms of matter traversed.“ [Es wurde allgemein angenommen, dass die Streuung eines Alpha- oder Beta-Strahls beim Durchtreten einer dünnen Materiefolie das Ergebnis einer Vielzahl an kleinen Streuungen an den Atomen der durchquerten Materie ist.] (S. 669-670)

Danach stellt Rutherford die Beobachtungen von Geiger und Marsden (aus den Experimenten von 1909) dar: „They found, for example, that a small fraction of the incident alpha particles, about 1 in 20,000 were turned through an average angle of 90 in passing through a layer of gold-foil about .00004 cm. Thick (....) A simple calculation based on the theory of probability shows that the chance of an alpha particle being deflected through 90 is vanishingly small. (...) It seems reasonable to suppose that the deflexion through a large angle is due to a single atomic encounter, for the chance of a second encounter of a kind to produce a large deflexion must in most cases be exceedingly small. A simple calculation

shows that the atom must be a seat of an intense electric field in order to produce such a large deflexion at a single encounter.“ [Sie fanden beispielsweise heraus, dass ein geringer Teil der einfallenden Alpha-Teilchen, ungefähr 1 von 20.000, in einem durchschnittlichen Winkel von 90 Grad gedreht die ca. 0,00004 cm dicke Goldfolie passierte. Eine einfache Wahrscheinlichkeitsberechnung zeigt, dass die Chance für eine 90 Grad Ablenkung eines Alpha-Teilchens verschwindend gering ist. Die Annahme erscheint sinnvoll, dass die Ablenkung um einen großen Winkel auf einen einzelnen atomaren Zusammenstoß zurückzuführen ist, die Chance für einen zweiten Zusammenstoß, um einen noch größeren Winkel zu produzieren muss in den meisten Fällen überaus klein sein. Eine einfache Berechnung zeigt, dass das Atom Sitz eines starken elektrischen Feldes sein muss, um bei einem einzelnen Zusammenstoß eine so große Ablenkung zu produzieren.] (S. 669)

Bei seinen anschließenden Berechnungen, die die Ablenkung der Alpha-Teilchen erklären, geht er von einer positiven Ladung aus, die sich im Zentrum des Atoms konzentriert und von einer negativen Ladung umgeben ist. Die Ladung des Zentrums wird mit der Größe Ne beschrieben, wobei e die im Elektron vorhandene Elementarladung ist und N eine ganze Zahl.

„Consider an atom containing a positive charge Ne at its centre, and surrounded by a distribution of negative electricity Ne uniformly distributed within a sphere of radius R .“ [Um eine Vorstellung von den Kräften zu bekommen, die erforderlich sind, um ein Alpha-Teilchen um einen großen Winkel abzulenken, wird ein Atom betrachtet, das eine positive Ladung Ne in seinem Zentrum enthält und das von einer negativen Elektrizität Ne umgeben ist, die gleichmäßig innerhalb einer Kugel mit Radius R verteilt ist.] (S. 671)

Rutherford zeigte mit den Berechnungen auch, dass die Alpha-Teilchen bei einem Zusammenstoß mit einem schweren Atomkern eine Hyperbelbahn beschreiben. Am Ende des Artikels (S. 688) merkt Rutherford an, dass seine hier abgeleiteten Theorien unabhängig vom Vorzeichen der zentralen Ladung sind und es bisher noch nicht möglich war, Evidenzen für eine positive oder negative zentrale Ladung zu ermitteln.

Explikation

Das Dokument ist in die historische Entwicklung (vgl. Punkt 4.1.1) einzuordnen.

Zum damaligen Zeitpunkt konkurrierte das Modell von Rutherford mit dem bestehenden Atommodell von Thomson und führte innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft zu einem intensiven Disput. Der grundlegende Unterschied beider Modelle bestand darin, dass Thomson eine zusammengesetzte Streuung,

die sich aus einer Vielzahl an kleinen Streuungen ergibt, postulierte, wohingegen Rutherford eine Einzelstreuung, die durch einen Aufprall eines einzelnen Alpha-Teilchens bewirkt wurde, annahm (Niaz, 1998, S. 541-542). Deshalb stellte Rutherford zu Beginn seiner Publikation das Thomson-Modell dar, um aus den Ergebnisse der Experimente von Geiger und Marsden abzuleiten, dass die starke Ablenkung der Alpha-Teilchen auf einen einzigen Zusammenstoß mit einem sehr kleinen und energiereichen anderen Teilchen verursacht werden musste.

Rutherford postulierte für das Atom eine zentrale Ladung, die im Vergleich zur Gesamtgröße des Atoms klein sein und fast die gesamte Masse enthalten musste. Weiterhin ging er von einer Hülle mit entgegengesetzter Ladung aus, damit das Atom insgesamt neutral bleibt. Vor dem Hintergrund dieser Vorstellung publizierte er 1911 den ersten Artikel. Ein weiteres Ergebnis des Artikels war die Entwicklung einer Formel (heute im schulischen Kontext oft „Streuformel“ genannt), die die Flugbahn der Alphateilchen als Hyperbel beschrieb. Die experimentelle Überprüfung der Streuwinkel bestätigten die Formel. Die Tragweite dieser Ergebnisse wurde allerdings zum Zeitpunkt der Veröffentlichung von der Fachwelt noch nicht erkannt (Andrade, 1965, S. 162).

In Bezug auf die Begrifflichkeiten wird im untersuchten Quelltext eine zentrale, punktförmige, positive Ladung angenommen und von einer gleichmäßig verteilten negativen Elektrizität ausgegangen. Hierzu ist anzumerken, dass Rutherford in dieser ersten Arbeit zunächst aus Gründen der Anschaulichkeit bzw. der Einfachheit halber die zentrale Ladung als positiv annahm: „For convenience, the sign (of the central charge) will be assumed to be positive“ (Rutherford, 1911, S.671). Die mathematische Formel für die Flugbahn der Alpha-Teilchen ist im Fall eines positiven wie negativen Zentrums dieselbe (Andrade, 1965, S. 158). So weist Rutherford am Ende des Artikels auch darauf hin, dass noch keine Evidenzen vorliegen, ob die zentrale Ladung positiv oder negativ ist. Rutherford verwendet in diesem Artikel nicht den damals bereits bekannten Begriff des Elektrons. Vorschläge zur Stabilität des Atoms betrachtet Rutherford in diesem Artikel ebenfalls nicht. Er merkt an, dass dazu die kleinste Struktur des Atoms und die Bewegung der umgebenden geladenen Teilchen berücksichtigt werden muss. Ebenso wird in dem Artikel noch nicht vom Atomkern gesprochen, sondern von einer zentralen Ladung (Niaz, 1998, S. 535). Der Begriff des Kerns, „nucleus“ wird von Rutherford in einer Publikation kurze Zeit später verwendet (Rutherford, 1912, S. 461).

An diesem Dokument lässt sich zeigen, dass sich naturwissenschaftliche Vorstellungen Schritt für Schritt entwickeln. Rutherford liefert fachliche Erklärungsmodelle für experimentelle Daten und benennt auch dessen Grenzen bzw. Unklarheiten, zum Beispiel in Bezug auf das Vorzeichen der zentralen Ladung.

Strukturierung: Abgeleitete Konzepte und Denkfiguren

- **Positive Ladung im Zentrum.** Das Atom enthält eine zentrale, punktförmige, positive postulierte Ladung im Zentrum.
- **Negative Elektrizität umgibt das Zentrum.** Das Zentrum des Atoms ist umgeben von einer negativen Elektrizität, die gleichförmig in einer Sphäre verteilt ist.
- **Flugbahn der Alpha-Teilchen ist eine Hyperbel.** Alpha-Teilchen beschreiben beim Zusammenstoß mit der positiven Ladung des Atoms eine Hyperbelbahn.

Quelle 2: Lehrbuch der Anorganischen Chemie

Dokument: Holleman, A. F., & Wiberg, E. (2007). *Holleman-Wiberg. Lehrbuch der Anorganischen Chemie*. S. 82-83

Zusammenfassung

Im Lehrbuch von Holleman und Wiberg (2007) findet sich das Rutherfordsche Atommodell im Kapitel Atombau. Es beginnt mit der heutigen Vorstellung zum Aufbau der Atome aus den Elementarteilchen Protonen, Neutronen und Elektronen. In diesem Zusammenhang skizziert das Lehrbuch in einer Zusatzinformation den historischen Kontext: Demnach widerlegte Rutherford die bis dato herrschende Vorstellung eines kompakten Atombaus, indem er experimentell zeigte, dass Alpha-Teilchen zu 99,9 % ungehindert durch sehr dünne Metallfolien hindurchtreten. Durch die Seltenheit (ca. 0,1%) der beobachteten Ablenkungen der Alpha-Teilchen leitete Rutherford ab, dass es nur ein kleiner Raumteil sein kann, der den Alpha-Teilchen Widerstand bietet. Aus der Beobachtung der sehr großen Streuwinkel ist zu folgern, dass der Raumteil nahezu die gesamte Atommasse und die gesamte positive Ladung enthalten muss. Holleman und Wiberg fügen erläuternd hinzu, dass nach den Gesetzen des elastischen Stoßes die leichten Alpha-Teilchen nur an schweren und hoch geladenen Massen abgelenkt werden können. Die Autoren fassen zusammen: „Rutherford postulierte deshalb, dass die Atome aus einem kleinen schweren, positiv geladenen Kern und einer räumlich ausgedehnten leichten, negativ geladenen Elektronenhülle bestehen (Rutherfordsches Atommodell, 1911)“ (Holleman & Wiberg, 2007, S. 83).

Explikation

Das Lehrbuch legt den Schwerpunkt des Kapitels Atombau auf die Darstellung der heutigen, aktuellen Vorstellungen zu den Kernbausteinen (Protonen, Neutronen und Elektronen). In diesem Zusammenhang werden die Ergebnisse von

Rutherfords Forschungen lediglich als historische Zusatzinformation im Hinblick auf sein Atommodell erläutert, da damit ein Grundstein für die Erforschung des Atombaus gelegt wurde. Das Lehrbuch fasst die Aussagen des Rutherford'schen Modells und dessen Herleitung aus den zentralen Experimenten in wenigen Sätzen prägnant zusammen. Holleman & Wiberg schreiben aus der Sicht des heutigen Erkenntnisstandes und verwenden dementsprechend die üblichen Begrifflichkeiten wie „Atomkern“ und „Elektronenhülle“.

Der Begriff „Atom“ wurde in der antiken Naturphilosophie im 5. Jh. v. Chr. von Leukipp und Demokrit geprägt und geht zurück auf das griechische Wort „atomos“, das Unteilbare. In der zentralen Vorstellung der damaligen Naturphilosophen waren die Atome unteilbare Bausteine der Materie, die unveränderlich sind und sich im leeren Raum bewegen (T. Kirchhoff, 2012, abgerufen am 17.8.16). Aus heutiger Sicht definiert die IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), die internationale Standards zur Benennung und Definition chemischer Begriffe erstellt, ein Atom wie folgt: „Smallest particle still characterizing a chemical element. It consists of a nucleus of a positive charge (Z is the proton number and e the elementary charge) carrying almost all its mass (more than 99.9%) and Z electrons determining its size.“ [Kleinstes Teilchen, das ein chemisches Element charakterisiert. Es besteht aus einem Kern mit positiver Ladung (Z ist dabei die Protonenzahl Z und e die Elementarladung), der fast die gesamte Masse trägt (mehr als 99,9%) und dessen Größe durch Z Elektronen bestimmt wird.] (IUPAC, abgerufen am 17.8.16). Übereinstimmend mit der antiken Vorstellung wird vom kleinsten Teilchen gesprochen und durch die heutige Vorstellung zur inneren Struktur der Atome erweitert.

Eine Recherche zum Begriff „Atomkern“ bzw. „Kern“ zeigt, dass gerade der Begriff des Kerns in verschiedenen wissenschaftlichen und lebensweltlichen Kontexten verwendet wird:

Im Zusammenhang mit Atommodellen wurde der Begriff des Kerns bereits 1912 von Rutherford verwendet: „(...) the atom consists of a positively charged nucleus of very small dimensions (...)“ [Das Atom besteht aus einem positiv geladenen Kern sehr geringen Ausmaßes.] (Rutherford, 1912, S. 461).

Die IUPAC definiert „nucleus“ wie folgt: „The positively charged central portion of an atom, excluding the orbital electrons“ [Der positiv geladene zentrale Teil eines Atoms, ohne die Orbital-Elektronen.] (IUPAC, 2016).

Für den Begriff „Atomkern“ findet sich im Duden (Bibliographisches Institut GmbH, 2016, abgerufen im August 2016): „Aus Neutronen und Protonen bestehender Kern eines Atoms, der von der Elektronenhülle umgeben ist“. Unter dem weiterführenden Verweis „Kern“ finden sich 17 verschiedene Bedeutungen aus Natur, Technik u.a. Bereichen. An erster Stelle wird eine Bedeutung für Kern mit

„fester innerer Teil einer Frucht“ oder mit einem „hartschaligen Samen in einer Frucht“ beschrieben. In der Reihung folgen u.a. Verweise auf die Biologie („Zellkern“) und die Physik („Atomkern“) und weitere Bedeutungen des Begriffes in Handwerk und Technik (z.B. Gießerei, Elektrotechnik, Gerberei). Auch das Chemie-Lexikon Römpp (Römpp, 1995) merkt die unterschiedliche Verwendung des Begriffes „Kern“ an und verweist auf zum Beispiel auf Atomkern (Atombau), Kernspeicher (Datenverarbeitung), Erdkern (Geochemie), Kernholz (Holz).

Auch das zusammengesetzte Substantiv „Elektronenhülle“ kann man auf die Verwendung der Teilbegriffe „Elektron“ und „Hülle“ untersuchen. Nach IUPAC (2016) ist ein Elektron: „Elementary particle (...) having a spin quantum number $\frac{1}{2}$, a negative elementary charge and a rest mass of 0,000548579903(13) u.“ [Elementarteilchen (...) mit einer Spinzahl von $\frac{1}{2}$, einer negativen Elementarladung und einer Ruhemasse von 0,000548579903(13) u.]

Das Chemie-Lexikon Römpp (Römpp, 1995) definiert: „Elektrisch negativ geladene Elementarteilchen (...). Der Name Elektron ist von dem griechischen Wort für Bernstein abgeleitet und geht wahrscheinlich aus den englischen Physiker Stoney zurück. (...)“. Der Duden definiert ein Elektron als „elektrisch negativ geladenes Elementarteilchen“ (Bibliographisches Institut GmbH, 2016).

Der Begriff „Hülle“ besitzt laut Duden fünf Bedeutungen (Bibliographisches Institut GmbH, 2016, am Ende ins Lit.verz. aufgerufen im August 2016). Zunächst kann damit etwas gemeint sein, womit etwas verpackt, bedeckt oder verhüllt ist. Eine Hülle kann zur Aufbewahrung von Gegenständen vorgesehen sein und ist in diesem Fall deren Form angepasst und umschließt diese fest. Es wird weiterhin auf die Redewendung „in Hülle und Fülle“, die Überfluss beschreibt, verwiesen und als botanischer Fachbegriff „Hüllkelch“ genannt.

Der Begriff „Elektronenhülle“ findet sich Römpp-Chemie-Lexikon (Römpp, 1995) unter dem Eintrag „Atombau“. Dort wird er als Gliederungspunkt verwendet, jedoch nicht genauer erläutert oder definiert.

Zusammenfassend zeigt die begriffliche Betrachtung, dass für die fachlichen Termini eine Vielzahl an Bedeutungen aus dem Alltag und eine mehrfache, uneinheitliche Verwendung in Wissenschaft und Technik existiert. Aus chemiedidaktischer Vermittlungsperspektive ist dies von besonderer Bedeutung. So zeigen Befunde aus der fachdidaktischen Forschung, dass die Verwendung von Fachbegriffen in unterschiedlichen Kontexten eine mögliche Ursache für Schülerfehlvorstellungen ist. Beispielsweise wurde dies für die Begriffe „Kern“ und „Hülle“ bzw. „Schale“ untersucht (Harrison & Treagust, 1996). Aufgrund der Verwendung von „Kern“ in der Biologie („Zellkern“) und in der Chemie („Atomkern“) schlussfolgerten einige Schüler, dass Atome sich fortpflanzen und wachsen können und dass sich Atomkerne teilen können. Vor dem Hintergrund der

Verwendung des Begriffs „Schale“ in der Biologie („Samenschale“) oder in der Chemie („Elektronenschalen“) stellten sich Schüler vor, dass „Elektronenschalen“ Schalen sind, die ein Atom umgeben und schützen. Hingegen verstanden sie unter „Elektronenwolken“ Strukturen, in den die Elektronen eingebettet sind. Weitere Beispiele finden sich im Kapitel 6.1.

Strukturierung: Abgeleitete Konzepte und Denkfiguren

- **Positiver Kern.** Atome besitzen einen kleinen, schweren, positiv geladenen Kern.
- **Negative Elektronenhülle.** Der Kern ist von einer räumlich ausgedehnten, leichten, negativ geladenen Elektronenhülle umgeben.
- **Ablenkung durch positiven Kern.** Die positiv geladenen Alpha-Teilchen werden durch die positive Ladung des Kerns abgelenkt.
- **Seltenheit der Ablenkung → kleiner Kern.** Da die Ablenkung der Alpha-Teilchen sehr selten erfolgt, kann gefolgert werden, dass ein sehr kleiner Raumteil (Kern) den Alpha-Teilchen Widerstand bietet.
- **Große Streuwinkel → Kern enthält fast die gesamte Masse.** Aus den sehr großen Streuwinkeln kann abgeleitet werden, dass der Kern fast die gesamte Masse des Atoms und die gesamte positive Ladung enthält.

Quelle 3: Lehrbuch der Atomphysik

Dokument: Haken, H. & Wolf, C. (1990): *Atom-und Quantenpyhsik*. Berlin: Springer Verlag. S. 41-49

Zusammenfassung

In ihrem Lehrbuch beschäftigen sich Haken und Wolf (1990) im Kapitel 4 mit der Kernstruktur des Atoms. Im Unterkapitel 4.2 wird mit der Rutherford-Streuung der Durchgang von Alpha-Teilchen durch Materie betrachtet. Einleitend werden Alpha-Teilchen als zweifach positiv geladene Heliumkerne mit charakteristischen Eigenschaften beschrieben. Danach werden die Streuexperimente von Rutherford erläutert und die Versuchsanordnung mit einer Zeichnung verdeutlicht. Die quantitative Deutung der Ergebnisse gelingt nach Haken und Wolf mit dem Rutherfordschen Atommodell von 1911, für das sie anführen, dass das Atom einen Kern mit einem Radius von ungefähr 10^{-12} cm hat, der die ganze Masse des Atoms enthält. Die Alpha-Teilchen werden von den leichten Elektronen kaum abgelenkt. Der Kern hat eine positive Ladung Ze , wobei Z die Ordnungszahl ist. Um den Kern besteht ein Coulomb-Feld, das zu einer Abstoßung zwischen dem

Kern und den Alpha-Teilchen führt. Im Anschluss erfolgt die Ableitung der Rutherford'schen Streuformel und deren experimentelle Überprüfung (Haken & Wolf, 1990, S. 48-49).

Explikation

Das Lehrbuch der Atomphysik von Haken und Wolf macht die historischen Experimente zum Ausgangspunkt seiner Betrachtungen, dementsprechend nehmen die Forschungen von Rutherford bei der Besprechung der Kernstruktur des Atoms einige Seiten ein. Die Autoren stellen zunächst den historischen experimentellen Aufbau mit Schemazeichnungen dar und erläutern die Durchführung. Danach fokussieren sie auf die Streuung bzw. Rückstreuung einiger weniger Alpha-Teilchen als wesentliche Beobachtungen des Experiments. Dies bildet die Grundlage für die Ergebnisdiskussion und Folgerungen, wobei die Autoren ihren Schwerpunkt auf die mathematische Ableitung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten wie der Rutherford'schen Streuformel legen.

Bei den beschreibenden und erläuternden Texten verwenden die Autoren die heute üblichen Begrifflichkeiten aus Chemie und Physik wie z.B. „Atom“, „Kern“ und „Elektron“. Zur Analyse dieser Begriffe siehe Explikation der Quelle Holleman & Wiberg. In gleicher Weise ist hier aus Vermittlungsperspektive zu beachten, dass die Mehrfachbedeutung und -verwendung der fachlichen Termini Lernhindernisse für Schüler darstellen können.

Strukturierung: Abgeleitete Konzepte und Denkfiguren

- **Alpha-Teilchen sind positiv geladene Teilchen.** Alpha-Teilchen sind zweifach positiv geladene Heliumkerne.
- **Positiver Kern.** Atome besitzen einen kleinen, positiv geladenen Kern mit der Kernladungszahl Z , der fast die gesamte Masse enthält.
- **Negative Elektronen.** Negative, leichte Elektronen umkreisen den Kern.
- **Elektronen führen zu keiner Ablenkung.** Die Begegnung von Alpha-Teilchen mit leichten Elektronen führt zu keiner merklichen Ablenkung.

Übersicht zu den Konzepten und Denkfiguren

Die wissenschaftlichen Konzepte und Denkfiguren der untersuchten Quellen besitzen eine große Übereinstimmung bei der Beschreibung der inneren Struktur des Atoms. Im Folgenden (vgl. Tab. 7) werden die Konzepte und Denkfiguren der Quellen in einer Übersicht zusammengefasst.

Tab. 7: Vorstellungen von Wissenschaftlern

Konzepte	Quelltexte
Alpha-Teilchen sind positiv geladen.	Haken & Wolf
Die Flugbahn der Alpha-Teilchen ist eine Hyperbel.	Rutherford
Atome besitzen einen Kern.	Rutherford
Der Kern von Atomen ist klein.	Holleman & Wiberg
Der Kern von Atomen ist positiv geladen.	Haken & Wolf
Der Kern enthält fast die gesamte Masse.	Haken & Wolf
Negativ geladene Elektronenhülle	Rutherford
Der Kern ist von einer räumlich ausgedehnten, leichten, negativ geladenen Elektronenhülle umgeben.	Holleman & Wiberg
Ablenkung durch positiven Kern.	Holleman & Wiberg
Die positiv geladenen Alpha-Teilchen werden durch die positive Ladung des Kerns abgelenkt.	Holleman & Wiberg
Denkfiguren	Quelltexte
Seltenheit der Ablenkung → kleiner Kern	Holleman & Wiberg
Da die Ablenkung der Alpha-Teilchen sehr selten erfolgt, kann gefolgert werden, dass ein sehr kleiner Raumteil (Kern) den Alpha-Teilchen Widerstand bietet.	Holleman & Wiberg
Große Streuwinkel → Kern enthält fast die gesamte Masse	Holleman & Wiberg
Aus den sehr großen Streuwinkel kann abgeleitet werden, dass der Kern fast die gesamte Masse des Atoms enthält und die gesamte positive Ladung.	Holleman & Wiberg
Elektronen führen zu keiner Ablenkung	Haken & Wolf
Negative, leichte Elektronen umkreisen den Kern. Die Begegnung von Alpha-Teilchen mit leichten Elektronen führt zu keiner merklichen Ablenkung.	Haken & Wolf

Quelle: Eigene Darstellung

5.5 Volumenänderungen bei realen Lösungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen

Zunächst werden allgemeine chemische und physikalische Aspekte zum partiellen molaren Volumen, dem Exzessvolumen und zu Wechselwirkungen zwischen Teilchen dargestellt. Im Anschluss werden die Lösungen Wasser/Ethanol und iso-Octan/Ethanol betrachtet, die Gegenstand der untersuchten Unterrichtseinheiten waren. Im Text werden die Fachbegriffe „Lösung“, „Mischung“ und „System“ je nach Bezugsdisziplin verwendet.

Partielles molares Volumen

Bei idealen Lösungen ergibt sich das Gesamtvolumen durch Addition der Volumina der Komponenten. Bei realen Lösungen hingegen müssen die partiellen molaren Volumina betrachtet werden (Wedler & Freund, 2012, S. 284 ff.).

Das partielle molare Volumen V_J einer Substanz J entspricht dem Beitrag dieser Substanz zum Gesamtvolumen der Mischung, bezogen auf die Stoffmenge der Substanz von 1 mol (Atkins, 2001, S. 188). Obwohl ein Mol eines Stoffes ein bestimmtes Volumen besitzt, kann dieselbe Menge dieses Stoffes in einer Mischung unterschiedlich stark zum Gesamtvolumen beitragen. Somit ändern sich die partiellen Volumina der Reinsubstanzen mit der Zusammensetzung der Mischung, da sich die unmittelbare Umgebung der Moleküle mit steigendem Anteil einer der Komponenten verändert. Nachfolgende Abbildung (9) verdeutlicht diesen grundlegenden Zusammenhang am Beispiel eines Wasser/Ethanol-Systems (Atkins, 2001, S. 189).

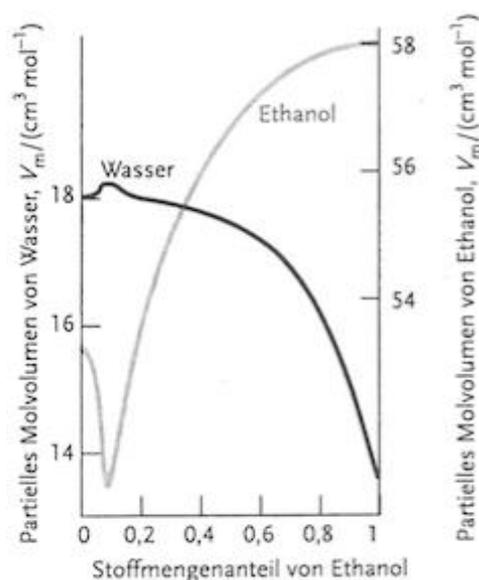


Abb. 9: Partielle Volumina des Systems Ethanol/Wasser
Quelle: Atkins, 2001, S. 189

In Bezug auf die Kurve des partiellen Molvolumens von Wasser (schwarze Linie) ist zu erkennen, dass ein Mol Wasser ein Volumen von 18 cm^3 einnimmt. Das partielle molare Volumen ist damit $18 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$. In fast reinem Ethanol beträgt das partielle molare Volumen von Wasser allerdings $14 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$. Dies bedeutet, dass bei der Zugabe von ein Mol Wasser (entspricht $18,06 \text{ cm}^3$ bei 25°C) zu einer großen Menge Wasser das Volumen der Gesamtmischung erwartungsgemäß um $18,06 \text{ cm}^3$ zunimmt. Werden $18,06 \text{ cm}^3$ Wasser jedoch zu einer großen Menge reinen Ethanols hinzugegeben, steigt das Volumen der Mischung nur um 14 cm^3 an und es kommt zum Phänomen der Volumenkontraktion der Lösung.

Das Gesamtvolumen V einer Mischung aus A und B lässt sich bei bekannten partiellen Volumina von V_A und V_B (bei gegebener Temperatur) mit den Stoffmengen n_A und n_B wie folgt berechnen (Atkins, 2001, S. 189):

$$V = n_A V_A + n_B V_B$$

Exzessvolumen

In der Praxis wird häufig mit dem Begriff des Exzessvolumens gearbeitet (Schedemann, 2013, S. 42). Das Exzessvolumen V^E einer Mischung ist abhängig von Druck, Temperatur und dem Mischungsverhältnis der Komponenten und entspricht der Differenz zwischen dem realen Volumen und dem idealen Volumen einer Mischung.

$$V^E = V_{\text{Gemisch}} - \sum V_{\text{Reinstoffe}}$$

Das Exzessvolumen ist positiv, wenn das Volumen der Mischung größer ist als das Volumen der realen Mischung (Volumenexpansion). Im umgekehrten Fall (Volumenkontraktion) ist das Exzessvolumen negativ.

Die Dichte einer Lösung kann experimentell durch Auftriebsmessung bestimmt werden (Stroppe, 2005, S. 113). Dabei wird ein Prüfkörper mit bekannter Dichte und Masse in die Lösung eingetaucht und über dessen Auftrieb die Dichte der Lösung bestimmt. Daraus kann das Exzessvolumen berechnet werden.

Generell sind die Volumeneffekte mit ca. 1-2 % Änderung relativ gering. Bei den meisten flüssigen Systemen ist das Exzessvolumen positiv. In der Regel kommt es zu einer Volumenexpansion der Lösung, weil die unterschiedlichen Moleküle der zwei Reinstoffe eine geringere Packungsdichte zur Folge haben. Ausnahmen bilden Mischungen, bei denen sich die Molekülgröße stark unterscheidet wie zum Beispiel Tetrahydrofuran/Wasser oder wenn sehr starke zwischenmolekulare Wechselwirkungen die Abstände zwischen den unterschiedlichen Molekülen verringern. Ein negatives Exzessvolumen tritt tendenziell bei Mischungen

von kleinen polaren Molekülen und größeren Molekülen mit einer polaren Gruppe auf (Okamiya, 1982; Plehn, 2012; Schedemann, 2013).

Beispiele für Systeme (nach Okamiya, 1982, S.40; Wright, 1981, S. 75):

Mit Volumenexpansion:

- Ethanol/Cyclohexan (o.A.)
- Cyclohexan/Benzol (o.A.)
- Heptan/Benzol (o.A.)
- Aceton/Hexan (bei 15°C)

Mit Volumenkontraktion:

- Ethanol/Wasser (bei 20°C)
- Pentan/Ethylbenzol (o.A.)
- Wasser/Essigsäure (bei 20°C)
- Wasser/Aceton (bei 20°C)

Wechselwirkungen zwischen Teilchen

Physikalische Eigenschaften von Stoffen wie zum Beispiel Siede- und Schmelzpunkte oder ihre Löslichkeit werden durch die Wechselwirkungen zwischen Teilchen bestimmt. Wichtige Wechselwirkungen sind: Ion-Dipol-Wechselwirkungen, Dipol-Dipol-Wechselwirkungen, London-Dispersionskräfte und Wasserstoffbrückenbindungen (Holleman & Wiberg, 2007, S. 158-165; Huheey et al., 2014, S. 535-341; Riedel & Meyer, 2013, S. 134-136; Schrader & Radmacher, 2009, S. 43-46).

Die Tabelle (8) gibt einen Überblick zu Eigenschaften der Wechselwirkungen (verändert nach Huheey et al., 2014, S. 330; Riedel & Meyer, 2013, S. 134-136).

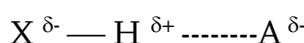
Tab. 8: Wechselwirkungen zwischen Teilchen

Art der Wechselwirkung und Bezeichnung	Relative Stärke; Reichweite	Beschreibung
Ion-Dipol	Stark, kurze Reichweite	Die Kräfte zwischen Ionen und Dipolen sind vergleichbar mit denen zwischen Ionen, nur von geringerer Stärke und Reichweite. Sie treten z.B. beim Lösen von Salzen in polaren Lösungsmitteln wie Wasser auf.
Dipol-Dipol	Mäßig stark, kurze Reichweite	Moleküle mit permanentem Dipolmoment ordnen sich antiparallel bezüglich der Ladungen an. Die gerichteten Kräfte zwischen zwei Dipolen nehmen mit der Entfernung schnell ab. Sie sind beispielsweise verantwortlich für die Struktur polarer Flüssigkeiten wie Wasser oder Ethanol.
Ion-induzierter Dipol und Dipol-induzierter Dipol	Schwach bis sehr schwach, extrem kurze Reichweite	Ein geladenes Teilchen (Ion oder Dipol) deformiert die Elektronenwolke eines benachbarten, ungeladenen Teilchens und induziert dadurch in diesem ein Dipolmoment. Die Kräfte werden z.B. bedeutsam bei Lösungen von unpolaren Substanzen in polaren Lösungsmitteln wie Methan in Wasser.
Momentan auf-tretender (fluktuerender) Dipol – induzierter Dipol	Sehr schwach, extrem kurze Reichweite	Durch statistische Schwankungen in der Ladungsdichte entstehen kurzzeitige (fluktuierende) Dipole. Diese induzieren im benachbarten Teilchen einen Dipol. Mit zunehmender Größe der Atome bzw. zunehmender Oberfläche der Moleküle und zunehmender Anzahl der verschiebbaren Elektronen nehmen die Kräfte zu. Grundsätzlich wirken zwischen allen Atomen und Molekülen die Londonkräfte. Bedeutsam sind sie v.a. für die Wechselwirkungen unpolarer Moleküle wie bei den Alkanen (z.B. iso-Octan). Die Londonkräfte erklären auch die Eigenschaften von atomar vorliegenden Stoffen wie z.B. die Siedepunkte der Edelgase.
Londonkräfte auch: Dispersionskräfte		

Die Wechselwirkungen zwischen Dipol-Dipol, Dipol-induzierter Dipol sowie die Londonkräfte werden nach IUPAC unter dem Begriff „van-der-Waals-Wechselwirkungen“ zusammengefasst (IUPAC, abgerufen am 28.7.16). Somit werden unter „van-der-Waals-Kräften“ alle intermolekularen Wechselwirkungen verstanden (Vollhardt, 2011, S. 85). In der älteren Literatur dagegen werden die Begriffe „van-der-Waals-Kräfte“ und „Londonkräfte“ zum Teil synonym verwendet (vgl. Explikation Kap. 5.3).

Wasserstoffbrückenbindungen

Gesondert betrachtet werden die Wechselwirkungen vom Typ



Diese zwischenmolekularen Wechselwirkungen sind so stark und gerichtet, dass von einer Bindung gesprochen wird. Sie werden als Wasserstoffbrückenbindungen definiert, wenn sie eine lokale Bindung darstellen und die Gruppe X-H Protonendonator gegenüber A ist (Holleman & Wiberg, 2007, S. 161; Riedel & Meyer, 2013, S. 331). In der Regel ist der Abstand der Kerne von X—H kleiner als der Abstand H-----A und der Winkel zwischen X—H und H---A ist größer als 110 Grad. Ein weiteres Merkmal der Wasserstoffbrückenbindung ist die Bindung des Wasserstoffatoms an ein elektronegatives Atom X wie z.B. Sauerstoff, Stickstoff, Fluor (IUPAC, abgerufen am 23.2.17). Die Akzeptorgruppe A besitzt leicht bewegliche Elektronen wie polarisierbare, freie Elektronenpaare eines elektronegativen Atoms (z.B. bei Wasser, Alkohole, Phenole, Ketone, Ester, Carbonsäuren, Amine) oder leicht bewegliche π -Elektronen von ungesättigten oder aromatischen Systemen (z.B. Benzol, Nitrile, Cyanide) (Geiseler, 1977, S. 14-16).

Die Stärke der Wasserstoffbrückenbindungen ist u.a. abhängig von der Differenz der Protonenaffinitäten ΔPA von X⁻ und A. Je größer ΔPA , desto geringer ist die Dissoziationsenthalpie der Wasserstoffbrückenbindungen (Riedel & Meyer, 2013, S. 331, 367). Dabei beschreibt die Protonenaffinität PA die Tendenz, ein Proton anzuziehen und damit Basizität eines Stoffes. Je höher die Basizität von X⁻ und A, desto stärker ist die Wasserstoffbrückenbindung.

Wasserstoffbrückenbindungen bilden sich zwischen Molekülen verschiedener Stoffe ebenso wie zwischen den Molekülen innerhalb eines Stoffes. In letzterem Fall ist jedes Molekül zugleich Protonendonator als auch Akzeptor. Dies trifft zum Beispiel bei Wasser oder den Alkoholen zu (Schrader & Radmacher, 2009, S. 46).

Die relativ geringe Stabilität der Wasserstoffbrückenbindungen führt zu Molekül ASSOZIATEN, wobei sich ein dynamisches Gleichgewicht zwischen Bildung und

Zerfall von Wasserstoffbrückenbindungen einstellt. Die Lage des Gleichgewichts wird von Temperatur, Druck und Konzentration beeinflusst. Die Struktur der Molekülassoziate oder Cluster zeigen unterschiedliche Geometrien (z.B. ringförmig, helical oder netzwerkartig). Der räumliche Bau von Makromolekülen wie Proteinen oder die Kristallstruktur fester Stoffe kann ebenfalls von Wasserstoffbrückenbindungen beeinflusst werden (Geiseler, 1977, S. 9; Riedel & Meyer, 2013, S. 337; Schrader & Radmacher, 2009, S. 46).

Betrachtung der Systeme Wasser/Ethanol und iso-Octan/Ethanol

Im folgenden Abschnitt werden für die Systeme Wasser/Ethanol und iso-Octan/Ethanol zunächst die Eigenschaften der Reinstoffe beschrieben und danach die Mischungen diskutiert.

Das System Wasser/Ethanol

Die Struktur von **flüssigem Wasser** ist noch nicht vollständig geklärt (Holleman & Wiberg, 2007, S. 529). Es liegen verschiedene Modelle für Wassermolekül-Aggregate (ungeordnete Cluster oder ikosaedrische Strukturen aus Wasserpentameren und -hexameren) und Modelle für dreidimensionale, unendliche Netzwerke vor (Chaplin, 2000; Holleman & Wiberg, 2007, S. 530; Ludwig, 2001; Riedel & Meyer, 2013, S. 334). Generell kann dabei jedes Wassermolekül zwei H-Atome für Wasserstoffbrückenbindungen zur Verfügung stellen (Vollhardt, 2011, S. 319).

Ethanol ist eine farblose, leicht flüchtige Flüssigkeit mit charakteristischem Geruch. Der Siedepunkt beträgt 78°C, der Schmelzpunkt -114°C. Die Dichte beträgt 0,79 g/cm³ bei 20°C (GESTIS Stoffdatenbank). Ethanol bildet im flüssigen Zustand netzartige Strukturen, in denen Wasserstoffbrückenbindungen zwischen dem Sauerstoffatom eines Moleküls und dem Hydroxy-Wasserstoffatom des nächsten Moleküls gebildet werden (Vollhardt, 2011, S. 319).

Beim Mischen von **Wasser und Ethanol** entsteht eine Lösung. Durch die hydrophile Hydroxy-Gruppe, die kleine Alkankette und die Möglichkeit zur Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen löst sich Ethanol sehr gut in einem polaren Lösungsmittel wie Wasser (Schrader & Radmacher, 2009, S. 124; Vollhardt, 2011, S. 319).

Die folgende Abbildung (10) zeigt die lösungsmittelzugängliche Oberfläche von Ethanol und Wasser in einer Balls & Sticks Darstellung. Hinweis: Die Maßstäbe der Abbildungen sind nicht exakt gleich.

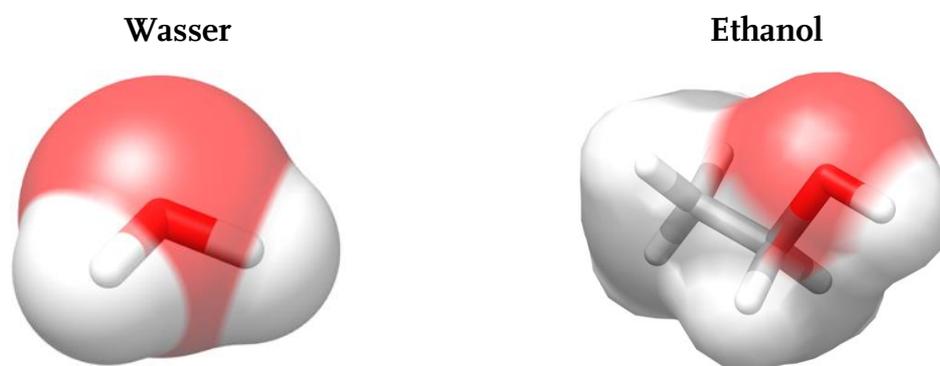


Abb. 10: Lösungsmittelzugängliche Oberfläche von Wasser und Ethanol.
Erstellt von Dr. Harald Lanig; verwendetes Programm: UCSF Chimera - a visualization system for exploratory research and analysis. Pettersen EF, Goddard TD, Huang CC, Couch GS, Greenblatt DM, Meng EC, Ferrin TE. J Comput Chem. 2004, 25, 1605-12.

Bei der Mischung von Wasser und Ethanol kommt es nach den vorliegenden, experimentellen bzw. quantenmechanisch bestimmten Daten über die spezifischen partiellen Volumina zu einer Volumenkontraktion (Atkins, 2001, S. 189; Schrader & Radmacher, 2009, S. 2009; Wedler & Freund, 2012, S. 292).

Zu den Vorgängen auf Teilchenebene kann allgemein diskutiert werden, dass bei einer Volumenkontraktion in wässrigen Lösungen Packungsdichten und Hydratationseffekte eine Rolle spielen. Die lockere Cluster-Struktur von Wasser wird beim Lösevorgang gestört und die Wassermoleküle werden durch die Hydratationseffekte dichter gepackt. Dabei wirken hydrophile Gruppen der Moleküle des zu lösenden Stoffes tendenziell volumenverringern und Alkylreste eher volumenvergrößernd (Okamiya, 1982). Gleichzeitig ändert sich auch die netzartige Struktur des reinen Ethanols. Durch Wasserstoffbrückenbindungen zwischen Wasser- und Ethanolmolekülen bilden sich Ethanol-Wasser-Cluster aus. Die Struktur der Cluster in einer Ethanol-Wasser-Mischung ist komplex und noch nicht endgültig geklärt. Es werden Kettenstrukturen beschrieben, wobei je zwei Wassermoleküle mit einem Ethanolmolekül verbunden sind (Liu, Luo, Shen, Lu, & Ni, 2006) oder Cluster untersucht, die aus Trimeren (zwei Ethanolmoleküle und ein Wassermolekül) oder Tetrameren (drei Ethanolmoleküle und ein Wassermolekül) bestehen (Mejia, Mills, Shaik, Mondragon, & Popelier, 2011). Weiterhin wurden auch Phasen mit Clustern nachgewiesen, die besonders viele Ethanol-

nol-Moleküle enthalten (Wakisaka & Matsuura, 2006). Ebenso spielt eine unvollständige Durchmischung und die Beeinflussung der Wasserstruktur durch die Aggregation von hydrophoben Alkylresten von Alkoholmolekülen eine Rolle (Dixit, Crain, Poon, Finney, & Soper, 2002). Auch in der fachdidaktischen Literatur (vgl. Kap. 6.1) werden diverse Aspekte einer Erklärung der Volumenkontraktion des Systems Ethanol/Wasser genannt: starke Dipol-Dipol-Wechselwirkungen zwischen dem ähnlich großen Ethanol- und dem Wassermolekül (Kullmann, 1994; Reiners, 2017, S. 59), Wasserstoffbrückenbindungen zwischen Ethanol und Wasser (Petermann et al., 2009, S. 22), Unterschiede in den Anziehungskräften zwischen den Teilchen der Mischungskomponenten A---A, A---B und B---B (Plehn, 2012, S. 39-40; Rossa, 2005, S. 93) sowie die Störung der Cluster-Struktur des Wassers durch polare Substanzen wie Ethanol (Baumbach, 1995, S. 159).

Nach persönlicher Kommunikation mit Dr. J. Ahlers (DDBST GmbH), Prof. Dr. S. Kuhn (KU Leuven) und Prof. Dr. M. Suhm (Georg-August-Universität Göttingen) wurde deutlich, dass eine detaillierte Erklärung der Volumenkontraktion auf Ebene der zwischenmolekularen Wechselwirkungen äußerst komplex ist. Verschiedenste Faktoren (wie z.B. Induktionseffekte, Dispersionskräfte, Packungseffekte, kooperative Effekte, Entropieeffekte) mit unterschiedlicher Auswirkung (volumenvergrößernd und -verringern) spielen eine Rolle. Aus diesem Grund wird die Auswirkung aller Kräfte in einer Mischung in der Regel experimentell über Dichtemessung der Mischung und anschließende Berechnung bestimmt. Quantenmechanische Modelle erlauben mathematische Berechnungen zu Exzessvolumina, allerdings müssen diese Vorhersagen ebenfalls experimentell überprüft werden.

Das System iso-Octan (2,2,4-Trimethylpentan)/Ethanol

iso-Octan (C_8H_{18}) ist bei Raumtemperatur eine farblose, leicht entzündbare Flüssigkeit mit benzinartigem Geruch, die kaum in Wasser löslich ist (GESTIS Stoffdatenbank).

Allgemein wirken zwischen unpolaren Alkanmolekülen die Londonkräfte, die mit steigender Molekülmasse und Oberfläche zunehmen. Die verzweigten *iso*-Octanmoleküle haben eine geringere Oberfläche als die unverzweigten *n*-Oktanmoleküle (siehe Abb. 11). Dadurch kommt es zu einer Abnahme der Londonkräfte zwischen den *iso*-Octanmolekülen, wodurch die Packungsdichte im kristallinen Zustand geringer ist. Ebenso sind die Schmelz- und Siedepunkte verzweigter Alkane geringer als die der geradkettigen Isomere (Vollhardt, 2011, S. 86).

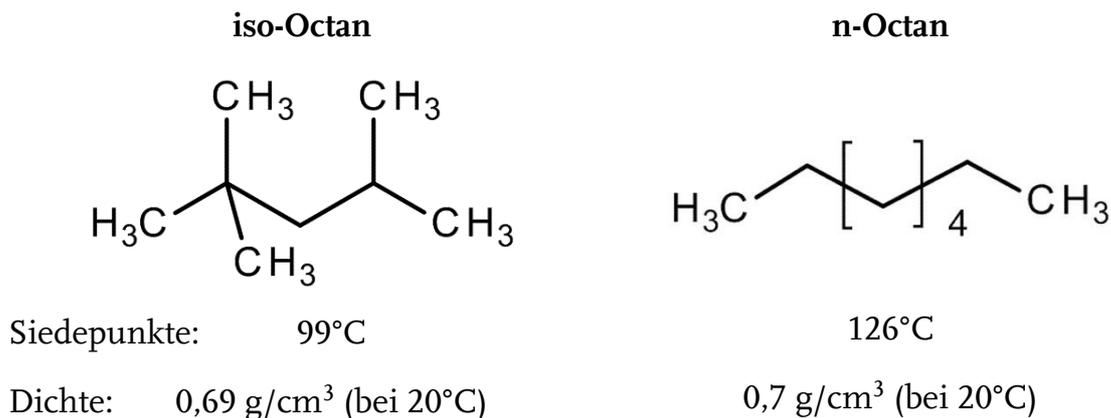


Abb. 11: Skelettformeln, Siedepunkte und Dichten von iso-Octan und n-Octan
Quelle: www.merckmillipore.com

Ethanol kann durch seine hydrophobe Alkylgruppe auch als Lösungsmittel für ein unpolares Alkan wie iso-Octan fungieren (Vollhardt, 1990, S.272).

Generell sind bei Mischungen von organischen Flüssigkeiten beide Volumeneffekte (Expansion und Kontraktion) zu beobachten (Okamiya, 1982, S. 39).

Beim **Mischen von Ethanol und iso-Octan** entsteht eine Lösung. Die folgende Abbildung (12) zeigt die lösungsmittelzugängliche Oberfläche von Ethanol und iso-Octan in einer Balls & Sticks Darstellung. Hinweis: Die Maßstäbe der Abbildungen sind nicht exakt gleich.

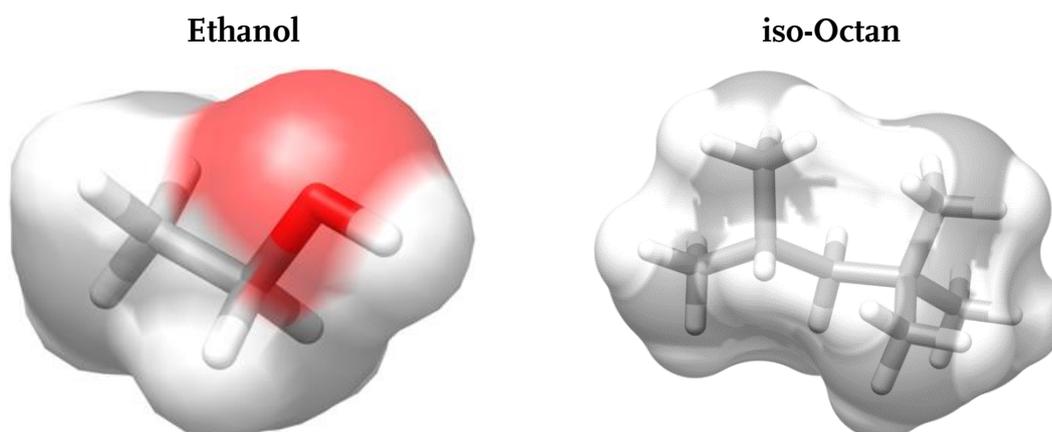


Abb. 12: Lösungsmittelzugängliche Oberfläche von Ethanol und iso-Octan.
Erstellt von Dr. Harald Lanig; verwendetes Programm: UCSF Chimera - a visualization system for exploratory research and analysis. Pettersen EF, Goddard TD, Huang CC, Couch GS, Greenblatt DM, Meng EC, Ferrin TE. J Comput Chem. 2004, 25, 1605-12.

Im Gegensatz zur Mischung Wasser/Ethanol kommt es bei einer Mischung von iso-Octan und Ethanol zu einer Volumenexpansion (vgl. Abb. 13). So wird beispielsweise bei 25,15 °C eine Mischung mit einem Stoffmengenanteil von 0,55 (Ethanol) das reale Volumen $V = 102,00800 \text{ cm}^3/\text{mol}$ gemessen. Bei $V_{\text{ideal}} = 101,64300 \text{ cm}^3/\text{mol}$ beträgt das Exzessvolumen $V^E = 0,36552 \text{ cm}^3/\text{mol}$ (Chen & Tu, 2005). Dies entspricht einer Volumenzunahme von $0,36552 \text{ cm}^3$.

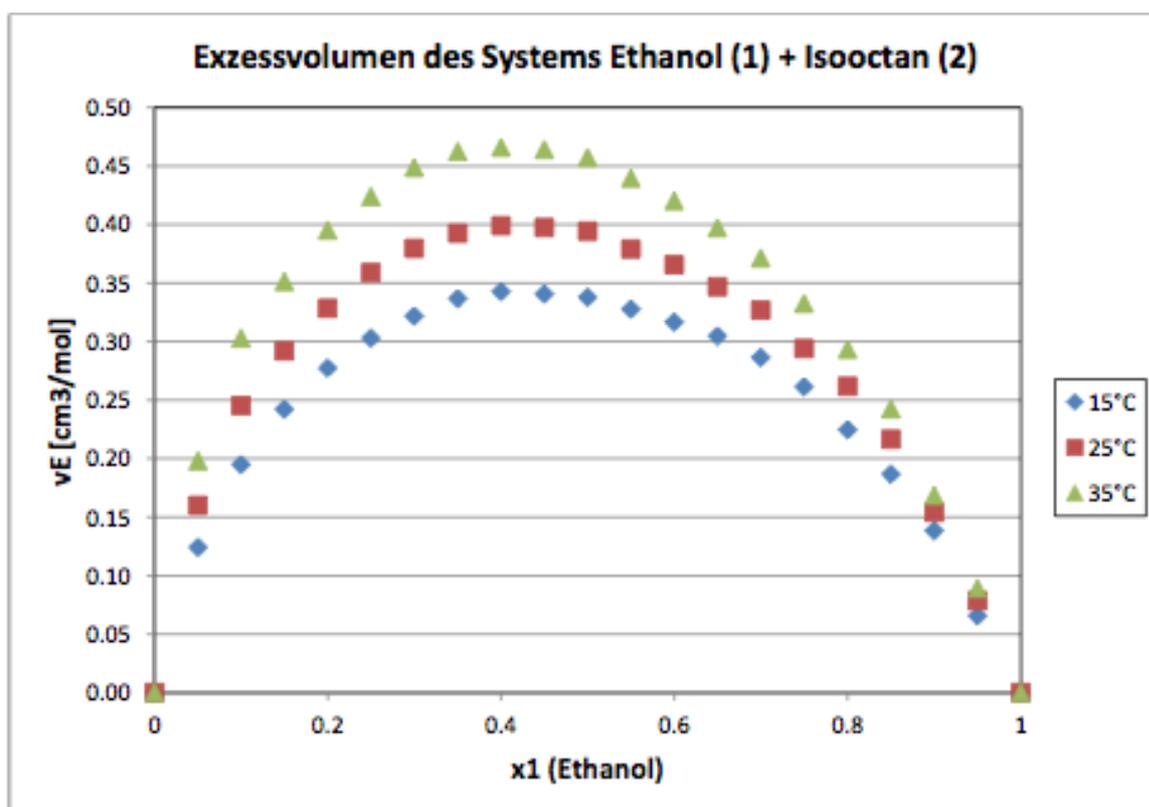


Abb. 13: Exzessvolumen des Systems Ethanol / iso-Octan

Quellen: Chen & Tu, 2005; Grafik: Dr. Jens Ahlers, DDBST GmbH

Oft kommt es zu einer Volumenexpansion einer Lösung, da die unterschiedlichen Moleküle der zwei Reinstoffe in der Regel weniger dicht gepackt vorliegen (Okamiya, 1982; Plehn, 2012; Schedemann, 2013). Eine detaillierte Erklärung der Volumenexpansion auf Ebene der zwischenmolekularen Wechselwirkungen ist äußerst komplex, da verschiedenste Faktoren (wie z.B. Induktionseffekte, Dispersionskräfte, Packungseffekte, kooperative Effekte, Entropieeffekte) mit unterschiedlicher Auswirkung (volumenvergrößernd und -verringend) eine Rolle spielen.

Zusammenfassung

Bei realen Lösungen ist das Exzessvolumen zu betrachten

Bei realen Lösungen müssen partielle molare Volumina betrachtet werden. Das Exzessvolumen beschreibt die Differenz zwischen dem realen und dem idealen Volumen einer Mischung.

Bei realen Lösungen kommt es zu einer Volumenänderung.

Je nach den partiellen Volumina ergibt sich beim Mischen zweier flüssiger Komponenten ein Exzessvolumen mit positiven Vorzeichen (entspricht einer Volumenexpansion) oder mit negativem Vorzeichen (entspricht einer Volumenkontraktion).

Die Ursachen für Volumenänderungen sind äußerst vielfältig.

Es spielen verschiedenste Faktoren (wie z.B. Packungsdichte, zwischenmolekulare Wechselwirkungen, thermodynamische Effekte) mit unterschiedlicher Auswirkung (volumenvergrößernd und -verringern) eine Rolle.

Zwischen Teilchen bestehen Wechselwirkungen.

Zwischen Teilchen eines Stoffes oder verschiedener Stoffe bestehen Wechselwirkungen, die sich in Art, Stärke und Reichweite unterscheiden. Wichtige Wechselwirkungen sind Ion-Dipol-Wechselwirkungen, Dipol-Dipol-Wechselwirkungen, London-Dispersionskräfte und Wasserstoffbrückenbindungen.

Van-der-Waals-Kräfte umfassen alle zwischenmolekularen Wechselwirkungen.

Van-der-Waals-Kräfte bezeichnen Dipol-Dipol, Dipol-induzierter Dipol und Londonkräfte. Die Atomgröße und die Oberfläche eines Moleküls beeinflussen die Stärke der van-der-Waals-Kräfte. Mit zunehmender Größe der Atome bzw. Volumen von Molekülen vergrößert sich die Oberfläche und die van-der-Waals-Kräfte nehmen zu.

Wasserstoffbrückenbindungen bilden sich zwischen Protonendonatorgruppen X—H und Protonenakzeptorgruppen A mit leicht beweglichen Elektronen wie freien Elektronenpaaren.

Wasserstoffbrückenbindungen sind starke und gerichtete zwischenmolekulare Wechselwirkungen. Sie bilden sich beispielsweise zwischen Wassermolekülen, zwischen Ethanolmolekülen und zwischen Wasser- und Ethanolmolekülen. Das Wassermolekül stellt dabei zwei Protonen zur Verfügung, das Ethanolmolekül eines.

Durch Wasserstoffbrückenbindungen bilden sich Clusterstrukturen.

Durch die Wasserstoffbrückenbindung kommt es zur Bildung von dreidimensionalen Strukturen, in denen gleiche oder verschiedene Moleküle verknüpft sind.

5.6 Konzepte von Wissenschaftlern zu Volumenänderungen bei realen Lösungen und zwischenmolekularen Kräften

Aufgrund der Fülle an fachlichen Inhalten werden nur die Konzepte und Denkfiktionen abgeleitet, die für die Analyse des Unterrichtsgesprächs (Jahrgangsstufe 11, Volumenänderungen bei Lösungen) nötig sind.

Explikation

Vorausgehend ist anzumerken, dass die fachlichen Grundlagen, die im Zusammenhang mit der untersuchten Unterrichtssequenz stehen, etliche Teilbereiche der Chemie betreffen und entsprechend in diversen Lehrbüchern verteilt sind. So beschäftigt sich die Allgemeine und Anorganische Chemie mit der Struktur von Wasser, seinen Eigenschaften als Lösungsmittel und mit den Wechselwirkungen zwischen Teilchen. In der Physikalischen Chemie werden extensive Zustandsgrößen betrachtet und Exzessvolumina thermodynamisch beschrieben. Strukturen und Eigenschaften organischer Stoffe sowie Wechselwirkungen zwischen Molekülen sind wesentliche Themen der Organischen Chemie. Die organischen Stoffe Ethanol und iso-Octan werden bei den Alkoholen bzw. Alkanen genauer charakterisiert.

Weiterhin werden verschiedene Modelle zur Erklärung von Volumenänderungen genutzt. Im Rahmen des Teilchenmodells wird mit der Teilchengröße, den Packungsdichten und den zwischenmolekularen Anziehungskräften argumentiert.

Ebenso werden mathematische und quantenmechanische Modelle angewendet, um die Volumenänderungen thermodynamisch zu beschreiben. Der vorliegende Fall (Systeme Wasser/Ethanol und iso-Octan/Ethanol) ist auch geeignet, die Grenzen des Teilchenmodells zu diskutieren (vgl. Kap. 6.1).

Inhaltlich umfassen die für die Unterrichtssequenz relevanten fachlichen Aspekte sowohl Basiswissen (wie Wechselwirkungen zwischen Teilchen, Eigenschaften von Alkoholen und Alkanen) als auch vertiefendes Detailwissen (wie die genauen Strukturen von Wasser oder die Erklärung von Volumenänderungen bei Lösungen am spezifischen Fall). Weiterhin zeigen die Beispiele „Struktur des Wassers“ oder „Clusterstrukturen des Systems Wasser/Ethanol“ den Entwicklungsprozess von Fachwissen, da diese Strukturen noch nicht völlig erforscht und geklärt sind.

In Bezug auf die verwendeten Begriffe und Termini fällt auf, dass dasselbe Phänomen aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet und in Folge davon mit unterschiedlichen Begriffen belegt wird: zum Beispiel kann man bei dem Phänomen der Volumenänderungen bei Lösungen die „partiellen molaren Volumina“ zweier Stoffe oder das „Exzessvolumen“ der Lösung untersuchen.

Weiterhin ist eine unterschiedliche Verwendung bzw. Bedeutung von Termini zu beobachten – beispielsweise aufgrund einer (zeitlichen) Veränderung von Definitionen wie bei den „van-der-Waals-Kräften“ oder wenn Synonyme gebräuchlich sind wie bei „Wasserstoffbrückenbindung“. Die „van-der-Waals-Kräfte“ sind nach dem niederländischen Physiker Johannes Diederik van der Waals (1837-1923) benannt, der im Rahmen seiner Forschungen in der Molekülphysik 1869 die Anziehungskräfte zwischen Atomen bzw. unpolaren Molekülen entdeckte (Tang & Toennies, 2010). In der älteren Literatur wurde der Terminus „van-der-Waals-Kräfte“ nur für die Londonkräfte (fluktuierender Dipol-induzierter Dipol; Anziehungskräfte zwischen Atomen und Molekülen) verwendet. Nach heutiger Definition umfasst der Terminus „van-der-Waals-Kräfte“ über die Londonkräfte hinaus alle intermolekularen Anziehungskräfte: Dipol-Dipol, Dipol-induzierter Dipol und Londonkräfte (IUPAC, abgerufen im Oktober 2016; Vollhardt, 2011, S. 85). Aus Vermittlungsperspektive betrachtet, umfasst der Terminus „van-der-Waals-Kräfte“ somit eine abstrakte und komplexe Vorstellung von verschiedenen Kräften, die zwischen Teilchen wirken. Weiterhin wird bei der Verwendung der Kräfte zur Erklärung von Stoffeigenschaften (z.B. Siedepunkte) vorwiegend mit der Anziehung argumentiert, womöglich könnte dies dazu führen, dass für Schüler der Aspekt der abstoßenden Kräfte nicht deutlich wird.

Das Substantiv „Wasserstoffbrückenbindung“ setzt sich aus „Wasserstoff“, „Brücke“ und „Bindung“ zusammen. In der Literatur sind Synonyme wie „Wasser-

stoffbrücke“ oder (seltener) „Wasserstoffbindung“ zu finden (Lexikon der Biologie, abgerufen im Oktober 2016). Der Wortteil „Bindung“ deutet an, dass diese zwischenmolekularen Kräfte durch ihre Stärke und räumliche Ausrichtung einer chemischen Bindung nahekomen (Holleman & Wiberg, 2007, 161). Zentraler Bestandteil dieser Bindung ist der Wasserstoff (einer Gruppe X-H), über den eine Art Brücke zum benachbarten Molekül gebildet wird. Im Vermittlungskontext ist zu beachten, dass der Begriff „Brücke“ bereits mit alltagsweltlichen Vorstellungen belegt ist. So nennt der Duden (Duden, Bibliographisches Institut GmbH, 2016, abgerufen im Oktober 2016) verschiedene Bedeutungen, u.a. „Bauwerk, das einen Verkehrsweg o.Ä. über ein natürliches oder künstliches Hindernis führt“, „Kommandobrücke eines Schiffes“, „an noch vorhandenen Zähnen fest verankerter Zahnersatz, der eine Lücke im Gebiss ausfüllt“, „kleiner, länglicher Teppich“. Vermutlich denken die meisten Schüler bei dem Begriff „Brücke“ zunächst an ein Bauwerk und sind damit nah an der Vorstellung einer lokalen Verbindung zwischen zwei Molekülen. Problematisch scheint für Schüler eher die Unterscheidung der Art bzw. Stärke der Bindung zu sein: so setzen Schüler zwischenmolekulare Kräfte mit kovalenten Bindungen gleich (Peterson & Treagust, 1989; Tan & Treagust, 1999, vgl. auch Kap. 6.1).

Abschließend wird auf den Begriff des „Clusters“ eingegangen, da er im untersuchten Klassengespräch der Jahrgangsstufe 11 eine besondere Rolle im Erkenntnisprozess spielte. Die Wasserstoffbrückenbindungen sind Voraussetzung für die Bildung von Clustern von unterschiedlichster Geometrie. In der chemischen Fachliteratur wird der Begriff „Cluster“ beispielsweise im Zusammenhang mit „Wasser-Clustern“ oder „Wasser-Ethanol-Cluster“ verwendet und beschreibt die Struktur einer dreidimensionalen Verknüpfung von gleichen oder verschiedenen Molekülen (Holleman & Wiberg, 2007; Mejia et al., 2011; Wakisaka & Matsuura, 2006). Der Duden gibt für „Cluster“ u.a. folgende Bedeutungen aus verschiedenen Bereichen an: „als einheitliches Ganzes zu betrachtende Menge von Einzelteilen“ (Fachsprache), „Zellwucherung, anfallweise auftretender Schmerzzustand“ (Medizin), „Klanggebilde, das durch Übereinanderstellen kleiner Intervalle entsteht“ (Musikwissenschaft), „aufeinanderfolgende ungleiche Konsonanten“ (Sprachwissenschaft). Übersetzungen von „cluster“ aus dem Englischen sind zum Beispiel: „Gruppe, Klumpen, Traube, Anhäufung, Büschel“. Hinsichtlich der Verwendung dieses Begriffes im Unterricht ist zu bedenken, dass es eine große Vielfalt sehr spezifischer Bedeutungen für diesen Begriff im Deutschen und Englischen gibt. Aufgrund dieser Spezifität ist zu überlegen, inwieweit dieser Begriff Schülern geläufig ist und einer Erklärung bedarf. Auch im untersuchten Klassengespräch wurde deutlich, dass die Vorstellung eines Clusters als dreidimensionale, lockere Struktur für Schüler schwierig sein kann. So konnten nicht alle Schüler anhand eines Informationstextes mit dem Begriff „Cluster“ argumentieren (vgl. Kap. 6.2.2.5).

Strukturierung: Abgeleitete Konzepte und Denkfiguren

In dem untersuchten Unterrichtsabschnitt der Jahrgangsstufe 11 wird die Erklärung für die Volumenkontraktion bei der Mischung von Ethanol und Wasser durch die Störung der Clusterstruktur von Wasser diskutiert. Daher werden nur die Konzepte und Denkfiguren abgeleitet, die sich auf den o.g. Inhalt beziehen. Dabei wurde die fachliche Komplexität an manchen Stellen reduziert.

Konzepte

Zwischen Molekülen bestehen Wechselwirkungen. (*)

Zwischen Wassermolekülen bilden sich Wasserstoffbrückenbindungen. (*)

Im Wasser liegen Cluster-Strukturen vor. (*)

Zwischen Ethanolmolekülen bilden sich Wasserstoffbrückenbindungen. (*)

Im Ethanol liegen netzartige Strukturen vor. (?)

Zwischen Wasser- und Ethanolmolekülen bilden sich Wasserstoffbrückenbindungen. (*)

In einer Mischung aus Ethanol und Wasser entstehen Kettenstrukturen und verschiedene Cluster. (?)

Denkfigur

Die Clusterstruktur von Wasser zerfällt

Beim Lösevorgang wird die Cluster-Struktur von Wasser gestört. Die Wassermoleküle werden durch Hydratationseffekte dichter gepackt. Dies führt zu einer Volumenkontraktion.

6 Lernerperspektiven

Die Untersuchung der Lernerperspektiven umfasst drei Teilbereiche. Zunächst werden empirische Befunden zu Lernervorstellungen und Vermittlungsprozessen reanalysiert (Kap. 6.1). Im Kap. 6.2. werden die Schülerbeiträge in den Gesprächen vor dem Hintergrund von Ko-Konstruktionsprozessen auf formaler und inhaltlicher Ebene untersucht. Das Kapitel 6.3 greift eine weitere Perspektive der Lernenden auf, indem sich Schüler zur Rolle der Lehrkraft in den Gesprächen und zu ihren individuellen Lernprozessen äußern.

6.1 Empirische Befunde zu Lernervorstellungen unter Berücksichtigung von Vermittlungsprozessen

In diesem Kapitel werden fachdidaktische Forschungsergebnisse zu Schülervorstellungen und Aspekte zur unterrichtlichen Umsetzung zusammengefasst. Inhaltlich beziehen sie sich auf die Themen der untersuchten Klassengespräche: Streuversuch von Rutherford, Kern-Hülle Modell und Volumenänderungen bei Lösungen durch zwischenmolekulare Wechselwirkungen.

6.1.1 Fragestellungen des Kapitels

Welche Befunde gibt es in der Literatur zu Vorstellungen von Lernenden zu Atomen, zwischenmolekularen Wechselwirkungen und Erklärung der Volumenkontraktion? Welche fachdidaktischen Aspekte (Teilchenkonzept, Bedeutung und Grenzen von Modellen) sind bei den Vermittlungsprozessen zu beachten?

6.1.2 Datenerhebung und -auswertung

Für die Beantwortung der Fragen wird eine Literaturrecherche zu empirischen Erhebungen durchgeführt. Die Reanalyse der Befunde wird in Anlehnung an Klauer (2006) in einer Zusammenfassung dargestellt (vgl. Kap. 4, Punkt 4.8).

6.1.3 Ergebnisse

Die Zusammenfassung beginnt mit dem Teilchenkonzept als Bezugsrahmen (Punkt 6.1.3.1), gefolgt von der Bedeutung und den Grenzen von Modellen (Punkt 6.1.3.2). Danach wird die unterrichtliche Umsetzung der Atommodelle (Punkt 6.1.3.3) und der Einsatz des Versuches zur Volumenkontraktion (Punkt 6.1.3.4) diskutiert. Es folgt eine Übersicht zur Entwicklung von Schülervorstellungen zum Teilchenkonzept (Punkt 6.1.3.5) und eine Zusammenfassung zum

Stand der Forschung über Schülervorstellungen zu spezifischen Themen wie Atomen, zwischenmolekularen Wechselwirkungen und Erklärungen der Volumenkontraktion (Punkte 6.1.3.6 und 6.1.3.7). Abschließend werden die Ergebnisse und zentrale didaktische Aussagen des Kapitels zusammengefasst (Punkt 6.1.3.8).

6.1.3.1 Das Teilchenkonzept als Bezugsrahmen

Die Vorstellungen zum Atombau und zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen sind im Bereich Chemie in das Basiskonzept Stoff-Teilchen eingebettet (KMK, 2005, S. 11). Zum Teilchenkonzept gibt es in der Chemie- und Physikdidaktik zahlreiche Forschungsarbeiten und verschiedenste didaktische Vorschläge und Empfehlungen zur unterrichtlichen Umsetzung (zum Beispiel: Albanese & Vicentini, 1997; Barke & Harsch, 2011; de Vos & Verdonk, 1996; Dierks, 1990; Duit, 1992; Eilks & Moellering, 2001; Fischler & Lichtfeldt, 1997; Harrison & Treagust, 2002; Mikelskis-Seifert & Fischler, 2003; Naumer, 1976; Pfundt, 1981; Schmidt, 2010; Treagust et al., 2013; Weninger, 1982).

Im Zusammenhang mit Scientific Literacy wird auf die Bedeutung eines Teilchenkonzepts verwiesen, auf das die naturwissenschaftlichen Fächer gemeinsam zurückgreifen können (AAAS, 2001). So beinhaltet beispielsweise das Materiekonzept Basiskonzepte aus der Physik und Chemie und inkludiert die Vorstellungen zum Aufbau der Atome und die Wechselwirkungen zwischen Teilchen (Fischler & Reiners, 2006; Hadenfeldt & Neumann, 2011). Das Konzept wird unter dem Punkt 6.1.7 genauer erläutert.

6.1.3.2 Die Bedeutung von Modellen sowie Risiken und Grenzen der Veranschaulichung

Für die Vereinfachung und Veranschaulichung der oftmals sehr abstrakten Inhalte ist im Chemieunterricht der Einsatz von (Denk-) Modellen von elementarer Bedeutung. Sie sind notwendige Voraussetzung für eine Diskussion der submikroskopischen Ursachen chemischer Phänomene (Anton, 2008, S. 151). Eine Besonderheit bei chemischen Modellen ist die Betrachtung mehrerer Ebenen. Johnstone spricht von drei Formen, die er als „chemisches Dreieck“ bezeichnet (Johnstone, 2000, S. 11). Demnach bewegt sich chemisches Denken zwischen den Themen „macro“ (was man sehen, berühren und riechen kann), „submicro“ (Atome, Moleküle, Ionen und Strukturen) und „representational“ (Symbole, Formeln, Reaktionsgleichungen). Chittleborough und Treagust sehen chemische Modelle mit zwei Zielen verbunden: einer submikroskopischen und einer makroskopischen Ebene. Die Repräsentationen im Sinne Johnstones wie Symbole oder

Reaktionsgleichungen verorten sie als Analogien dieser beiden Ebenen (Chittleborough & Treagust, 2007, S. 275). Auch das Basiskonzept Stoff-Teilchen bezieht sich auf die Unterscheidung zwischen der phänomenologischen Betrachtung von Stoffen und der Erklärung auf Teilchenebene (KMK, 2005, S. 8).

Die Betrachtung mehrerer Ebenen bei chemischen Modellen und der Wechsel eines Denkens vom Kontinuum zum Diskontinuum stellt aus fachdidaktischer Sicht eine große Herausforderung für Lernende dar und bedarf einer besonderen Beachtung im Unterricht, um Lernhindernisse zu vermeiden (Barke, 2006, S. 30; Chittleborough & Treagust, 2007, S. 275; Fischler & Reiners, 2006, S. 10; Johnstone, 2000, S. 9; Weninger, 1976, S. 44). Hier wird auch das in der Fachdidaktik seit langem diskutierte Spannungsfeld deutlich, in dem sich der Modelleinsatz bewegt (Haupt, 1990; Hört & Buck, 2003, S. 154; Rehm & Parchmann, 2009, S. 2-4; Reiners, 2003, S. 17). Zentrale Fragen sind zum Beispiel, wie komplex oder einfach ein Modell sein darf und an welcher Stelle die Veranschaulichung durch ein Modell Gefahr läuft, Lernhindernisse für Schüler zu generieren.

Weiterhin wird bei der Erklärung von Phänomenen wie zum Beispiel der Aggregatzustände oder der Volumenkontraktion auf Teilchenebene diskutiert, inwieweit die makroskopische Anschaulichkeit von Modellen die fachlich korrekte Darstellung submikroskopischer (atomarer) Ursachen beeinträchtigt (Buck, 1985; Kullmann, 1994; Plehn, 2012; Rossa, 2005, S. 93; vgl. auch Punkt 4.3.4). Im Zusammenhang mit den Grenzen der Veranschaulichung weisen Ergebnisse von Studien darauf hin, dass gerade die Gegenständlichkeit von Modellen wie zum Beispiel eines Kugelmodells oder die bildliche Darstellung von Atommodellen oder Abbildungen in Schulbüchern, in denen Atome als farbige Kugeln dargestellt werden, die Tendenz der Lernenden fördert, makroskopische Eigenschaften von Stoffen auf einzelne Teilchen zu übertragen (Duit, 1992, S. 212; Fischler & Lichtfeldt, 1997, S. 181; Kircher, 1986, S. 37). Oder Schüler folgern aus Abbildungen von Atommodellen wie dem Schalenmodell oder dem Kern-Hülle-Modell, dass diese das reale Aussehen von Atomen zeigen. Diese Vorstellung kann noch verstärkt werden, wenn Schüler annehmen, dass Atome so klein sind, dass man sie nur mit dem Mikroskop sehen kann und sich dann vorstellen, dass die Abbildungen in den Büchern den Blick durch das Mikroskop zeigen (Harrison & Treagust, 1996, S. 521).

Als Konsequenz für den Unterricht wird vorgeschlagen, Modelle hinsichtlich ihrer Grenzen und Möglichkeiten bewusst auszuwählen und einzusetzen (z.B. Atome nicht nur mit Kugeln, sondern mit Körpern anderer Form zu veranschaulichen) und im Sinne einer Modellkritik mit den Lernenden explizit die Gegenständlichkeit eines Modells und die realen Gegebenheiten zu diskutieren. Dies wird zusammenfassend in folgender Aussage deutlich, die sich auf Atommodelle bezieht: „Eine entsprechende Förderung verlangt, dass Lernende immer wieder

Gelegenheit bekommen, (...) zu lernen, mit zunächst ungewohnten Vorstellungen zu denken und kreativ-konstruktiv umzugehen. Dazu gehört es vielleicht auch akzeptieren zu können, dass man sich nicht alle Modelle wirklich vorstellen oder mit gewohnten Bildern erklären kann. Ziel einer solchen Behandlung ist folglich das Erkennen von Grenzen, nicht das (auswendig) Lernen von Modellen (...)“ (Parchmann et al., 2010, S. 65).

6.1.3.3 Atommodelle in der unterrichtlichen Umsetzung

„If (...) all of scientific knowledge were to be destroyed, and only one sentence passed on to the next generations of creatures, what statement would contain the most information in the fewest words? I believe it is the atomic hypothesis, (...) that all things are made of atoms – little particles that move around in perpetual motion, attracting each other when they are a little distance apart, but repelling upon being squeezed into one another“ (Feynman, Leighton, & Sands, 2011, S. 4). Diese Aussage Feynmans unterstreicht die grundlegende Bedeutung des Wissens um den Aufbau von Materie aus Atomen. So sind die Atommodelle auch ein zentrales Thema des naturwissenschaftlichen Unterrichts und der fachdidaktischen Forschung in der Chemie und Physik.

Für das Fach Chemie ist – auch bedingt durch die spiralförmig aufgebauten Curricula – ein Wechsel in den Modellvorstellungen zum Atombau charakteristisch. Die Abfolge der verschiedenen Atommodelle fordert von den Lernenden einen mehrfachen Wechsel der Modellvorstellungen und stellt besondere Ansprüche an ihre Abstraktionsfähigkeit (Fischler & Reiners, 2006, S. 11). In der fachdidaktischen Forschung werden daher folgende Fragen, zum Teil auch kontrovers, diskutiert: Wann und wie soll die Vorstellung eines Diskontinuums eingeführt werden? Welche Begrifflichkeiten eignen sich? Welche Vorstellungen über Atome sollen Lernende besitzen? Zielt der Unterricht auf den Prozess der Modellentwicklung zum Atombau oder stellt er die Modelle selbst in den Mittelpunkt? Welche Modelle sollen eingesetzt werden und wie abstrakt dürfen diese sein? (Rehm & Parchmann, 2009, S. 2). Gemeinsames Ziel der unterschiedlichen Denkansätze ist es, eine konsistente Abfolge mit anschlussfähigen und ausbaufähigen Modellvorstellungen zu entwickeln, die Lernhindernisse für Schüler vermeidet.

Bisher belegen weder die bestehenden theoretischen Überlegungen noch die empirischen Befunde eindeutig einen speziellen Weg einer erfolgreichen unterrichtlichen Umsetzung der Atommodelle. Somit sind Lehrkräfte angehalten, aus den verschiedenen Vorschlägen je nach den vorliegenden Lehr-Lernbedingungen einen geeigneten Unterrichtsgang für ihre Schüler auszuwählen bzw. zu entwickeln (Rehm & Parchmann, 2009, S. 2).

Viele Chemielehrkräfte bevorzugen beim Einsatz der Atommodelle eine Reihenfolge, die sich an der historischen Modellentwicklung (vgl. Kap. 5.3) orientiert und der Abfolge in den meisten Lehrplänen entspricht (Barke & Harsch, 2011, S. 141; Bindernagel & Eilks, 2009; Fischler & Reiners, 2006, S. 11; Saborowsky, 2017).

- Undifferenziertes Teilchenmodell (Demokrit, 4. Jh. v. Chr.)
- Masse-Modell (Dalton, 1808)
- Masse-Ladungs-Modell (Thomson, 1897)
- Kern-Hülle-Modell (Rutherford, 1911)
- Schalenmodell der Elektronenhülle (Bohr, 1913)
- Elektronenwolkenabstoßungsmodell (Gillespie, 1966)
- Orbitalmodell (Schrödinger et al., 1926)

Im Rahmen von Nature of Science und der naturwissenschaftlichen Modellkompetenz ist es für Lernende eine bedeutsame Erkenntnis, dass Modelle und Modellvorstellungen nicht einmalig festgelegt und unveränderlich sind, sondern sich nach wissenschaftlichem Erkenntnisstand weiterentwickeln (Lederman, 2007, S. 834; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010). Demzufolge sollten bei der Verwendung von Atommodellen im Unterricht auch der Einsatzbereich und die Grenzen diskutiert werden (Barke & Harsch, 2011, S. 148).

Folgende Tabelle (9) zeigt ausgewählte Aspekte zu unterrichtlichen Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der Modelle zum Atombau.

Tab. 9: Unterrichtsliche Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der Modelle zum Atombau

Modellnamen und Synonyme	Zentrale Aussagen für den Unterricht	Einsatzmöglichkeiten und Grenzen
Kugelteilchenmodell (Einfaches Teilchenmodell)	Stoffe sind aus kleinsten, massiven und kugelförmigen Teilchen aufgebaut. Die stete Bewegung der Teilchen nimmt mit steigender Temperatur zu.	Erklärung von Aggregatzuständen, Diffusion, Lösungsvorgängen, Reinstoffen und Stoffgemische. Nicht erklärbar ist damit die chemische Reaktion.
Atommodell nach Dalton (Masse-Modell)	Atome sind unteilbare Kugeln. Alle Atome eines Elements sind gleich. In Verbindungen sind Atome von zwei oder mehr Elementen	Erklärung der chemischen Reaktion, der Massenerhaltung, der Summenformel, des Gesetzes der konstanten Proportionen. Nicht erklärbar sind die Leitfähig-

Modellnamen und Synonyme	Zentrale Aussagen für den Unterricht	Einsatzmöglichkeiten und Grenzen
	verknüpft. Bei einer chemischen Reaktion kommt es zur Umgruppierung von Atomen.	keit von Metallen und Salzlösungen und -schmelzen, Ionenwanderung, Ionenbindung.
Atommodell nach Thomson (Rosinenkuchen-Modell)	Atome sind kugelförmig und bestehen aus gleichmäßig verteilter positiver Masse, in der sich die negativ geladenen Elektronen befinden.	Elektronen als erster Hinweis auf innere Struktur des Atoms. Nicht erklärbar sind die Beobachtungen der Experimente von Rutherford (Rückstoß von Alpha-Teilchen).
Atommodell nach Rutherford (Kern-Hülle-Modell)	Atome sind kugelförmig. Das Atom hat im Zentrum einen sehr kleinen, positiv geladenen Kern, der fast die gesamte Masse des Atoms enthält. Die Hülle enthält die negativ geladenen Elektronen, die nahezu masselos sind.	Entdeckung des Atomkerns, Einführung der Kern-Hülle-Vorstellung. Nicht erklärbar ist, weshalb die Elektronen nicht in den Kern stürzen. Ebenso kann die Bindigkeit von Atomen in Molekülen, die Ionenladungszahl und die Entstehung von Linienspektren nicht erklärt werden.
Atommodell nach Bohr (Schalenmodell der Atomhülle)	Atome sind kugelförmig. Im Kern befinden sich Protonen und Neutronen. Die Elektronen bewegen sich strahlungsfrei auf festgelegten konzentrischen Bahnen. Die Verteilung der Elektronen in den Schalen erfolgt nach bestimmten Regeln.	Erklärung der Emission- und Absorptionsspektren, der Ladungszahl der Ionen, der chemische Bindung, des Aufbau des PSE, der Redoxreaktion. Keine Angabe kann über den Ort der Elektronen gemacht werden. Molekülgeometrien können damit nicht erklärt werden.
Elektronenpaarabstoßungsmodell nach Gillespie und Nyholm (VSEPR)	Elektronenpaare sind bestrebt, den größtmöglichen Abstand voneinander einzunehmen.	Erklärung von Molekülgeometrien.

Modellnamen und Synonyme	Zentrale Aussagen für den Unterricht	Einsatzmöglichkeiten und Grenzen
Orbitalmodell (Quanten- oder wellenmechanisches Modell)	Ein Orbital ist der Raum, in dem sich ein Elektron mit hoher Wahrscheinlichkeit aufhält. Welle -Teilchen-Dualismus, Heisenbergsche Unschärferelation	Erklärung von Form und Orientierung von Orbitalen, der Hybridisierung, von Molekülgeometrien, von Gitter- und Molekülstrukturen.

Quellen: Verändert nach Barke & Harsch, 2011, S. 149; Bindernagel & Eilks, 2009; Habelitz-Tkotz, 2006

Alternativen zum historischen Gang entlang der Atommodelle bietet zum Beispiel ein didaktisches Konzept, bei dem auf die Erklärung der Aggregatzustände beim ersten einfachen Teilchenmodell verzichtet wird, um einer Verwechslung der Kugelteilchen mit Atomen zu verhindern. Weiterhin wird die Vielfalt der Modelle zugunsten einer frühzeitigen Einführung des Schalenmodells reduziert (Bindernagel & Eilks, 2009; Eilks & Moellering, 2001).

Das Kern-Hülle-Modell wird mit den Experimenten von Rutherford eingeführt

Unabhängig vom gewählten didaktischen Gang der Atommodelle gelten die Experimente von Rutherford in der Chemiedidaktik als Schlüsselversuch bei der Erarbeitung der Kern-Hülle-Vorstellung (Eilks, 2001, S. 14; Saborowsky, 2017, S. 116). Nach der Studie von Bindernagel & Eilks (2009) vermittelt die Mehrzahl der befragten Lehrkräfte (21 von 27) das Atommodell nach Rutherford. Auch bei dem fächerübergreifenden Modell zur Verständnisenwicklung von Materie (Hadenfeldt & Neumann, 2012) wird das Kern-Hülle-Modell als Beispiel für ein differenziertes Atommodell beim Übergang von einer einfachen zu einer differenzierten Teilchenvorstellung angeführt. Aufgrund der Grenzen des Kern-Hülle-Modells erfolgt nach den Experimenten von Rutherford die Überleitung zum Bohrschen Schalenmodell (Reichspfarr, 1976; Saborowsky, 2017, S. 116; Wulftange, 1976).

6.1.3.4 Der Versuch zur Volumenkontraktion und die kontroverse Diskussion seines unterrichtlichen Einsatzes

Das Phänomen der Volumenkontraktion beim Mischen von Ethanol und Wasser wird häufig im Anfangsunterricht Chemie zur Einführung der Teilchenvorstel-

lung genutzt (Petermann et al. 2009; Plehn, 2012). In einem 100 mL Standzylinder werden Ethanol und Wasser zu gleichen Teilen (je 50 mL) gemischt. Zur Erklärung der beobachtbaren Volumenkontraktion von 3 - 4 mL wird auf Teilchenebene mit kleineren und größeren Kugeln argumentiert: die kleineren Wasserpartikel füllen die Lücken zwischen den größeren Ethanolpartikeln. Zur Veranschaulichung werden je 50 mL Erbsen- und Senfkörnern (oder Kies und Sand) gemischt und als analoges Modell herangezogen.



Abb. 14: Versuch zur Volumenkontraktion

Quelle: Asselborn, W. (Hrsg.) 2012, S. 26; Fotos: H. Tegen

Der Versuch findet sich in Schulbüchern (z.B. Asselborn 2012, S.26; Deißenberg 2007, S.14; Obst 2001, S. 54; vgl. Abb. 14) und wird von Lehrkräften oft verwendet: Hört und Buck (2003) werteten 256 Fragebögen aus und stellten fest, dass bei einer vorgegebenen Auswahl von vier Versuchen zur Einführung der Teilchenvorstellung (Brownsche Molekularbewegung, Volumenkontraktion, Öltropfenversuch, Diffusion von Brom, Sonstige; Mehrfachnennungen waren möglich) der Versuch zur Volumenkontraktion von den Lehrkräften mit 44,4% am häufigsten genannt wurde (Hört & Buck, 2003, S. 146). Vermutlich wird der Versuch gerne eingesetzt, weil er einfach durchzuführen ist und das Ergebnis zuverlässig sichtbar und für die Schüler unerwartet ist und somit einen kognitiven Konflikt erzeugen kann (Plehn, 2012, S. 36).

In der fachdidaktischen Literatur wird der unterrichtliche Einsatz dieses Versuchs seit langem diskutiert (Baars & Christen, 1995; Baumbach, 1995; Buck, 1994; Hüttner, 1996; Kullmann, 1994; Müller, 1995; Petermann et al. 2009; Plehn, 2012; Reiners, 2017, S. 59; Rossa, 2005, S. 92). Zentrale Punkte der Kontroverse betreffen die Klärung der fachlichen Hintergründe und deren didaktische Reduktion, die Eignung des Versuchs zur Einführung der Diskontinuumvorstellung, die zusätzliche Verwendung des Analogiemodells „Erbsen/Senfkörner“ und damit verbunden das Für und Wider einer Veranschaulichung von Teilchen durch Kugeln sowie die fehlende bzw. notwendige Diskussion von Modellgrenzen.

Die Kritiker des Versuchs argumentieren, dass die Volumenkontraktion beim Mischen von Ethanol und Wasser ein Einzelfall ist, da es bei Mischungen grundsätzlich auch zu einer Volumenexpansion kommen kann (vgl. Okamiya, 1982). Ein Sonderfall darf nicht zur Erklärung der Teilchenvorstellung genutzt werden (Baars & Christen, 1995; Plehn, 2012). Ähnlich weist Wright (1981) darauf hin, dass es sowohl Systeme mit Volumenexpansion als auch -kontraktion gibt und bei manchen Systemen die Volumenänderung vom Mischungsverhältnis abhängt. Demnach lässt sich allein aus dem Versuch zur Mischung von Ethanol und Wasser keine Evidenz für die Existenz von Atomen und Molekülen ableiten (Wright, 1981).

Weiterhin wird angeführt, dass die Erklärung der Kontraktion mit der unterschiedlichen Teilchengröße fachlich falsch sei. Statt dessen werden als wesentliche Ursachen für das Phänomen starke Dipol-Dipol-Wechselwirkungen zwischen dem ähnlich großen Ethanol- und dem Wassermolekül (Kullmann, 1994; Reiners, 2017, S. 59), Wasserstoffbrückenbindungen zwischen Ethanol und Wasser (Petermann et al., 2009, S. 22), Unterschiede in den Anziehungskräften zwischen den Teilchen der Mischungskomponenten A---A, A---B und B---B (Plehn, 2012, S. 39-40; Rossa, 2005, S. 93) sowie die Störung der Cluster-Struktur des Wassers durch polare Substanzen wie Ethanol (Baumbach, 1995, S. 159) angeführt. Da die Volumenkontraktion nicht mit der Teilchengröße erklärbar ist, erzeugt das Modell mit Kugeln unterschiedlicher Größe keine tragfähige Schülervorstellung. In Folge trifft dies auch für das Analogiemodell „Erbsen/Senfkörner“ zu, weil sich dieses ebenso auf die Vorstellung unterschiedlich großer Teilchen stützt.

Die Diskussion der fachlichen Hintergründe führt zu einem Grundproblem der didaktischen Vereinfachung: „(...) die Frage, ob die vereinfachten Erklärungen, Modelle und Metaphern didaktisch und sachlich angemessen sind“ (Rossa, 2005, S. 93). Diesbezüglich lehnen Kritiker den Versuch ab, weil die Veranschaulichung durch das Kugelteilchenmodell und die scheinbar schlüssige Erklärung der Volumenkontraktion durch die unterschiedlich großen Kugeln zu Lasten der fachlichen Richtigkeit geht und damit Fehlvorstellungen bei Schülern fördert (Baumbach, 1995, S. 158; Buck, 1994, S. 412; Plehn, 2012, S. 37; Reiners, 2017, S. 59; Rossa, 2005, S. 93). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion weist in diesem Zusammenhang auf die Notwendigkeit der fachlichen Klärung und der Lernpotenzial-Diagnose hin, um auf dieser Grundlage lernförderliche, didaktisch rekonstruierte Unterrichtseinheiten zu entwickeln (Groß, 2004; Kattmann, 2015).

Befürworter schlagen den Versuch zur Volumenkontraktion als Hinführung zur Diskontinuumvorstellung vor (Hüttner, 1996; Petermann et al., 2009). Hüttner

führt dazu Schüleräußerungen einer hospitierten Unterrichtsstunde an, die zeigen, dass durch den Versuch ein kognitiver Konflikt – Hüttner spricht von einer Aporie des Lerners – erzeugt wurde, der für Hüttner notwendiger Ausgangspunkt für einen Konzeptwechsel ist. Insofern kann aus seiner Sicht dieser Versuch einen Teil zur Entwicklung der Diskontinuumvorstellung beitragen (Hüttner, 1996, S. 398 ff.). Auch Petermann et al. (2009) schlagen den Versuch als Einführung zur Diskontinuumvorstellung vor. Zur fachlichen Diskussion merken sie an, dass die Volumenkontraktion bei Wasser und Ethanol vor allem durch die Wasserstoffbrückenbindungen zustande kommt und bewerten aus didaktischer Sicht: „Im Sinne einer didaktischen Reduktion ist es unserer Ansicht nach allerdings durchaus vertretbar, die auftretende Volumenkontraktion mit der unterschiedlichen Teilchengröße zu erklären“ (Petermann et al., 2009, S. 22). Lediglich um die Existenz von Zwischenräumen zwischen Teilchen zu diskutieren, sieht auch der Kritiker Kullmann den Versuch als geeignet an (Kullman, 1994, S. 471).

In manchen Beiträgen wird (als Kompromiss) vorgeschlagen, zusätzlich zum Versuch zur Volumenkontraktion die Volumenexpansion von Mischungen zu zeigen, um so mit den Schülern die Grenzen des Teilchenmodells bei der Erklärung der Volumenkontraktion im Sinne einer Modellkritik zu diskutieren bzw. die Erklärungsansätze um inter- und intramolekulare Wechselwirkungen zu erweitern (Hört & Buck, 2003, S. 153; Hüttner, 1996, S. 403; Müller, 1995, S. 115; Plehn, 2012, S. 39). In der untersuchten Unterrichtssequenz in der Jahrgangsstufe 11 (Volumenänderungen bei Lösungen) wurde dieses Vorgehen gewählt.

6.1.3.5 Schülervorstellungen zum Teilchenkonzept

Aufgrund der Bedeutung eines fächerübergreifenden Modells zum Verständnis des Teilchenkonzepts werden die empirisch belegten Schülervorstellungen zum Teilchenkonzept anhand des Materiekonzeptes von Hadenfeldt & Neumann (2011) bzw. der Fassung vom 28.11.2012 (Hadenfeldt & Neumann, 2012) dargestellt. Grundlage für dieses Materiekonzept sind die Forschungsergebnisse der letzten 30 Jahre zu Teilchenvorstellungen von Schülern (Hadenfeldt & Neumann, 2011, S. 88). Die Autoren entwickelten daraus ein Modell zur Verständnissentwicklung von Materie. In fünf aufeinander aufbauenden Niveaus (Alltagsvorstellung; Hybridvorstellung; einfache Teilchenvorstellung; differenzierte Teilchenvorstellung; systemische Teilchenvorstellung) bildet das Modell vier inhaltliche Aspekte vom Verständnis der Materie (Struktur und Zusammensetzung; Physikalische Eigenschaften und Veränderungen; Chemische Reaktion; Erhaltung) ab (vgl. Tab. 10).

Für die untersuchten Unterrichtseinheiten zum Atommodell nach Rutherford und Volumenänderungen von Lösungen aufgrund zwischenmolekularer Wechselwirkungen trifft vor allem der Aspekt „Struktur und Zusammensetzung“ zu, der nachfolgend aus Hadenfeldt & Neumann (2012) zitiert wird.

Tab. 10: Modell der Verständnisentwicklung von Materie

Niveau	Allgemeines Modell	Aspekt „Struktur und Zusammensetzung“
5	<p>Systemische Teilchenvorstellung</p> <p>Die Eigenschaften von Materie entstehen durch Wechselwirkungen innerhalb eines Systems von Teilchen.</p>	<p>Systemische Teilchenvorstellung</p> <p>Schüler sind in der Lage, die Struktur komplexer Moleküle (z. B. DNA) zu beschreiben und zu erklären. Dabei thematisieren sie unter anderem Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen funktionellen Gruppen.</p> <p>Beispiele für typische Schüleräußerungen:</p> <p><i>Kohlenstoffatome können in verschiedenen Hybridisierungen vorliegen.</i></p> <p><i>Zur Darstellung dieses Moleküls werden mesomere Grenzformeln verwendet. Durch die Mesomerie ist es stabil.</i></p>
4	<p>Differenzierte Teilchenvorstellung</p> <p>Materie ist aus Teilchen (Atomen) aufgebaut, die wiederum aus weiteren Teilchen aufgebaut sind.</p>	<p>Differenzierte Teilchenvorstellung</p> <p>Schüler sind in der Lage, Teilchen unter Verwendung eines differenzierten Atommodells (z. B. Kern- Hülle, Schalenmodell) zu beschreiben. Sie unterscheiden dabei Atome und Moleküle und können zwischen verschiedenen Bindungstypen differenzieren. Schüler sind in der Lage, unterschiedliche Wechselwirkungen in ihren Erklärungen zu berücksichtigen.</p> <p>Beispiele für typische Schüleräußerungen:</p> <p><i>Ein Natriumatom hat ein Elektron auf seiner äußersten Schale.</i></p> <p><i>Von Kohlenstoff existieren unterschiedliche Isotope, die eine unterschiedliche Anzahl von Protonen im Kern haben.</i></p>

Niveau	Allgemeines Modell	Aspekt „Struktur und Zusammensetzung“
3	<p>Einfache Teilchenvorstellung</p> <p>Materie ist aus Teilchen aufgebaut, die als „letztes Teilungsstück“ aufgefasst werden.</p>	<p>Einfache Teilchenvorstellung</p> <p>Schüler verstehen unter Teilchen die Bausteine von Materie. Zwischen den Teilchen ist nichts. Die Teilchen werden häufig als „letztes Teilungsstück“ verstanden, weshalb ihnen oft makroskopische Eigenschaften zugeschrieben werden. Die Teilchen sind ständig in Bewegung, wobei der Grad der Beweglichkeit vom Aggregatzustand abhängt. Teilchen in Feststoffen werden als unbeweglich verstanden.</p> <p>Beispiele für typische Schüleräußerungen:</p> <p><i>Ein Stoff ist vollständig aus Teilchen aufgebaut.</i></p> <p><i>Die Teilchen eines Gases sind beweglicher als die Teilchen einer Flüssigkeit.</i></p>
2	<p>Hybridvorstellungen</p> <p>Materie enthält Teilchen als in einen Stoff eingebettete Entitäten. Zwischen den Teilchen ist der eigentliche Stoff.</p>	<p>Hybridvorstellungen</p> <p>Schüler verstehen unter Teilchen einen Bestandteil von Materie. Zwischen den Teilchen befindet sich der eigentliche Stoff. Die Schüler sind aber nicht in der Lage, diese Teilchenvorstellung sinnvoll zur Erklärung der Struktur und Zusammensetzung von Materie zu nutzen. Sie sind jedoch in der Lage, Stoffe in ihrer Zusammensetzung zu unterscheiden. So können sie erkennen, ob ein Stoff ein Reinstoff oder ein Gemisch ist.</p> <p>Beispiele für typische Schüleräußerungen:</p> <p><i>Zwischen Salzteilchen ist Salz.</i></p> <p><i>Teilchen sind wie Rosinen in den Stoff eingebettet.</i></p>
1	<p>Alltagsvorstellungen</p> <p>Materie ist alles, was Raum einnimmt und eine Masse hat. Materie ist ein Kontinuum, das portionierbar,</p>	<p>Alltagsvorstellungen</p> <p>Schüler beschreiben Strukturen ohne Verwendung eines Teilchenbegriffs. Sie stellen sich Materie als portionierbar, aber kontinuierlich aufgebaut vor.</p> <p>Beispiele für typische Schüleräußerungen:</p> <p><i>Die kleinsten Teilchen in Wasser sind Wassertropfen.</i></p>

Niveau	Allgemeines Modell	Aspekt „Struktur und Zusammensetzung“
	aber nicht weiter aus Teilchen aufgebaut ist. Materie kann erschaffen und vernichtet werden.	<i>Der Stuhl besteht aus Holz.</i>

Quelle: Ausschnitt aus Hadenfeldt & Neumann, 2012 (abgerufen im August 2016)

Die untersuchte Unterrichtssequenz der Jahrgangsstufe 8 („Einführung der Kern-Hülle-Vorstellung mit dem Experiment von Rutherford“) lässt sich in diesem Modell beim Übergang von der einfachen Teilchenvorstellung (Atome sind Kugeln) zur differenzierten Teilchenvorstellung (Atome bestehen aus einem Kern und einer Hülle) ansiedeln.

Die Unterrichtssequenz der Jahrgangsstufe 11 bewegt sich mit dem Thema „Volumenänderungen durch zwischenmolekulare Wechselwirkungen“ in den Bereichen differenzierte Teilchenvorstellung (Moleküle und ihre Wechselwirkungen) und systemische Teilchenvorstellung (Wechselwirkungen zwischen funktionellen Gruppen).

6.1.3.6 Schülervorstellungen zu Atomen und Wechselwirkungen zwischen Molekülen

Generell gibt es weniger Untersuchungen zu Schülervorstellungen speziell zum inneren Aufbau der Atome (Bethge, 1992, S. 215; Duit, 1992, S. 212; Wandersee et al. 1994, S. 185). Ebenso verhält es sich mit Untersuchungen zu Schülervorstellungen zu Wechselwirkungen zwischen Molekülen: meist sind diese als Einzelaspekte in Untersuchungen zum Verständnis der chemischen Bindung zu finden (Peterson & Treagust, 1989; Taber, 2002; Tan & Treagust, 1999). Im Folgenden wird eine Zusammenfassung von Studien zu den o.g. Schülervorstellungen dargestellt.

In seinem Artikel verweist Duit (1992) darauf, dass nach Untersuchungen von Schülern in der Sekundarstufe I und II das Bohrsche Atommodell die vorherrschende Vorstellung ist (Bayer, 1985; Knotte, 1975, zitiert nach Duit 1992, S. 212). Ähnliche Befunde finden sich in der Studie von Bethge (1995). Darin wurden Audioaufnahmen von Unterrichtsgesprächen aus 10 Grund- und Leistungskursen bezüglich Schülervorstellungen zu Begriffen der Atomphysik untersucht. Als

generelle Atomvorstellung der Schüler wird auch hier die Vorstellung von Elektronen, die auf Bahnen um den Kern kreisen, identifiziert, obwohl bereits ein Unterricht zur Quantenphysik erfolgt ist (Bethge, 1992, S. 226).

In einer älteren Studie wurden die Vorstellungen zum Atom von 1432 Schüler der Jahrgangsstufen 8-10 erhoben (Knote, 1975). Die Schüler sollten dabei die schriftlich gestellten Fragen in Form eines Kurzaufsatzes beantworten. Da die untersuchten Schüler der vorliegenden Arbeit sich im Unterricht erstmalig mit dem Aufbau des Atoms beschäftigen, sind aus dieser Studie vor allem die vorunterrichtlichen Vorstellungen der dreizehnjährigen Schüler zum Atom interessant. Da der Chemieunterricht damals mit der Jahrgangsstufe 9 begann, werden im Folgenden Ausschnitte der Ergebnisse zu den Schülerantworten der 8. Jahrgangsstufe (n = 433) dargestellt (S. 94-95).

Auf die Frage „Was fällt dir zum Stichwort Atom ein?“ wurden u.a. folgende Schlüsselbegriffe identifiziert (Häufigkeit in %):

- Atombombe (78%)
- kleinste Teilchen (34%)

Zur Frage „Wie sieht ein Atom aus?“ enthielten die Antworten der Dreizehnjährigen:

- Atom = Kügelchen o.ä. (49%)
- mit dem Auge nicht sichtbar, jedoch mit dem Mikroskop (45%)
- weiß nicht (32%)
- Verwechslung mit Molekül, Gitter o.ä. (27%)
- Bild nach Bohr: Punkt in der Mitte, umgeben von zwei Ellipsenbahnen (21%)
- kleinster Teil eines Stoffes (20%)
- Kern, Hülle (19%)
- Proton, Elektron, Neutron (13%)
- Erwähnung eines Modellbegriffs (0%)

Die negative Einstellung (Atombombe) resultierte vermutlich aus der Angst vor dem Missbrauch der Atomkraft, was zum Zeitpunkt der Erhebung in der gesellschaftlichen Diskussion sehr präsent war. Ein Drittel der Schüler verband mit dem Begriff „Atom“ kleinste Teilchen. Plausibel erschien es für fast die Hälfte der Schüler, dass Atome kugelförmig sind und nur mit Hilfe eines Mikroskops gesehen werden können. Ein Drittel hatte keine Vorstellung zum Atom. Jedoch werden auch vor dem Unterricht Vorstellungen vom kleinsten Teil eines Stoffes und fachliche Termini wie „Proton, Elektron, Kern, Hülle“ genannt. Knote zitiert in seinem Artikel einige Schülerantworten (S. 89). Aus diesen werden Beispiele für die Jahrgangsstufe 8 wiedergegeben: „Alles, Gegenstände, Lebewesen und

was sonst existiert, setzt sich aus Atomen zusammen.“ – „Wie ein Mini-Krümel Erde.“ – „Es hat die Form einer Kugel.“ – Ein Atom besteht aus einem Kern und Elektronen und Ionen, die ihn umkreisen.“

Eine Interview-Studie mit 48 Schülern (ca. 13-16 Jahre) untersuchte deren Vorstellungen zu Atomen (Harrison & Treagust, 1996, S. 520 ff.). Es werden Ausschnitte aus den Ergebnissen im Folgenden dargestellt. Die Prozentangaben in Klammern beziehen sich auf die Häufigkeit der Schülerantworten.

1. Größe der Atome
 - Atome kann man unter dem Mikroskop sehen (50%)
2. Aufbau der Materie
 - alle Stoffe enthalten Atome (71%)
3. Leben Atome?
 - Atome sind unbelebt (79%)
 - Atome sind lebendig, wachsen und teilen sich (21%)
4. Struktur der Atome
 - Atome sind Kugeln oder Kreise (55%)
 - Einfache Zeichnung mit Kern und Elektronen (32%)
 - Einfacher Kreis in einem Kreis (13 %)
5. Konsistenz der Atome
 - Hart, wie eine Polystyren-Kugel (54%)
 - Weich, wie ein Wollbommel mit einem harten Zentrum (38%)
6. Elektronenschalen
 - Begriff wurde genannt (27%)
 - Begriff wurde nicht verwendet (60%)
7. Elektronenwolken
 - Begriff wurde genannt (50%)
 - Begriff wurde nicht verwendet (35%)

Fast alle Schüler wussten, dass Atome äußerst klein sind und sie dachten, dass Wissenschaftler sie unter einem Mikroskop sehen können (Nr. 1). Möglicherweise suggerieren Abbildungen von Atommodellen in Schulbüchern oder anderen Medien, dass diese Zeichnungen der realen Atome sind (Harrison & Treagust, 1996, S. 521).

Die Ergebnisse (Nr. 3, 6, 7) zeigen weiterhin, dass Lernhindernisse durch Begriffe entstehen können, die in den naturwissenschaftlichen Disziplinen mit unterschiedlichen Bedeutungen verwendet werden: z.B. „Kern“ in der Biologie (Zellkern) oder in der Chemie (Atomkern). Einige Schüler kamen deshalb zum Schluss, dass sich Atome fortpflanzen und wachsen und dass sich Atomkerne teilen können oder der Atomkern eine Steuerzentrale ist. Vor dem Hintergrund der verschiedenartigen Verwendung des Begriffs „Schale“ in der Biologie oder in der Chemie stellten sich Schüler vor, dass Elektronenschalen Schalen sind, die ein Atom umgeben und schützen, wie die Schale einer Schnecke oder eines Hühnereis. Hingegen verstanden sie unter „Elektronenwolken“ Strukturen, in denen die Elektronen eingebettet sind (ebd. S. 522-523). Auf Nachfrage, was sie sich unter „Wolke“ vorstellen, antworteten Schüler beispielsweise: „Wolken am Himmel.“ und dass sie sich Elektronen wie die Wassertropfen in einer Wolke vorstellen. Die Autoren fassen zusammen, dass bei Begriffen wie „Wolke“ oder „Schale“ zahlreiche Bedeutungen aus dem Alltag vorliegen und empfehlen, dass Lehrkräfte dies bedenken, wenn sie im Unterricht Eigenschaften der Atome mit Begrifflichkeiten aus der Alltagswelt beschreiben (ebd. S. 525).

Den vielfach bestätigten Befund, dass Schülern makroskopische Eigenschaften der Stoffe auf Teilchen übertragen, zeigt auch Anderson (Andersson, 1990) mit seiner Studie mit 12-16-jährigen Schülern. So denken die Lernenden, dass Schwefelatome gelb und Kupferatome verformbar sind.

In einer weiteren Studie wurden 30 Schüler im Alter von 16-18 Jahren zu ihren Vorstellungen zu Atomen und Molekülen interviewt und 52 Vorstellungen, die von den allgemein akzeptierten wissenschaftlichen Vorstellungen abweichen, kategorisiert (Griffiths & Preston, 1992). Die Studie unterscheidet die Befragten hinsichtlich ihrer naturwissenschaftlichen Vorbildung (Anzahl der belegten Kurse in den Naturwissenschaften). Die Fragen zu Molekülen erfolgten am Beispiel des Wassermoleküls. Die Aussagen zu ihren Vorstellungen zum Atom sollten die Schüler zusätzlich mit einer Skizze veranschaulichen. Im Folgenden wird eine Auswahl an Vorstellungen, die für die untersuchten Unterrichtsgespräche relevant sind, aufgelistet. Die Unterscheidung der Schüler bzgl. naturwissenschaftlicher Vorbildung wird hier nicht abgebildet.

Zur Kategorie „Form von Molekülen“ wurden folgende Vorstellungen der Schüler identifiziert:

- Wassermoleküle einer Phase haben unterschiedliche Formen. (1/2 der Befragten äußerte diese Vorstellung)
- Temperatur hat eine Auswirkung auf die Form von Wassermolekülen. (1/3 der Befragten äußerte diese Vorstellung)
- Wassermoleküle sind flach.

- Druck hat eine Auswirkung auf die Form von Wassermolekülen.
- Die Form des Behälters (in dem sich das Wasser befindet) beeinflusst die Form der Moleküle. (Erklärung der Schüler: Weil die Flüssigkeit die Form des Behälters annimmt. oder: Moleküle im Eis sind quadratisch, weil Eiswürfel eine quadratische Form haben.)

Zur Kategorie „Bindungen zwischen Molekülen“

- Wassermoleküle im Eis berühren sich durchgehend, so dass kein Platz dazwischen ist. (1/3 der Befragten äußerte diese Vorstellung)
- Im Eis sind die Wassermoleküle in keiner Weise verbunden. (1/3 der Befragten äußerte diese Vorstellung)
- Wassermoleküle halten durch Etwas außerhalb der Moleküle zusammen.
- Hitze bewirkt, dass die Moleküle expandieren/sich ausweiten, was zu einer Vereinzelung der Moleküle beim Schmelzvorgang führt.

Zur Kategorie „Struktur von Atomen“

- Zwischen Atomen ist Materie. (1/3 der Befragten äußerte diese Vorstellung, Schüler stellten sich vor, dass zwischen den Atomen „Luft“ ist oder „verschiedenen Materialien“ oder „Gas“, „Sauerstoff“)
- Ein Atom ähnelt einer Kugel mit Komponenten darin. (Schüler zeichneten typischerweise einen Kreis mit Punkten darin.)
- Ein Atom ähnelt einer festen Kugel.
- Ein Atom schaut aus wie mehrere Punkte / Kreise.
- Elektronen bewegen sich in Bahnen.
- Atome sind flach.

Eine andere Studie beschäftigte sich mit den Vorstellungen von Schüler zu den Themen „kovalente Bindungen“ und „Strukturen von Molekülen“ (Peterson & Treagust, 1989). Die Vorstellungen von 84 Schülern (ca. 17-18 Jahre) wurden mit einem pencil-and-paper Instrument untersucht, um typische Fehlvorstellungen zu identifizieren. Im Folgenden werden Teile der Ergebnisse, die für die untersuchten Unterrichtsgespräche (Volumenänderung bei Lösungen) relevant sind, zusammengefasst.

In Bezug auf die Molekülgeometrie wurden drei Vorstellungen gefunden (Häufigkeit in Klammern): Die Form der Moleküle wird ausschließlich durch die Abstoßung der bindenden Elektronenpaare bedingt (25%). Die Form der Moleküle wird ausschließlich durch die Abstoßung der nicht-bindenden Elektronenpaare bedingt (22%). Die Polarität der Bindung im Molekül ist für die Geometrie verantwortlich (27%).

In Bezug auf die Vorstellungen zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen dachten 23% der Schüler, dass zwischenmolekulare Wechselwirkungen innerhalb eines Moleküls wirken. Für 33% der Probanden existierten starke zwischenmolekulare Kräfte in einem Gitter mit durchgehend kovalenter Bindung. Die Autoren folgern daraus, dass die untersuchten Schüler zwischenmolekulare Wechselwirkungen mit kovalenten Bindungen gleichsetzen und sich der unterschiedlichen Stärke von kovalenten Bindungen und zwischenmolekularen Wechselwirkungen nicht bewusst sind.

In einer späteren Studie wurden die Vorstellungen von 119 Schülern im Alter von 15-16 Jahren zur chemischen Bindung mit einem schriftlichen Fragebogen untersucht (Tan & Treagust, 1999). Nachfolgend werden die Ergebnisse zu den zwischenmolekularen Wechselwirkungen dargestellt. Die Zahlen in Klammern geben den Prozentsatz der Schüler an, die diese Vorstellung auswählten.

Vorstellungen zu intermolekularen Kräften

- In einem Makromolekül (mit kovalentem Gitter) bestehen starke intermolekulare Kräfte (61,8 %)
- Metalle und Nichtmetalle bilden Moleküle mit schwachen intermolekularen Kräften (24,5 %)
- Die Stärke von intermolekularen Kräften wird durch die Stärke der kovalenten Bindungen in den Molekülen bestimmt (21,4%)
- Ein Makromolekül besteht aus Molekülen mit schwachen intermolekularen Kräften (10,9 %)

Die Autoren bestätigen an etlichen Stellen die Befunde aus der Studie von Peterson und Treagust (1989) und leiten ab, dass die untersuchten Schüler Eigenschaften von zwischenmolekularen und intramolekularen Kräften verwechseln. Die Ergebnisse zeigen auch, dass Schüler die zwischenmolekularen Kräfte in einem molekularen Stoff nicht verstehen und dass sie die Stärke von zwischenmolekularen Kräften im Vergleich zu kovalenten Bindungen innerhalb eines Moleküls nicht einschätzen können.

Auch Taber (2001, 2002) untersucht in mehreren Studien Schülervorstellungen zum Atombau und der chemischen Bindung. Seinen Ergebnissen zufolge verwenden Schüler Begriffe wie „Atome“, „Ionen“, „Moleküle“ ohne die dahinterliegenden Materiestrukturen zu verstehen. So definierten Schüler Atome als „sehr kleine Moleküle“ (zitiert nach Taber, 2001, S. 133). Taber merkt auch an, dass Schüler unreflektiert die Definition von Atomen als kleinste Teilchen übernehmen, da sie zugleich beschreiben, dass diese Teilchen aus noch kleineren Strukturen (wie Neutronen, Protonen und Elektronen) aufgebaut sind (Taber, 2002, S. 92-93). In seiner Dissertation untersuchte er u.a. Vorstellungen von Schülern

zu Wasserstoffbrückenbindungen. Demnach hielten Schüler diese für eine kovalente Bindung wie in einem Methanmolekül (zitiert nach Taber, 2001, S. 142). Taber bestätigt mit seinen Befunden die Ergebnisse vorangegangener Untersuchungen.

6.1.3.7 Schülervorstellungen zur Erklärung der Volumenkontraktion

Da die untersuchten Unterrichtsgespräche zum Thema Volumenänderungen von Lösungen (Jahrgangsstufe 11) vom Versuch zur Volumenkontraktion (mit Spiritus und Wasser) und seiner Erklärung ausgehen, werden im Folgenden Ergebnisse einer Studie zu diesem Thema dargestellt (Röhneck von, 1982, S. 66-76). In der Studie wurden 26 Schüler im Alter von 11 Jahren (Realschule, Jahrgangsstufe 5) zu ihren Vorstellungen zum Versuch zur Volumenkontraktion interviewt. Die Schüler wurden nach der Demonstration des Versuches zur Erklärung aufgefordert. In einem zweiten Schritt sollten sie den Modellversuch mit Kieselsteinen und Sand für die Erklärung anwenden.

Als Ergebnis wurden drei Gruppen von Schülervorstellungen identifiziert:

- Gruppe 1: Sechs Schüler konnten den Modellversuch nicht nutzen und finden keine Erklärung für die Volumenkontraktion.
- Gruppe 2: 17 Schüler erklärten die Volumenverminderung, ohne eine Teilchenvorstellung zu nutzen. Sie stellten sich eine Stoffumwandlung vor – „Es mischt sich und dabei gibt es irgendein anderes.“ (ebd. S. 72) – oder dachten, dass der Spiritus das Wasser vernichtet: „Wahrscheinlich frisst der Spiritus ein bisschen Wasser. (...) Weil Spiritus stärker ist als Wasser.“ (ebd. S.73). Auch die Vorstellung, dass sich der Spiritus auflöst, wurde gefunden: „Der Spiritus hat sich in Luft aufgelöst.“ (ebd. S. 73). Weitere Erklärungen waren die Verdunstung des Spiritus oder dass eine Komponente eine andere aufnimmt oder sich der Spiritus zusammenzieht (S. 74).
- Gruppe 3: Drei Schüler verwendeten den Modellversuch und nutzten in der Erklärung eine Teilchenvorstellung, wobei zwei von drei Schülern dachten, dass die aufsteigenden Bläschen, die beim Mischen von Spiritus mit Wasser auftreten, ein Indiz für die Lücken zwischen Teilchen seien. Beispielsweise dachte ein Schüler, dass beim Mischen die Zwischenräume von Wasser ausgefüllt werden: „(...) wenn der Spiritus in etwas größeren Klumpen oder Mengen beisammen ist, kann das Wasser dann dazwischen“. Und er stellte sich dazu vor, dass die Zwischenräume vorher Sauerstoff enthalten, „(...) weil der Sauerstoff nach oben geht, (...) weil da kleine Bläschen

sind“ (S. 75). Der Autor merkt hier zur Optimierung der Versuchsanordnung an, dass eine Bläschenbildung nicht auftritt, wenn statt Spiritus ein 90%iger Ethanol verwendet wird. Nur eine einzige Schülerin argumentierte mit dem Teilchenmodell ohne Hinweis auf aufsteigende Bläschen.

Insgesamt lehnten 16 von 23 Schülern den angebotenen Modellversuch zur Erklärung der Volumenkontraktion mit dem Hinweis ab, dass es in Flüssigkeiten keine „Lücken“, „Ritzen“, „Zwischenräume“, „Plätze“ oder „Luft“ gäbe. Drei von fünf Schülern, die mit dem angebotenen Modellversuch argumentierten, stellten sich ebenfalls nicht einen leeren Raum zwischen Teilchen vor, sondern nahmen an, dass die aufsteigenden Bläschen ein Indiz für freiwerdende Plätze sind. Damit liefert die Studie Belege für die Schwierigkeit von Schülern, sich leeren Raum zwischen Teilchen vorzustellen (vgl. Alltags- und Hybridvorstellungen im Modell nach Hadenfeldt & Neumann, 2012, Punkt 6.1.3.5).

Die Tabelle (11) zeigt einen Überblick zu Schülervorstellungen zum Aufbau von Atomen, zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen und zur Erklärung der Volumenkontraktion.

Tab. 11: Schülervorstellungen zum Aufbau der Atome, zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen und zur Erklärung der Volumenkontraktion

Zentrale Vorstellungen	Quellen
<i>Aussehen und Aufbau der Atome</i>	
▪ Elektronen kreisen (auf Bahnen) um den Kern (Bohrsches Atommodell)	Bayer, 1985, Bethge, 1995; Duit, 1992; Knote 1975; Harrison & Treagust 1996; Griffiths & Preston 1992
▪ Atome sind kleinste Teilchen	Knote 1975; Taber 2002
▪ Atome sehen wie Kugeln / Kreise aus.	Knote 1975; Harrison & Treagust 1996; Griffiths & Preston 1992
▪ Atome kann man unter dem Mikroskop sehen	Knote 1975; Harrison & Treagust 1996;
▪ Begriffe „Kern und Hülle“ oder „Proton, Elektron, Neutron“ oder „Elektronenschalen“ und „Elektronenwolken“	Knote 1975; Harrison & Treagust 1996; Taber 2002
▪ Alle Stoffe enthalten Atome.	Harrison & Treagust 1996;

Zentrale Vorstellungen	Quellen
▪ Atome sind lebendig, wachsen und teilen sich.	Harrison & Treagust 1996;
▪ Atome sind unbelebt.	Harrison & Treagust 1996;
▪ Zwischen Atomen ist Materie.	Griffiths & Preston 1992
▪ Atome besitzen Eigenschaften der Stoffe. Schwefelatome sind gelb, Kupferatome sind verformbar.	Andersson 1990
<i>Form und Geometrie von Molekülen</i>	
▪ Moleküle haben eine unterschiedliche Form in Abhängigkeit vom Aggregatzustand des Stoffes	Griffiths & Preston 1992;
▪ Temperatur und Druck haben eine Auswirkung auf die Form von Molekülen. Hitze bewirkt, dass sich Moleküle ausweiten.	Griffiths & Preston 1992
▪ Die Form des Behälters beeinflusst die Form der Moleküle.	Griffiths & Preston 1992
▪ Die Geometrie von Molekülen wird ausschließlich durch Abstoßung der bindenden / nicht bindenden Elektronenpaare bedingt.	Peterson & Treagust 1989
▪ Die Polarität der Bindung im Molekül ist für die Geometrie verantwortlich.	Peterson & Treagust 1989
<i>Zwischenmolekulare Kräfte</i>	
▪ Wassermoleküle im Eis berühren sich durchgehend. / Im Eis sind Wassermoleküle nicht verbunden.	Griffiths & Preston 1992
▪ Zwischenmolekulare Kräfte wirken innerhalb eines Moleküls.	Peterson & Treagust 1989
▪ Zwischenmolekulare Kräfte wirken in einem Stoff mit kovalentem Gitteraufbau → zwischenmolekulare Kräfte werden mit kovalenten Bindungen gleichgesetzt.	Peterson & Treagust 1989; Tan & Treagust 1999, Taber 2001
▪ Unterschiedliche Stärke von kovalenten Bindungen und zwischenmolekularen Kräften wird nicht erkannt.	Peterson & Treagust 1989, Tan & Treagust 1999

Zentrale Vorstellungen**Quellen**

- Die Stärke von zwischenmolekularen Kräften wird durch die Stärke der kovalenten Bindungen im Molekül bestimmt.

Tan & Treagust 1999

Erklärung der Volumenkontraktion

- Es findet eine Stoffumwandlung statt.
- Der Spiritus vernichtet das Wasser.
- Der Spiritus löst sich auf, verdunstet oder zieht sich zusammen.
- Eine Komponente nimmt die andere auf.
- Sichtbare Bläschen sind aufsteigender Sauerstoff, der zuvor in Zwischenräumen zwischen Spiritusteilchen war. Das Wasser füllt die Zwischenräume aus.

Von Röhneck 1982

Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenfassung und Fazit

- Ein gemeinsames Teilchenkonzept für die Naturwissenschaften ist erstrebenswert. Ein solches Konzept kann die Grundlage für eine identische Verwendung zentraler Begrifflichkeiten in den verschiedenen Fächern bilden.
- Für Schülervorstellungen zum Teilchenkonzept wurde ein gemeinsames Modell für die Naturwissenschaften entwickelt, das eine mögliche Verständnisentwicklung zum Aufbau der Materie aufzeigt. Mit Hilfe des Modells können Lernervorstellungen eingeordnet werden.
- Ein zentrales Thema didaktischer Untersuchungen ist die Behandlung der Teilchenvorstellung und der Atommodelle. Einige Aspekte werden kontrovers diskutiert. Bisher gibt es weder empirische Befunde noch theoretische Überlegungen, die einen einzigen Weg der unterrichtlichen Umsetzung als erfolgreich ansehen.
- Die Veranschaulichung abstrakter Lerninhalte durch Modelle ist notwendig, birgt aber mitunter auch das Risiko, bei Schülern Fehlvorstellungen zu verursachen.
- Für das Fach Chemie ist ein Wechsel der Vorstellungen zum Atombau charakteristisch. Um Lernhindernisse zu vermeiden, ist eine bewusste Auswahl der Darstellungen und eine Diskussion der Modellgrenzen wichtig.

- Das Atommodell nach Rutherford besitzt eine zentrale Bedeutung, um die Kern-Hülle-Vorstellung einzuführen.
- Der Versuch zur Volumenkontraktion wird in seinem unterrichtlichen Einsatz kontrovers diskutiert. Der Eignung zur Hinführung zur Teilchenvorstellung steht der Vorwurf der fachlich irreführenden Vereinfachung gegenüber. Ein Kompromiss könnte sein, anhand des Phänomens der Volumenexpansion die Grenzen dieses Modellversuches zu diskutieren und die Erklärungsansätze zu erweitern.
- Schüler besitzen auch zu sehr abstrakten Themen wie dem Aufbau der Atome vorunterrichtliche Vorstellungen.
- Zum Aufbau der Atome und zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen sind einige Schülervorstellungen empirisch belegt. Sie geben Hinweise, an welchen Stellen Verständnisschwierigkeiten zu erwarten sind.
- Aus Schüleraussagen zur Erklärung der Volumenkontraktion ergeben sich Hinweise, dass Schüler Schwierigkeiten haben, sich Teilchen und einen leeren Raum dazwischen vorzustellen.

6.2 Untersuchung der Ko-Konstruktionsprozesse in den Gesprächen

In diesem Kapitel werden die Gespräche hinsichtlich der Ko-Konstruktionsprozesse auf formaler und inhaltlicher Ebene untersucht. Die Analyse der formalen Ebene (Kap. 6.2.1) zeigt auf, ob Gesprächsbeiträge durch ihre Funktion zu einem erfolgreichen Ko-Konstruktionsprozess beitragen. Die Betrachtung der inhaltlichen Ebene (Kap. 6.2.2) nimmt die Entwicklung und Veränderung von Schülervorstellungen in den Blick.

6.2.1 Formale Analyse der Ko-Konstruktionsprozesse

Die Gespräche in den Jahrgangsstufen 8 und 11 werden anhand von Kriterien aus der Literatur untersucht. Dabei wird das Kategoriensystem auch auf Beiträge der Lehrkraft angewendet und um zwei neue Kategorien erweitert. Die Ergebnisse zeigen die dialogische Feinstruktur der Gespräche sowie die Anzahl und Verteilung der Fundstellen. Identifizierte Gesprächsmuster geben Hinweise auf Zusammenhänge zwischen Lehreraktivitäten und Schülerbeiträgen.

6.2.1.1 Fragestellungen des Kapitels

Welche formalen Funktionen können den Gesprächsbeiträgen von Schülern und der Lehrkraft zugeordnet werden? Gibt es Unterschiede oder Gemeinsamkeiten

in Bezug auf die Verteilung der formalen Funktionen und der Häufigkeit der Fundstellen? Lassen sich Muster identifizieren?

6.2.1.2 Datenerhebung und -auswertung

Die redigierten Transkripte der Gespräche werden mit der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015, vgl. Kap. 4, Punkt 4.8) ausgewertet. Als Analyseform wird die deduktive Kategorienbildung genutzt, da aus der Literatur bereits Kategoriensysteme für die formale Analyse von ko-konstruktiven Gesprächen vorliegen (vgl. Kap. 2.4.4). Die genaue Ableitung und Anwendung des Kategoriensystems wird im Folgenden dargestellt.

Ableitung des Kategoriensystems

In der Unterrichtsforschung wird vielfach die dialogische Struktur von ko-konstruktiven Gesprächen untersucht (vgl. Kap. 2.4.4). Es wurde gezeigt, dass bei erfolgreichen Ko-Konstruktionsprozessen die Gesprächsbeiträge bestimmte Funktionen erfüllen. Das umfangreiche Kategoriensystem von Barnes und Todd (1995) wurde in ähnlicher Weise bestätigt (z.B. Damsa & Ludvigsen, 2016) und wird in den fünf beschriebenen Dimensionen (Initiieren, Fortführen, Ausarbeiten, Überprüfen, Rückmeldung) für diese Arbeit genutzt. Zur Ableitung des Kategoriensystems aus Theorie und eigenen Ergebnissen werden zwei Schritte durchgeführt:

1. Die Dimensionen und ihre Ausprägungen von Barnes und Todd (1995) werden gekürzt, präzisiert und somit für das vorliegende Material angepasst und konkretisiert.
2. Da die Kategoriensysteme von Barnes und Todd (1995) sowie von Damsa und Ludvigsen (2016) ausschließlich Beiträge der Lernenden betrachten und in dieser Arbeit auch die Beiträge der Lehrkraft untersucht werden sollen, wird das Kategoriensystem auf Grundlage der eigenen Ergebnisse (vgl. Kap. 7, Ergebnisse der Lehrerinterviews) erweitert. Hierzu werden die ermittelten Ziele der Lehrkraft im Umgang mit Schülervorstellungen auf ihre Funktion innerhalb von ko-konstruktiven Gesprächen überprüft. Dabei zeigt sich, dass einige von der Lehrkraft benannten Ziele und deren methodische Umsetzung Funktionen nach Barnes und Todd (1995) übernehmen und somit in das bestehende Kategoriensystem eingearbeitet werden können. Andere Ziele der Lehrkraft besitzen Funktionen, die von Barnes und Todd (1995) noch nicht benannt wurden und erweitern deshalb als neue Dimensionen das Kategoriensystem.

Die konkreten Schritte der Prozesse 1) und 2) werden im nachfolgenden Text pro Kategorie erläutert. Die Beschreibung der Kategorien befindet sich im Anhang.

Die Ziffern bei den genannten Zielen beziehen sich auf den Ergebnisteil im Kapitel 7.3. Die Fundstellen der Zitate beziehen sich auf die Zeitangaben im Videoausschnitt. Die Vornamen von Schülern wurden geändert.

Die **Kategorie „Initiieren“** wird durch die explizite Eröffnung des Gespräches durch die Lehrkraft erweitert. Dies entspricht dem Ziel I.1, Schülerdiskussionen bewusst zu fördern oder die Aufforderung der Lehrkraft, einen Beitrag (erneut) einzubringen erweitert. Außerdem wird Sprechakten der Lehrkraft, die das Aktivieren von Schülervorstellungen zum Ziel haben (IV.1), ebenfalls eine initiiierende Funktion zugeordnet.

Bei der **Kategorie „Fortführen“** werden die Ausprägungen von Barnes & Todd (1995) übernommen und präzisiert. So wird „Erweitern“ kodiert, wenn ein Aspekt eines vorherigen Beitrags aufgegriffen und erweitert oder vertieft wird und „Fortfahren“ oder „Anknüpfen“ wird zugeordnet, wenn ausgehend vom vorherigen Beitrag ein neuer Aspekt eingebracht und damit angeknüpft wird. Dabei ist zu beachten, dass das „Erweitern“ auch Teil der Kategorie „Ausarbeiten“ ist. Auch das Ziel (IV.4) der Lehrkraft, an Vorstellungen der Schüler anzuknüpfen, wird in diese Kategorie eingeordnet. Zusätzlich wird die Weitergabe des Rederechts durch Schüler (z.B. Meldekette) oder das Erteilen des Rederechts durch die Lehrkraft (z.B. durch Aufrufen) als fortführende Strategie (Ziel I.1) in einer weiteren Dimension erfasst.

Beiträge der **Kategorie „Ausarbeitung“** beziehen sich auf eine oder mehrere ausgewählte Ideen, die ausgearbeitet oder differenziert werden. Zusätzlich werden in dieser Kategorie Schüleraktivitäten durch die Aufforderung der Lehrkraft zum Ausarbeiten ergänzt (Ziel IV.4). Dazu zählt auch das Vergleichen von Ideen, da dieses zu einer vertiefenden Betrachtung der Ideen beiträgt. Außerdem werden Lehrererklärungen, die ausschließlich von der Lehrkraft geleistet werden, als weitere Ausprägung mit aufgenommen (Ziel IV.6).

In der **Kategorie „Überprüfen“** werden die Ausprägungen von Barnes und Todd (1995) übernommen. Auch hier können eigene Ergebnisse über die Ziele der Lehrkraft ergänzt werden. So ist eine Funktion des „Umwälzens“ von Vorstellungen (Ziel IV.5) der Hinweis der Lehrkraft, dass Widersprüche bestehen oder verschiedene Meinungen in der Klasse vorhanden sind, wodurch das Überprüfen einer Idee gefördert wird. Aufgrund der eigenen Ergebnisse wird dieser Kategorie noch eine weitere Ausprägung hinzugefügt, die sich ausschließlich auf Beiträge der Lehrkraft bezieht: Aus Sicht der Lehrkraft kann eine Schüleridee überprüft werden, um die weitere Lenkung des Gespräches zu planen (Ziel II.1, Diagnose). Beispielsweise durch gezieltes Nachfragen oder den Auftrag, die geäußerte Idee genauer zu erklären.

In die **Kategorie „Rückmeldung“** von der Kategorie „Überprüfen“ werden Beiträge eingeordnet, die einen bestätigenden oder falsifizierenden Charakter haben. Weiterführende Hinweise, die idealerweise von der Lehrkraft hinzugefügt werden, sind hier subsummiert (vgl. Kap. 2; Seidel, 2006a). Letzteres deckt sich mit dem Ziel der Lehrkraft, eine Rückmeldung zu Vorstellungen der Schüler durch Überformen, Zusammenfassen oder Spiegeln zu geben (Ziel IV.7).

Neu hinzugefügt wird aufgrund der eigenen Ergebnisse die **Kategorie „Fokussieren und Strukturieren“**, die ausschließlich Beiträge der Lehrkraft beschreibt. Durch gezieltes Fokussieren und Hilfestellungen der Lehrkraft erfolgt eine Strukturierung, die zu einer Abstraktion im Gespräch führt, bei der übergeordnete Denkweisen oder Vorgehensweisen bei Lösungsprozessen sichtbar werden (Ziel IV.3). Außerdem werden hier Gesprächsbeiträge der Lehrkraft erfasst, die auf ausgewählte, tragfähige Schülervorstellungen fokussieren (Ziel IV.2). Letzteres wird auch durch die Kategorie „Gesprächsfokus verschieben oder festlegen“ von Damsa und Ludvigsen (2016) gestützt.

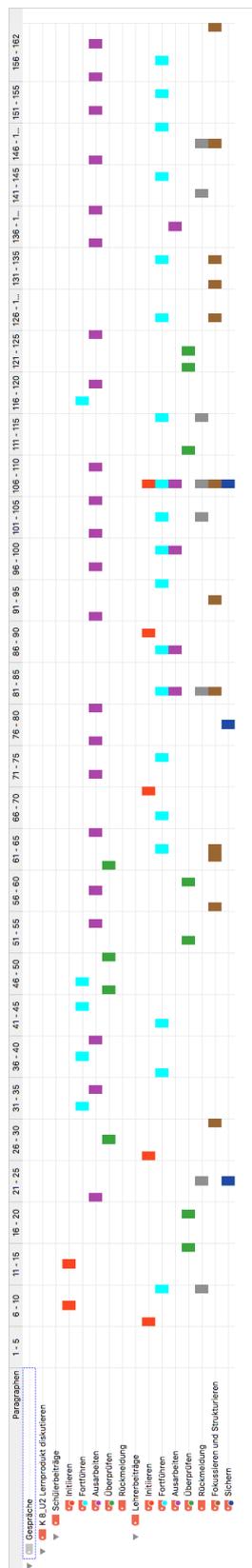
Als weitere neue **Kategorie** wird **„Sichern“** ergänzt, da dies nach den Ergebnissen der Lehrerinterviews eine wichtige lenkende Aktivität der Lehrkraft darstellt (vgl. Ziel II.1, Stichwort „Plateau“). Sichernde Beiträge der Lehrkraft fordern Schüler auf, ihren Erkenntnisstand in eigene Worte zu fassen oder den Lernzugewinn zu definieren oder das Ergebnis des Klassengesprächs zusammenzufassen (Ziele II.1 und IV.5). Zusammenfassungen durch die Lehrkraft werden ebenfalls in dieser Kategorie erfasst. Die entsprechenden Antworten der Schüler auf diese Aufträge hin werden bei der Dimension „Ausarbeiten“ einsortiert, weil die Schüler die Inhalte in diesem Fall präzisieren und das eigene Verständnis vertieft darstellen.

6.2.1.3 Ergebnisse – Formale Analyse

Die Grafiken (Abb. 15 und 16) zur dialogischen Feinstruktur wurden mit einer QDA-Software erstellt. Die Ziffernleiste (Paragraphen) verdeutlicht den zeitlichen Verlauf von links (Beginn des Gesprächs) nach rechts (Ende des Gesprächs). Die Ziffern beziehen sich auf die Zeilen im Transkript. Ganz links sind die Dimensionen der Kategorie aufgeführt. Die Farbe der Rechtecke zeigt die Zugehörigkeit zur Dimension. Untereinanderliegende Rechtecke entstehen bei zwei oder mehr Kodierungen innerhalb eines Absatzes. Die unterschiedliche Länge der Rechtecke bei Grafik K8-U2 und K11-U2 kommt durch die unterschiedliche Gesamtlänge der Gespräche (und der layouttechnischen Anpassung auf die Seitenbreite) zustande und transportiert keine inhaltliche Information. K8-U2 bedeutet: Klasse 8, Unterrichtsphase 2 (analog für K11-U2).

Dialogische Feinstruktur zur formalen Funktion der Gesprächsbeiträge

K8-U2



K11-U2

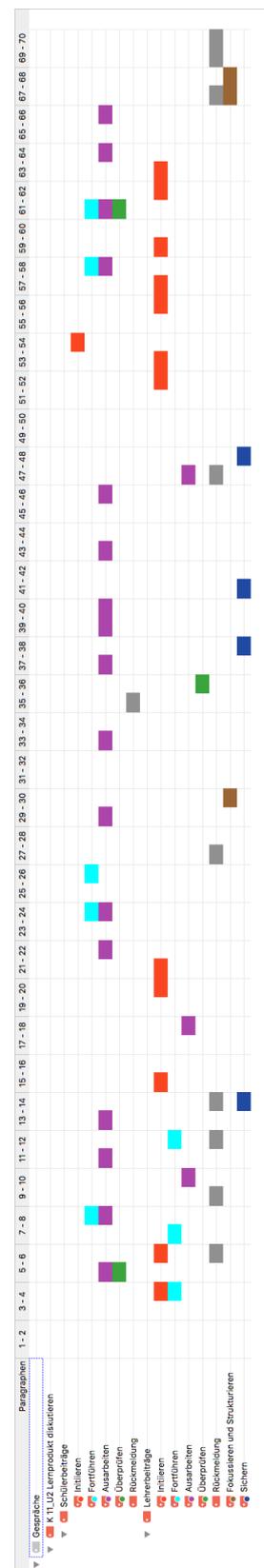


Abb. 15: Dialogische Feinstruktur K8-U2
Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 16: Dialogische Feinstruktur K11-U2
Quelle: Eigene Darstellung

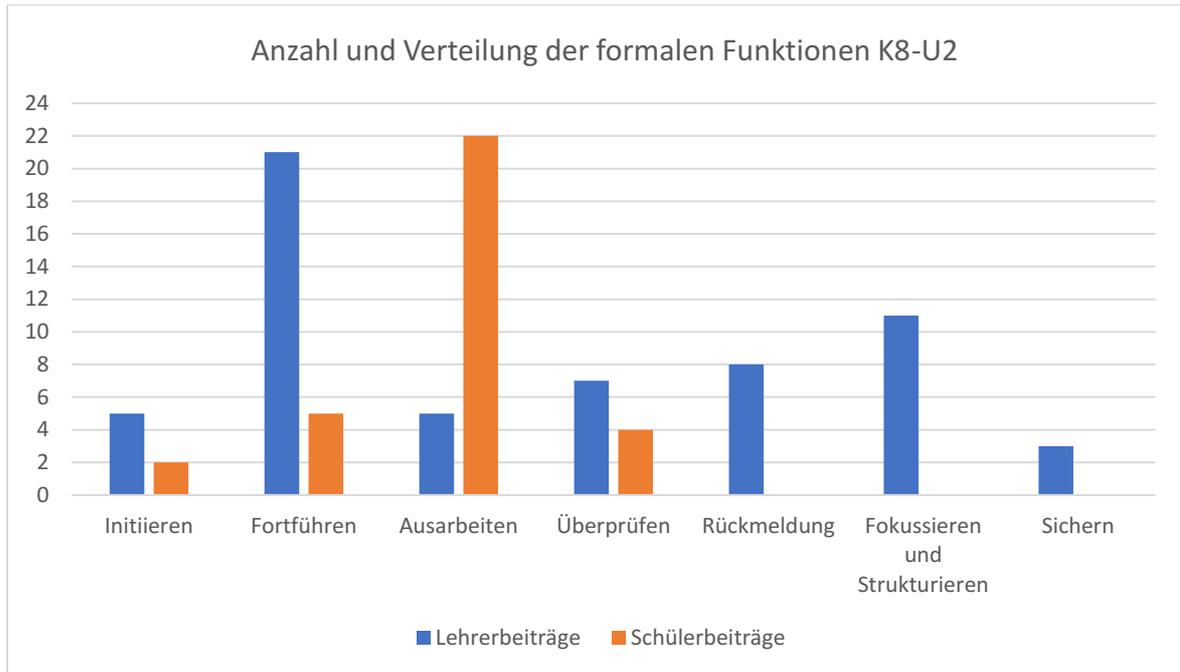


Abb. 17: Anzahl und Verteilung formaler Funktionen K8-U2
Quelle: Eigene Darstellung

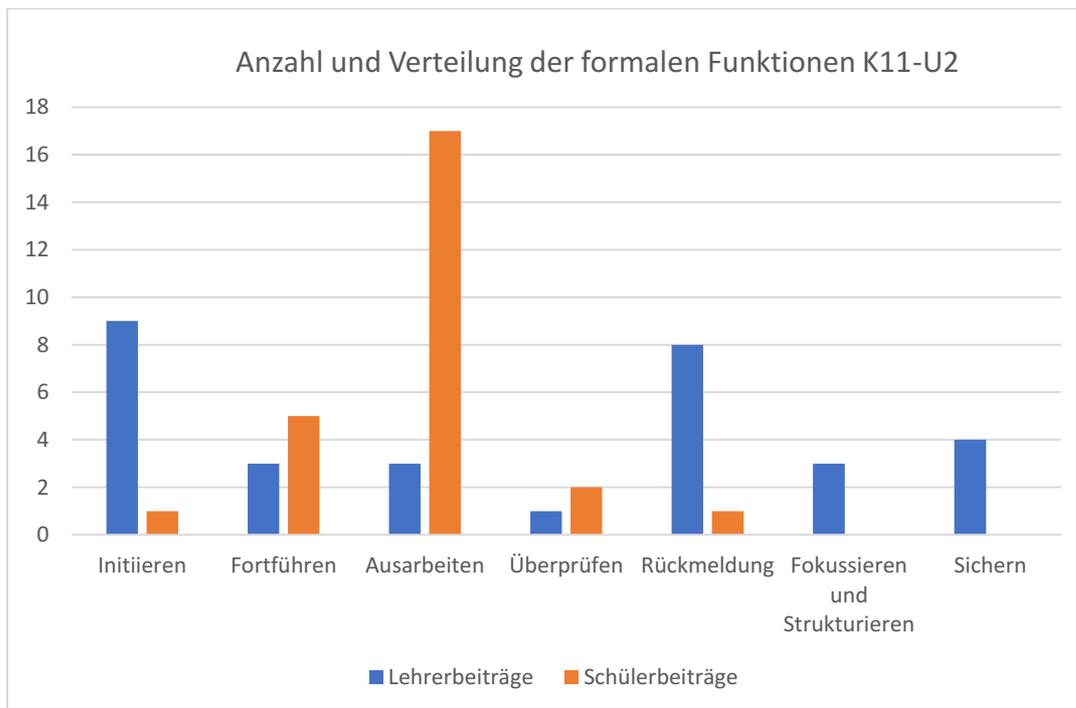


Abb. 18: Anzahl und Verteilung formaler Funktionen K11-U2
Quelle: Eigene Darstellung

6.2.1.4 Diskussion der Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Gespräche in beiden Jahrgangsstufen zusammenfassend diskutiert.

Formale Merkmale ko-konstruktiver Gespräche

Generell zeigt die Anzahl und Verteilung der formalen Funktionen, dass in beiden Gesprächen (K8-U2 und K11-U2; vgl. Abb. 17 und 18) in nahezu allen Kategorien der Schüler (Initiieren, Fortführen, Ausarbeiten, Überprüfen und Rückmeldung) Beiträge vorhanden sind. Einzige Ausnahme bildet die Kategorie „Rückmeldung“ in der K8, bei der kein Beitrag auf Schülerseite zu verzeichnen war. Den erörterten Studien zufolge (Barnes & Todd, 1995; Damşa & Ludvigsen, 2016; vgl. Kap. 2.4.3) zeigen somit die untersuchten Gespräche die formalen Merkmale von erfolgreichen ko-konstruktiven Prozessen, da hierfür initiiierende, fortführende, ausarbeitende, überprüfende und rückmeldende Beiträgen charakteristisch sind. Das Fehlen von rückmeldenden Schülerbeiträgen in der Jahrgangsstufe 8 ist vermutlich durch den Einzelfall bedingt.

Lehreraktivitäten

In Bezug auf die Lehrkraft ist zu erkennen, dass sie in beiden Gesprächen mit Beiträgen aus allen Kategorien beteiligt ist (vgl. Abb. 17 und 18) und dadurch, wie in der Literatur empfohlen wird, an vielen Stellen das Schülergespräch aktiv beeinflusst (vgl. Kap. 2.5.2). Diese lenkenden Aktivitäten sind vor allem in den Kategorien „Ausarbeiten“ sowie „Fokussieren und Strukturieren“ enthalten. Im ersten Fall besteht der überwiegende Teil der Beiträge in Aufforderungen an die Schüler zum Ausarbeiten, wie zum Beispiel: „Wie erklärt ihr jetzt die Kontraktion?“ [K11-U2; 03:19 - 03:37] oder „Sucht nochmal die entsprechenden Informationen heraus, die Bastian verwendet hat!“ [K8-U2; 08:07-8 - 08:30-7]. Mit dem Fokussieren wird die inhaltliche Richtung des Gespräches beeinflusst, zum Beispiel lauten entsprechende Beiträge der Lehrkraft: „Bezieht euch auf das, was Jonas sagt!“ [K8-U2; 03:37-1 - 03:38-1] oder „Ich setze euch eine Lupe: Schaut euch das an – (*Lehrkraft kreist Atomkern auf der Abbildung ein*) und erklärt“ [K8-U2; 14:13-4 - 14:48-7]. Der referierende Bezug auf Schülerbeiträge fördert den Diskurs im Gespräch (vgl. Kap. 2.5.2) und Hinweise auf zentrale Inhalte führen zu effektiven und zielgerichteten Gesprächen, was auch in den Aussagen der Schüler deutlich wird (vgl. Kap. 5.2). Darüber hinaus sind fokussierende und strukturierenden Aktivitäten Scaffolding-Maßnahmen im Sinne des Hervorhebens von Schülerbeiträgen, die für die Klärung der Sachverhalte wichtig sind (vgl. Kap. 2.1.2).

Auch rückmeldende Beiträge sind auf Lehrerseite häufiger zu verzeichnen. Zum einen treten Rückmeldungen mit weiterführenden Anmerkungen auf, zum Beispiel: „Mhm. Du hast jetzt schon etwas geschlussfolgert, über die Gestalt der Hülle. Die Information steht hier (*im Wissensbaustein*) nicht (...)“ [K8-U2; 10:39-3 - 10:55-3]. Solche positiv-konstruktiven Rückmeldungen durch die Lehrkraft fördern den Lernprozess und ermutigen Schüler, sich in die Diskussion einzubringen (vgl. Kap. 2.5.2). Zum anderen beginnt die Lehrkraft viele Beiträge mit bestätigenden Wörtern wie „Mhm“ oder „Okay“ und gibt im weiteren Satz das Gespräch wieder zurück an die Schüler. Hintergrund dieser knappen Anmerkungen ist nach eigenen Aussagen das Bestreben, den Fluss der Schülerdiskussion möglichst nicht durch längere Lehrerkommentare zu unterbrechen, sondern sich bei den Ko-Konstruktionsprozessen der Schüler zurückzunehmen (vgl. Kap. 7.2, Ziele I.1 und I.2). Zugleich wird durch dieses Vorgehen eine kleinschrittige Lenkung, wie sie typischerweise im IRF-Muster (vgl. Kap. 2.5.1) auftritt, vermieden.

Das Ziel, die Diskussion zwischen den Schülern zu fördern, wird auch in den Kategorien „Initiieren“ und „Fortführen“ deutlich. In beiden Jahrgangsstufen sind hier Schwerpunkte der Lehreraktivität zu verzeichnen. Typische initiierende Sprechakte sind zum Beispiel einleitende Sätze zur Präsentation von Schülervorstellungen wie: „So, ich bin gespannt auf eure Ergebnisse. Wir beginnen mit der Volumenkontraktion und als Erster präsentiert Frank“ [K11-U2; 00:01 - 00:09]. Fortführende Aktivitäten sind das Aufrufen von Schülern oder der Verweis auf weitere Meldungen wie: „Okay. Es gibt noch mehr Meinungen. Gib mal (*das Wort*) weiter“ [K8-U2; 04:58-0 - 00:04:58-6] oder „Was sagen die anderen dazu?“ [K8-U2; 06:32-3 - 06:33-4], wodurch das Gespräch am Laufen gehalten wird. Ein solches Vorgehen, das eine Abfolge von Schülerantworten fördert, ohne sie zu bewerten, wird in der Literatur explizit für den „exploratory talk“ empfohlen (vgl. Kap. 2.5.2., z.B. Mercer & Dawes, 2008). Auch inhaltlich fordert die Lehrkraft die Schüler auf, vorherige Beiträge fortzuführen: „(*Maria*) hat etwas über die Gestalt der Hülle geschlussfolgert. (...) Wie kommt Maria zu der Aussage?“ [K8-U2; 10:39-3 - 10:55-3].

Die Fundstellen in der Kategorie „Überprüfen“ zeigen, dass die Lehrkraft im Verlauf des Gespräches Schülervorstellungen immer wieder überprüft, indem sie nachfragt oder zu detaillierteren Erklärung auffordert. Zum Beispiel, indem sie nach einem Schülerbeitrag, in dem vom Auftreffen der Alphateilchen auf den Kern gesprochen wurde, zum Präzisieren auffordert: „Erkläre, was du in Bezug auf die Zeichnung unter „Kern“ verstehst.“ [K8-U2; 05:29-2 - 05:32-0]. Insgesamt sind bei der Jahrgangsstufe 8 (im Vergleich zur Jahrgangsstufe 11) mehr Aktivitäten der Lehrkraft zum „Überprüfen“ und „Fokussieren und Strukturieren“ vorhanden. Ein Grund könnten die anspruchsvollen Gesprächsinhalte sein, da die Schüler mit Atomen, Alphateilchen oder Anziehungskräften auf Teilchenebene

sehr abstrakt und komplex argumentieren, so dass die Lehrkraft häufiger überprüft, welche Vorstellungen die Schüler im Moment entwickeln und durch ihre fokussierenden Impulse den Schülern hilft, ertragreiche Vorstellungen (im Sinne von fachwissenschaftlich weiterführend) zu diskutieren. Letzteres deckt sich mit den Ergebnissen der Lehrerinterviews, da die Lehrkraft das Fokussieren bewusst einsetzt, um die Schüler auf zentrale Stellen des Problemlöseprozesses hinzuweisen (vgl. Kap. 7.2, Ziel IV.3).

Nach den Ergebnissen der Lehrerinterviews nehmen Beiträge, die das Sichern zum Ziel haben, eine wichtige Rolle ein (vgl. Kap. 7.2, Ziel II.1). Durch die Aufforderung an einzelne Schüler zum Zusammenfassen, Strukturieren und Wiedergeben der zentralen Inhalte in eigenen Worten werden die ko-konstruierten Zwischenschritte im Lernprozess noch einmal für alle Schüler hörbar. Das Sichern steht an zentralen Stellen im Gespräch. Beispielsweise hebt die Lehrkraft die richtige Zuordnung der Alphastrahlen zu den Verläufen im Trefferbild durch Visualisierung hervor und bestätigt damit die vorherige Schülererklärung: „Mhm, okay. Vielen Dank. Ich notiere jetzt die Punkte auch hier (schreibt an der Projektionsfläche). Also, das war Punkt 1, Punkt 2, und Punkt 3. Und du hast gesagt, das notiere ich auch schon: Atome nehmen Einfluss“ [K8-U2; 02:35-03:07-3]. Damit unterstützt die Lehrkraft durch Strukturieren die Lernenden im Problemlöseprozess (vgl. Kap. 2.5.2; Leisen, 2011). Eine weitere Ausprägung dieser Kategorie zielt darauf ab, den Lernzugewinn und damit auch den Lernweg transparent zu machen, indem die Schüler der Jahrgangsstufe 11 zum Beispiel aufgefordert werden: „Inwiefern ist diese Erklärung, die ihr jetzt noch daraufgesetzt habt, viel tragfähiger als das, was ihr nur am Anfang hattet?“ [K11-U2; 07:18 - 07:28]. In der Literatur wird dieses Vorgehen zum Beispiel im Zusammenhang mit Scaffolding als kognitiv anregende Maßnahme beschrieben: das Nachdenken über den eigenen Lernweg fördert metakognitive Fähigkeiten der Schüler (Möller, 2016; Neber & Anton, 2008).

Schüleraktivitäten

Auf Schülerseite liegt in beiden Jahrgangsstufen der Schwerpunkt auf ausarbeitenden Beiträgen (vgl. Abb. 17 und 18), was auf das Ziel dieser Unterrichtsphase zurückzuführen ist: im Klassenplenum soll die Lösung für die gestellte Aufgabe, mit der sich die Schüler zuvor in einer Gruppenarbeit auseinandergesetzt haben, diskutiert, verfeinert und ausgeschärft werden. So ko-konstruieren die Schüler der Jahrgangsstufe 8 die Erklärung für die Ablenkung der Alphateilchen durch den Atomkern und die Schüler der Jahrgangsstufe 11 erweitern die Vorstellungen zum Teilchenkonzept über die Modellierung der Volumenexpansion. Die zahlreichen ausarbeitenden Beiträge zeigen Merkmale des „exploratory talk“ wie

der Austausch von Argumenten, das Schlussfolgern oder Begründen. Dieser Gesprächstyp gilt als förderlich für Ko-Konstruktionsprozesse und kann von der Lehrkraft durch Moderation aktiv unterstützt werden (vgl. Kap. 2.5.2).

Für die weiteren Kategorien gibt es einzelne Fundstellen. Bei den fortführenden Beiträgen ist hinsichtlich der Jahrgangsstufen eine Weiterentwicklung zu verzeichnen: in der Jahrgangsstufe 8 umfasst das Fortführen ausschließlich die Weitergabe des Rederechts, indem zum Beispiel die Methode der Meldekette durchgeführt wird. In der Jahrgangsstufe 11 nehmen die Schüler teilweise explizit Bezug auf zuvor getätigte Aussagen, indem sie den Namen des Mitschülers nennen und ihre eigenen Überlegungen hinzufügen oder dazu in Bezug setzen. Zum Beispiel: „Der Nico hat schon gesagt, dass sich (die Stoffe) bei der Mischung wegen dem polaren Teil beim Ethanol nicht richtig verbinden (...), also die Wechselwirkungen sind da nicht so stark. Und beim Ethanol (*wird*) das vielleicht noch ein bisschen kompakter (...)“ [K11-U2; 10:08 - 10:42] oder „Man sieht hier, wie das Frank auch schon gesagt hat, dass sich hier die Wassermoleküle an den polaren Teil des Ethanols, dransetzen und dadurch Zwischenräume ausgenutzt werden (...)“ [K11-U2; 01:10 - 01:40]. Möglicherweise orientieren sich hier die Schüler am Vorbild der Lehrkraft (vgl. Kap. 2.5.2; Mercer & Dawes, 2008), die nach eigenen Aussagen den Schülern bewusst ein Sprachvorbild geben möchte (vgl. Kap. 7.2, Ziel IV.4).

Das Fortführen von Beiträgen trägt darüber hinaus zu gelingenden Ko-Konstruktionsprozessen bei und ist eine wichtige Voraussetzung für gemeinsame Verhandlungen (vgl. Kap. 2.5.2; z.B. Pauli, 2010).

Das Überprüfen von Beiträgen durch Schüler zählt zu den anspruchsvolleren Aktivitäten des „exploratory talk“ (vgl. Kap. 2.5.2), da es den Abgleich von Vorstellungen und ein begründetes Argumentieren erfordert. Zum Beispiel überlegt Thomas: „Und noch zu Nico: der hatte eben noch überlegt, ob sich im Ethanol ein Cluster bilden kann: Das stand in einer der Infoboxen, dass sich bei Ethanol bei Raumtemperatur kein Cluster bilden kann und dementsprechend hattest du (*zu Nils*) schon recht, dass sich da kein Cluster bildet“ [K11-U2; 10:48 - 11:07]. Thomas überprüft hier die Überlegung von Nils und bestätigt im zweiten Schritt die geäußerte Vorstellung durch einen Beleg mit fachlichen Informationen. In der Jahrgangsstufe 8 hinterfragt ein Schüler kritisch die zuvor geäußerte Vermutung einer Mitschülerin, dass die Atome positiv geladen sind und deshalb die Alphateilchen abstoßen und begründet seine eigene Sichtweise: „Aber hier, bei dem Wissensbaustein zwei steht, dass das Atom insgesamt neutral ist und dann können die (...) neutralen Atome (...) nicht den Strahl ablenken“ [K8-U2; 03:19-4 - 03:30-9]. An diesen Aussagen wird deutlich, dass die Schüler auf andere Vorstellungen eingehen, diese kritisch überprüfen und eigene Argumente begründet einbringen sich so am Verhandeln einer gemeinsamen Lösung aktiv beteiligen.

Gesprächsmuster

Bei der Betrachtung des zeitlichen Auftretens von formalen Beiträgen im Hinblick auf einen möglichen Zusammenhang zwischen Lehreraktivität und nachfolgenden Schülerbeiträgen fällt auf, dass an mehreren Stellen nach initiierten und fortführenden Beiträgen der Lehrkraft mehrere ausarbeitende Beiträge der Schüler folgen. Eine solches Muster zeigt sich in der Jahrgangsstufe 8 zwischen den Paragraphen 26-58, 70-80, 90-110 und 135-182. Ebenso in der Jahrgangsstufe 11 zwischen den Paragraphen 20-28 und 54-66 (siehe Abb. 19 und 20).

Inhaltlich ähnelt sich jeweils die Vorgehensweise der Lehrkraft: die Schülerdiskussion wird initiiert über das Aufrufen der Schüler, die präsentieren sollen und dann am Laufen gehalten, zum Beispiel über weiterführende Deep-Reasoning Fragen (vgl. Kap. 2.5.2), die zu Erklärungen auffordern (zum Beispiel „Erkläre mal, wieso das so wichtig ist!“ [K8-U2; 10:25-2 - 00:10:29-1] oder das Weitergeben des Rederechts. Die Lehrkraft sammelt die verschiedenen Schülervorstellungen und fokussiert an geeigneten Stellen auf die weiterführenden Aspekte (vgl. Kap. 7.2, Ziele IV.2 und IV.3). Mit bewertenden Äußerungen und eigenen längeren Kommentaren hält sich die Lehrkraft zurück. Insofern bestätigt sich hier die Empfehlung aus der Literatur, dass moderierende und referierende Aktivitäten der Lehrkraft sowie Deep-Reasoning Fragen der Lehrkraft ko-konstruktive Schülerdiskussionen fördern (vgl. Kap. 2.5.2; Lüders, 2003).

Dialogische Feinstruktur zur formalen Funktion der Gesprächsbeiträge

Jahrgangsstufe 8

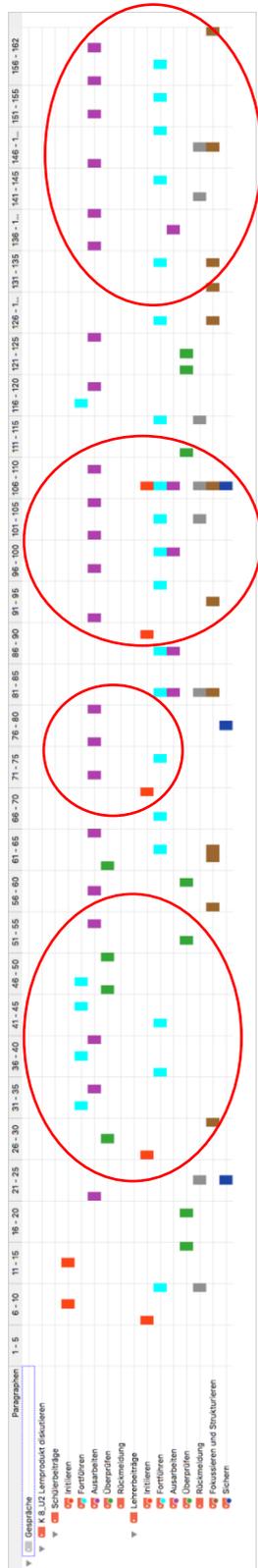


Abb. 19: Gesprächsmuster K8-U2
Quelle: Eigene Darstellung

Jahrgangsstufe 11

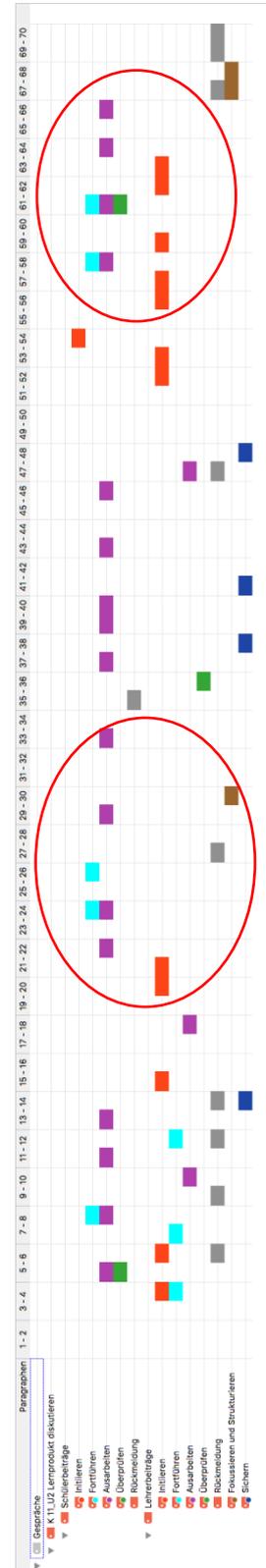


Abb. 20: Gesprächsmuster K11-U2
Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenfassung der Diskussion zur formalen Analyse der Gespräche

- Die formalen Merkmale (initiiierende, fortführende, ausarbeitende, überprüfende und rückmeldende Beiträge) erfolgreicher ko-konstruktiver Gespräche sind nachweisbar.
- Die Lehrkraft lenkt aktiv und vielfältig die Schülerdiskussion. Die Beiträge sind in allen Kategorien und zwei neuen Kategorien („Fokussieren und Strukturieren“ und „Sichern“) vertreten.
- Die steuernden Aktivitäten der Lehrkraft gehören vor allem zu den Kategorien „Ausarbeiten“ und „Fokussieren und Strukturieren“. Sie beeinflussen die inhaltliche Richtung der Gespräche durch Hervorheben wichtiger Schülerbeiträge (strukturierende Scaffolding-Maßnahme) und fördern die Entwicklung der Vorstellungen durch vertieftes Nachdenken.
- Rückmeldungen der Lehrkraft treten häufiger auf. Neben einzelnen bestätigenden Wörtern, die die Schülerdiskussion nicht unterbrechen sollen, gibt es auch längere, positiv-konstruktive Rückmeldungen der Lehrkraft, die Schülervorstellungen inhaltlich kommentieren und bewerten.
- In etlichen Sequenzen hält die Lehrkraft das Schülergespräch durch initiierende und fortführende Beiträge in Gang.
- An mehreren Stellen überprüft die Lehrkraft die Schülervorstellungen durch Nachfragen und Aufforderungen zum genaueren Erklären. An zentralen Stellen im Lernprozess werden sichernde Aktivitäten eingesetzt: Durch Aufforderung einzelner Schüler zum Zusammenfassen, Strukturieren und Wiedergeben der zentralen Inhalte in eigenen Worten werden die ko-konstruierten Zwischenschritte im Lernprozess für alle Schüler hörbar.
- Der Schwerpunkt der Schüleraktivitäten liegt auf ausarbeitenden Beiträgen, bei denen Argumente ausgetauscht, Schlussfolgerungen gezogen oder Vorstellungen begründet werden. Dies ist ein wesentliches Merkmal des „exploratory talk“.
- Unterschiede in der Qualität von fortführenden Beiträgen zeigen sich zwischen der Jahrgangsstufe 8 (Weitergabe des Rederechts) und der Jahrgangsstufe 11 (Verknüpfen der eigenen Vorstellung mit einem zuvor geäußerten Beitrag).
- Vereinzelte überprüfende Beiträge von Schülern zeigen, dass sie auf andere Vorstellungen eingehen, diese kritisch überprüfen und eigene Argumente begründet einbringen und sich so am Verhandeln einer gemeinsamen Lösung aktiv beteiligen.
- An mehreren Stellen zeigen sich Gesprächsmuster, bei denen auf initiierende und fortführende Aktivitäten der Lehrkraft mehrere ausarbeitende Beiträge der Schüler folgen. Bewertungsfreie, moderierende und referierende Aktivitäten der Lehrkraft fördern ko-konstruktive Schülerdiskussionen.

6.2.2 Inhaltliche Analyse der Ko-Konstruktionsprozesse – Vorstellungen der Lernenden

Zunächst werden in den Gesprächen Konzepte und Denkfiguren der Lernenden identifiziert. Danach werden diese mit den Konzepten der Wissenschaftler (vgl. Kap. 5) vergleichend diskutiert. Davon kann eine Entwicklung der geäußerten Lernervorstellungen im Sinne einer inhaltlichen Progression abgeleitet werden. An zentralen Stellen werden zusätzlich lenkende Aktivitäten der Lehrkraft im Hinblick auf ihre Auswirkung auf den inhaltlichen Verlauf des Gespräches beschrieben.

Das Kapitel ist nach den untersuchten Themen gegliedert. Jahrgangsstufe 8: Streuversuch von Rutherford (Punkte 6.2.2.3 und 6.2.2.4) und Jahrgangsstufe 11: Volumenänderungen bei Lösungen (Punkte 6.2.2.5 und 6.2.2.6).

6.2.2.1 Fragestellungen des Kapitels

Welche Konzepte der Lernenden können im Verlauf der Gespräche identifiziert werden? Entwickeln sich die in der Gruppe geäußerten Vorstellungen in Richtung der wissenschaftlichen Vorstellungen? An welchen Stellen im Gespräch wird die Lehrkraft mit welchen inhaltlichen Beiträgen aktiv? Können Auswirkungen der Lehrerbeiträge identifiziert werden?

6.2.2.2 Datenerhebung und -auswertung

Das Vorgehen folgt der qualitativen Inhaltsanalyse nach Gropengießer (2005) und ist im Kapitel 4 unter dem Punkt 4.8 beschrieben. Aufgrund des Forschungsgegenstandes liegen in dieser Arbeit abweichende Voraussetzungen für die Datenauswertung vor. Häufig werden in der fachdidaktischen Forschung Lernervorstellungen durch Einzelinterviews oder Gruppeninterviews in Kombination mit Vermittlungsexperimenten ermittelt. In dieser Studie ist der Forscher ein externer, nicht teilnehmender Beobachter, der einen Ausschnitt eines durch die Lehrkraft moderierten Unterrichtsgespräches untersucht. Dadurch kann bei den geäußerten Vorstellungen der Schüler nicht vertieft nachgefragt werden. Das Datenmaterial besteht größtenteils aus einzelnen Aussagen verschiedener Lerner. Auch die Anzahl der teilnehmenden Lerner ist relativ hoch, da eine ganze Klasse betrachtet wird. Die Vorstellungen der Lernenden im Ko-Konstruktionsprozess entstehen oft ad hoc (Gropengießer, 2007) und sind in einem hohen Maße Veränderungsprozessen ausgesetzt. Lernenden äußern häufig neue Ideen, erste Annahmen oder Hypothesen, die im Verlauf des Gespräches überprüft und hinterfragt werden (vgl. Kap. 2.3.1 und Osborne, 2010).

Die dargestellten Bedingungen haben zur Folge, dass kurze Aussagen von vielen verschiedenen Lernenden vorliegen, dass bei den einzelnen Schülern nicht vertieft nachgefragt werden kann und dass ein hohes Veränderungs- und Konstruktionspotenzial bei den geäußerten Vorstellungen zu vermuten ist. Im Hinblick auf die Fragestellung, die den Ko-Konstruktionsprozess in der gesamten Gruppe und den steuernden Einfluss der Lehrkraft in den Blick nimmt, werden die geäußerten Vorstellungen, die im Gruppenraum verhandelt werden, untersucht. Durch Vergleich mit den Vorstellungen der Wissenschaftler kann eine fachliche Progression der Konzepte innerhalb eines Gruppengesprächs diskutiert werden.

6.2.2.3 Ergebnisse – Vorstellungen im Ko-Konstruktionsprozess zum Streuversuch von Rutherford

Die Untersuchung bezieht sich auf ein Unterrichtsgespräch (16 min) in der Jahrgangsstufe 8, innerhalb dessen die Erklärungsansätze der Schüler zum Streuversuch von Rutherford diskutiert werden. Dem Gespräch ging eine Gruppenarbeit voraus, für die die Schüler sogenannte Wissensbausteine (kurze Info-Texte, vgl. Abb. 21) erhielten und ein Blatt mit fünf Punkten, auf dem sie die Flugbahnen der Alpha-Teilchen einzeichnen sollten.

Wissensbaustein 1	Wissensbaustein 3
Das Atom enthält einen Kern, der die gesamte positive Ladung trägt und 99,9% der Masse des Atoms aufweist.	Der Durchmesser eines Atomkerns ist sehr viel kleiner als der Durchmesser des Atoms.
Wissensbaustein 2	
Das Atom ist insgesamt neutral.	

Abb. 21: Wissensbausteine zum Streuversuch von Rutherford
Quelle: Eigene Darstellung

Das Gespräch besitzt mehrere inhaltliche Ebenen. Für die nachfolgende Explikation wird ein ausgewählter Argumentationsstrang untersucht. Die Schüler sollen die Beobachtungen, dass Alpha-Teilchen in unterschiedlicher Weise an der Goldfolie abgelenkt werden bzw. die meisten durch sie hindurchtreten, erklären. Dabei sollen sie mit dem Zusammenhang von Abstand der Alpha-Teilchen zum Kern und elektrostatischer Abstoßung argumentieren.

Die dazwischenliegenden Gesprächsabschnitte werden, soweit sie für den Gesamtzusammenhang nötig sind, nur kurz wiedergegeben. Die Fundstellen der Zitate beziehen sich auf die Zeitangaben im Videoausschnitt. Die Vornamen von Schülern wurden geändert.

Explikation

Zu Beginn des Gespräches werden Vorstellungen von zwei Gruppen anhand von Zeichnungen der Schüler präsentiert. Grundlage ist das Blatt mit den vorgegebenen fünf Punkten, auf dem die Schüler die Flugbahnen der Alpha-Teilchen (Linien) einzeichnen. Die Lehrkraft wählt zwei Gruppenergebnisse für die Präsentation aus und bestimmt die Reihenfolge.

Zuerst stellt Lea die Zeichnung der Gruppe 1 vor (vgl. Abb. 22). Sie geht dabei davon aus, dass der Kern positiv geladen ist (00:05:33-2) und erläutert, dass die Alpha-Teilchen abprallen, wenn sie den Kern treffen, weil diese ebenfalls positiv geladen sind und „(...) weil sie sich abstoßen, gehen sie dann in eine andere Richtung“ (00:00:35-4). Aus der Zeichnung geht die Differenzierung zwischen Ablenkung und Rückstoß nicht hervor, denn alle Alpha-Teilchen (Linien) treffen auf die Punkte und Lea geht zu Beginn des Gespräches noch nicht auf diesen Unterschied ein.

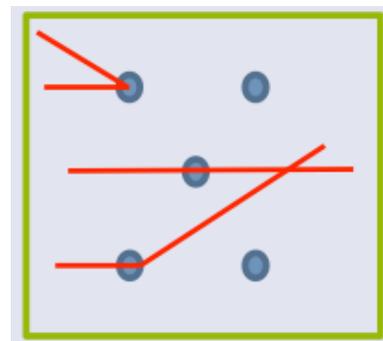


Abb. 22: Bild der Gruppe 1
Quelle: Eigene Darstellung

Wie sich wenig später herausstellt (00:05:44-8), ist für Lea zu diesem Zeitpunkt unklar, ob die blauen Punkte Atome oder die Kerne von Atomen sind.

Als weiteren Aspekt erklärt Lea in ihrer Präsentation, dass der positiv geladene Kern sehr klein ist und deshalb „gehen die meisten (Teilchen) einfach gerade durch, weil sie den Kern nicht treffen“ (00:00:35-4). Ihre Erklärung greift auch Jonas kurze Zeit später wieder bestärkend auf (00:05:02-1). Diese Argumentation wird am Ende des Gespräches durch die Nachfrage der Lehrkraft: „(...) die meisten (Teilchen) gehen durch: Wie ist das zu verstehen?“ wieder aufgegriffen. Tina stellt sich vor, dass die Alpha-Teilchen von der Elektronenhülle angezogen werden und deswegen durch die Goldfolie hindurchtreten (00:16:18-2). Vermutlich leitet sie diese Überlegung von der Anziehung ungleichnamiger Ladungen ab. Marco (00:16:33-8) und Lea gehen von der geringen Größe der Atomkerne (Infotext im Wissensbaustein) aus und Lea argumentiert: „(...) der Kern ist nur ganz klein und dann ist die Chance nicht so groß, dass die (Alpha-) Strahlung darauf trifft“ (00:16:42-3).

Doris stellt im Anschluss an Lea das Bild der Gruppe 2 vor (vgl. Abb. 23), das die Bewegungsrichtungen der Alpha-Teilchen korrekt wiedergibt und zwischen Ablenkung (Punkt 2) und Rückstoß (Punkt 3) differenziert. Auch der Fall, dass die Alpha-Teilchen ungehindert die Goldfolie passieren (Punkt 1), ist eingezeichnet. Allerdings entspricht die zugehörige Erklärung von Doris nicht der wissenschaftlichen Vorstellung, die man zunächst hinter dem richtigen Bild vermuten könnte.

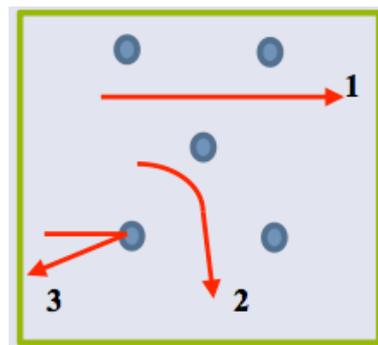


Abb. 23: Bild der Gruppe 2
Quelle: Eigene Darstellung

Denn Doris stellt sich vor, dass die Alpha-Teilchen einen positiven Kern besitzen und manche Atome der Goldfolie positiv geladen sind und manche neutral sind und entsprechend ihrer Ladung die Bewegungsrichtung der Alpha-Teilchen beeinflussen (00:00:44-2 - 00:01:27-9).

Es ist zu vermuten, dass zu diesem Zeitpunkt auch für Doris die Punkte Atome (und nicht die Atomkerne) darstellen. Jonas bezieht sich auf Doris Vorstellung und argumentiert, dass Atome nicht geladen sein können, weil in einem Wissensbaustein steht, dass (alle) Atome neutral sind (00:03:19-4). Auch Martha bezieht sich auf das Bild von der Gruppe 2 und sie ist sich nicht sicher, welche Ladung die Alpha-Teilchen haben müssten, um die Flugbahnen schlüssig zu erklären. Sie vermutet, dass Alpha-Teilchen auch eine negative Ladung haben könnten (00:04:10-6).

Nach den Präsentationen werden in das Bild der Gruppe 2 die Zahlen 1-3 eingetragen und nur noch daran weiter diskutiert. Die Frage der Lehrkraft an Lea (00:05:44-8) stellt noch einmal heraus, dass Lea unklar war, ob die blauen Punkte die Kerne der Atome symbolisieren oder die Atome (mit Kern und Hülle) darstellen sollen. Im Anschluss wird diese Frage mit der Klasse diskutiert und geklärt.

Am Ende des Gespräches werden von den Schülern die zuvor geäußerten Vorstellungen weiterentwickelt. Anlass sind die fokussierenden Fragen der Lehrkraft, wo sich die Atomkerne im Bild der Gruppe 2 befinden (00:12:23-5) und an welcher Stelle eine Ablenkung stattfindet (00:13:38-8). Lukas bringt die Abstößung von Kern und Alpha-Teilchen aufgrund der gleichen Ladung ein (00:15:02-4). Martha deutet auf den Atomkern bei der roten Linie Nr. 2 und erklärt: „Dadurch, dass hier rechts ein positiv geladener Kern ist, wird es (das Alpha-Teilchen) abgestoßen und geht dann so herunter“ (00:15:02-4). Luisa ergänzt zum Atomkern bei der Linie Nr. 3: „Vielleicht wird es (das Alpha-Teilchen) da stärker abgestoßen und deswegen so direkt zurückgewiesen, weil das genau auf den Punkt (Kern) trifft“ (00:15:38-5). Ebenso denkt Marco: „Vielleicht werden sie (die

Alpha-Teilchen) nur so umgelenkt oder reflektiert, wenn sie genau in diesen Kern hineintreffen“ (00:16:33-8).

Strukturierung: Konzepte und Denkfiguren im Ko-Konstruktionsprozess

Konzepte:

Alpha-Teilchen haben einen positiven Kern. (?)

Alpha-Teilchen sind negativ geladen. (?)

Alpha-Teilchen werden von der Elektronenhülle angezogen. (?)

Atome sind positiv geladen. (?)

~~Atome sind positiv geladen.~~

Atome sind neutral. (*)

Alpha-Teilchen sind positiv geladen. (*)

Der Kern von Atomen ist positiv geladen. (*)

Der Kern von Atomen ist klein. (*)

Denkfiguren:

Ablenkung durch positiven Kern

Weil der Kern positiv geladen ist, werden die Alpha-Teilchen abgelenkt. Der Abstand zum Kern entscheidet über den Grad der Ablenkung (Streuwinkel).

Kleiner Kern → Seltenheit der Ablenkung

Weil der Kern klein ist, werden nur wenige Alpha-Teilchen abgelenkt.

Anziehung zwischen Alpha-Teilchen und Elektronenhülle → keine Ablenkung

Weil die Alpha-Teilchen von der negativen Elektronenhülle angezogen werden, treten die meisten ungehindert hindurch.

6.2.2.4 Diskussion der Ergebnisse

Vergleich mit wissenschaftlichen Vorstellungen

Zunächst können die identifizierten Konzepte mit den wissenschaftlichen Vorstellungen verglichen und hinsichtlich einer inhaltlichen Differenzierung und Progression untersucht werden. Die Tabelle 12 zeigt die Vorstellungen der Lernenden und die Vorstellungen, die in den wissenschaftlichen Quelltexten ermittelt wurden (vgl. Kap. 5). Bei den wissenschaftlichen Vorstellungen sind nur diejenigen aufgeführt, die den untersuchten Inhalt des Gespräches betreffen.

Tab. 12: Vorstellungen von Lernenden und Wissenschaftlern – Streuversuch von Rutherford

	Vorstellungen der Lernenden	Wissenschaftliche Vorstellungen
Konzepte	Alpha-Teilchen haben einen positiven Kern. (?)	
	Alpha-Teilchen sind negativ geladen. (?)	
	Alpha-Teilchen werden von der Elektronenhülle angezogen. (?)	
	Atome sind positiv geladen. (?)	
	Atome sind positiv geladen.	
	Atome sind neutral. (*)	Alpha-Teilchen sind positiv geladen.
	Alpha-Teilchen sind positiv geladen. (*)	Der Kern von Atomen ist positiv geladen.
	Der Kern von Atomen ist positiv geladen. (*)	Der Kern von Atomen ist klein.
	Der Kern von Atomen ist klein. (*)	
Denkfiguren	Ablenkung durch positiven Kern	Große Streuwinkel → Kern enthält fast die gesamte Masse
	Weil der Kern positiv geladen ist, werden die Alpha-Teilchen abgelenkt. Der Abstand zum Kern entscheidet über den Grad der Ablenkung (Streuwinkel).	Aus den sehr großen Streuwinkel kann abgeleitet werden, dass der Kern fast die gesamte Masse des Atoms enthält und die gesamte positive Ladung.

Vorstellungen der Lernenden	Wissenschaftliche Vorstellungen
<p>Kleiner Kern → Seltenheit der Ablenkung Weil der Kern klein ist, werden nur wenige Alpha-Teilchen abgelenkt.</p>	<p>Seltenheit der Ablenkung → kleiner Kern Da die Ablenkung der Alpha-Teilchen sehr selten erfolgt, kann gefolgert werden, dass ein sehr kleiner Raumteil (Kern) den Alpha-Teilchen Widerstand bietet.</p>
<p>Anziehung zwischen Alpha-Teilchen und Elektronenhülle → Seltenheit der Ablenkung Weil die Alpha-Teilchen von der negativen Elektronenhülle angezogen werden, treten die meisten ungehindert hindurch.</p>	<p>Elektronen führen zu keiner Ablenkung Negative, leichte Elektronen umkreisen den Kern. Die Begegnung von Alpha-Teilchen mit leichten Elektronen führt zu keiner merklichen Ablenkung.</p>

Quelle: Eigene Darstellung

Die Tabelle zeigt, dass die wissenschaftlichen Konzepte („Alpha-Teilchen sind positiv geladen“, „Der Kern von Atomen ist positiv geladen“ und „Der Kern von Atomen ist klein“) und weitere, fragend diskutierte Konzepte (?) im Gespräch der Lernenden auftauchen. Nachfolgend wird der Kontext ausgewählter Konzepte diskutiert.

Das Konzept „Alpha-Teilchen sind positiv geladen“ wurde in der Stunde vor der Unterrichtssequenz thematisiert und im Verlauf des Gespräches ist zu erkennen, dass einige Schüler (Lea, 00:09-4; Lukas, 00:12.52-1; Martha, 00:15:02-4; Luisa, 00:15:38-5; Tina, 00:16:18-2) dieses Konzept anwenden, indem sie es als Grundlage für ihre Argumentation verwenden. Dies ist ein Hinweis dafür, dass dieses Konzept für einen Rekonstruktionsprozess mit wissenschaftlichen Konzepten genutzt wird. Die Komplexität und Heterogenität bzw. Individualität dieses Rekonstruktionsprozesses wird am Beispiel von Doris deutlich. Ihre Vorstellung, dass die Alpha-Teilchen einen positiven Kern haben (00:01:51-8), könnte aus dem Konzept „Alphateilchen sind positiv geladen“ und der für sie neuen Vorstellung, dass es einen Kern gibt (Teil des Konzeptes „Der Kern von Atomen ist positiv geladen“) entstanden sein. Denkbar ist auch, dass Doris diese Konzepte zunächst noch verwechselt oder dass sie bei der Präsentation etwas nervös ist und dies zur Unsicherheit beiträgt. Auch bei Martha ist zu beobachten, dass das Konzept „Alphateilchen sind positiv geladen“ beeinflusst wird. Sie überlegt, ob die Alphateilchen manchmal positiv und manchmal auch negativ geladen sein könnten (00:04:10-6; Konzept „Alphateilchen sind negativ geladen“). Die Vorstellungen

von Doris und Martha scheinen dadurch variabel, labiler oder veränderbarer zu werden. Dies könnte auch die Voraussetzung für den Wandlungsprozess von Vorstellungen sein, wie ihn Kattmann (2017) beschreibt. Die unterschiedliche Verwendung des Konzeptes „Alpha-Teilchen sind positiv geladen“ bestätigt die Belege aus der Literatur (z.B. Kattmann, 2005; vgl. Kap. 2.5.3), dass Schülervorstellungen im Rekonstruktionsprozess mit wissenschaftlichen Konzepten in Beziehung gesetzt werden und zeigt die Herausforderungen für die Schüler. Weiterhin unterstützen die Befunde das Vorliegen eines „exploratory talk“ (vgl. Kap. 5.2.5). Demnach testen Schüler in dieser Phase ihre Ideen und sind noch stark mit der Klärung der eigenen Gedanken, das heißt Konstruktionsprozessen beschäftigt (Barnes, 2008).

Konzepte werden zu Denkfiguren entwickelt

Weiterhin ist im Verlauf des untersuchten Gespräches zu beobachten, dass Konzepte zu einer Denkfigur weiterentwickelt werden. Bei diesem Prozess sind viele Schüler der Klasse mit dem Ziel beteiligt, dass im Gespräch gemeinsam eine Erklärung für die Flugbahnen der Alpha-Teilchen gefunden wird. Diese Merkmale (kollaborative Tätigkeit, Konvergenz, Intersubjektivität) werden in der Literatur beschrieben und gelten als charakteristisch für einen Ko-Konstruktionsprozess (vgl. Kap. 2.4.1). Im konkreten Fall nutzen die Schüler das bekannte Konzept „Alpha-Teilchen sind positiv geladen“ und bilden mit dem vorgegebenen, wissenschaftliche Konzept „Der Kern von Atomen ist positiv geladen“ eine Denkfigur, indem sie mit der Abstoßung gleichnamiger Ladungen argumentieren (ein weiteres Konzept, das den Schülern bereits aus dem vorherigen Unterricht bekannt ist).

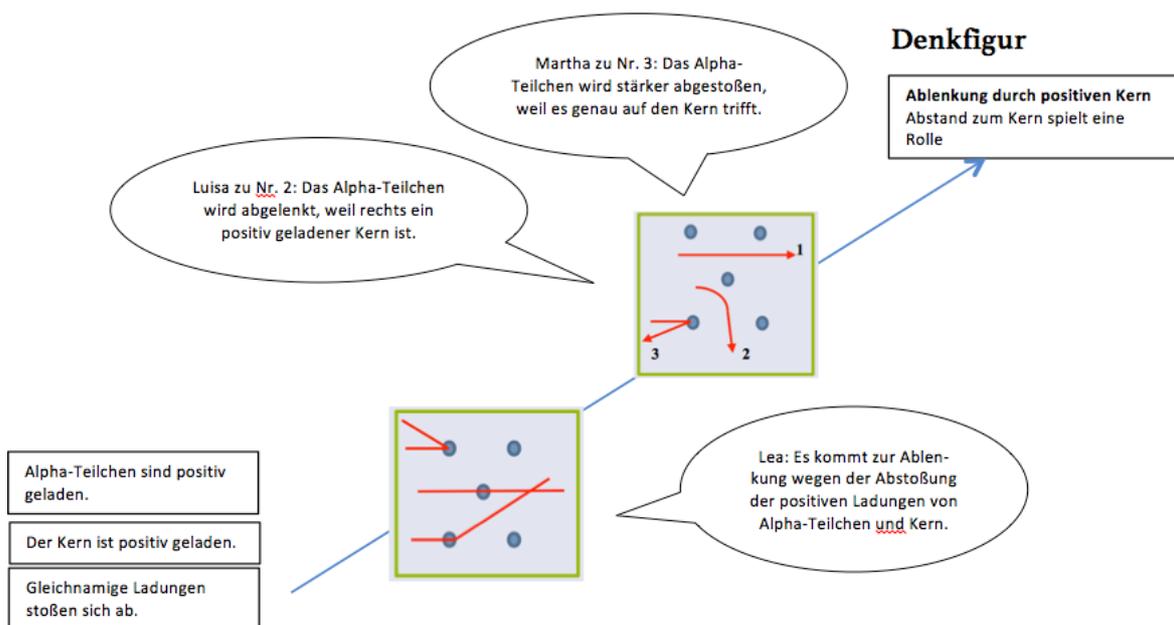
Konzepte: Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.
Der Kern ist positiv geladen.
Alpha-Teilchen sind positiv geladen.

→Drei Konzepte führen zur Denkfigur: **Ablenkung durch positiven Kern**

Weil der Kern positiv geladen ist, werden die Alpha-Teilchen abgelenkt. Dabei spielt der Abstand des Alpha-Teilchens zum Kern eine Rolle.

Durch die Entwicklung einer Denkfigur wird in diesem Fall die Vorstellung differenzierter und nähert sich der wissenschaftlichen Vorstellung („Große Streuwinkel → Kern enthält fast die gesamte Masse“) an. Zu beachten ist, dass die Schüler in der vorliegenden Unterrichtsstunde den umgekehrten Denkweg nachvollziehen: historisch wurde aus den großen Streuwinkeln der Alpha-Teilchen geschlussfolgert, dass es eine positive, punktförmige Ladung im Zentrum gibt und dass der Kern nahezu die gesamte Masse des Atoms enthält. Dabei war das

Phänomen verschiedener Streuwinkel bereits geklärt. Im Unterricht wurde zum einen der umgekehrte Denkweg angelegt, indem die Schüler die historischen Schlussfolgerungen als Information (Wissenbausteine) erhalten haben. Zum anderen lag der Fokus der Lehrkraft auf der Erarbeitung des Zusammenhangs zwischen Abstand der Alpha-Teilchen zum Kern und elektrostatischer Abstoßung (Denkfigur „Ablenkung durch positiven Kern“), denn dieses Verständnis bildet die Voraussetzung für die wissenschaftliche Denkfigur („Große Streuwinkel \rightarrow Kern enthält fast die gesamte Masse“). Die Bedeutung der Masse des Kerns wurde daher in dieser Stunde nur am Rande thematisiert. Die Analyse des Gespräches zeigt, dass die Entwicklung der Denkfigur „Ablenkung durch positiven Kern“ für die Schüler durchaus komplex ist und auch zeitlich den größten Teil des Gespräches (ca. 10 min) benötigt. Hier wird besonders deutlich, dass Vorstellungen von verschiedenen Schülern zur Entwicklung einer Denkfigur im Sinne einer Ko-Konstruktion beitragen. Die Konzepte, zentrale Schülersaussagen und zugehörigen Bilder der Vorstellungen sind nachfolgend visualisiert (vgl. Abb. 24).



Konzepte

Abb. 24: Von Konzepten zur Denkfigur
Quelle: Eigene Darstellung

Auf ähnliche Weise wird im Gespräch eine weitere, zentrale Denkfigur entwickelt. Ausgehend von den oben beschriebenen Konzepten führt das Konzept „Der Kern von Atomen ist klein“ zur Denkfigur „Kleiner Kern → Seltenheit der Ablenkung“:

Konzepte: Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.
 Der Kern ist positiv geladen.
 Alpha-Teilchen sind positiv geladen.
 Der Kern von Atomen ist klein.

→ Vier Konzepte führen zur Denkfigur: Kleiner Kern → Seltenheit der Ablenkung

Weil der Kern klein und positiv geladen ist, werden die Alpha-Teilchen selten abgelenkt.

Mit dieser Denkfigur entwickeln die Schüler eine Erklärung für die Beobachtung des Streuversuchs, dass die meisten Alpha-Teilchen ungehindert durch die Goldfoie hindurchtreten. Lea argumentiert bereits bei der Präsentation der Gruppe 1 mit dem geringen Durchmesser des Kernes: „Weil in der Mitte ein positiv geladener Kern ist, der nur ganz klein ist, gehen die meisten (Teilchen) einfach gerade durch, weil sie den Kern nicht treffen“ (00:00:35-4).

Nachdem sich im Gespräch klärt, dass die blauen Punkte die Kerne von Atomen darstellen, kann sie ihre Erklärung auch bei der Zeichnung der Gruppe 2 (vgl. Abb. 25 bei der Flugbahn Nr. 1) verorten (00:16:42-3). Initiiert wird dieser Prozess durch die Nachfrage der Lehrkraft, wie sich die Schüler die Beobachtung, dass die meisten Teilchen durch die Goldfolie treten, erklären (00:15:50-5). Neben Lea meldet sich Marco mit derselben Erklärung (Konzept „Der Kern ist klein“) und Tina bringt ein neues Konzept ein: „Alpha-Teilchen werden von den Elektronen angezogen“ Deswegen treten die Alpha-Teilchen ihrer Vorstellung nach ungehindert durch die Hülle (00:16:18-2).

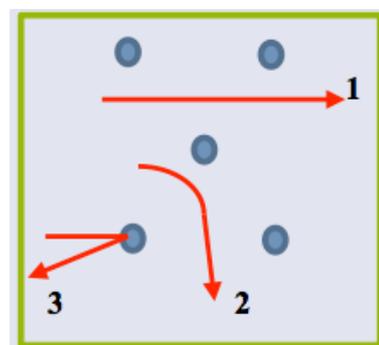


Abb. 25: Vorstellung der Gruppe 2: Flugbahnen der Alphateilchen
 Quelle: Eigene Darstellung

Das Konzept von Tina korrespondiert mit der Beobachtung in der wissenschaftlichen Denkfigur, dass die Begegnung von Alpha-Teilchen mit Elektronen zu keiner Ablenkung führt, allerdings fehlt Tina noch die Erkenntnis, dass die Ursache die geringe Masse der Elektronen und nicht deren negative Ladung ist. Da der

Einfluss der Masse des Kerns in dieser Unterrichtsstunde noch nicht explizit thematisiert wurde, könnte bei einer Weiterführung die Vorstellung von Tina zum Anknüpfen im Sinne Kattmanns (2017) genutzt werden. Die Gesprächssequenz zeigt damit auch an konkreten Beispielen auf, dass ko-konstruktive Gespräche Gelegenheiten schaffen, vorhandene Vorstellungen als Lernvoraussetzung zu ermitteln und mit ihnen im Unterricht zu arbeiten, das heißt, Schülervorstellungen als Lernmittel zu begreifen (vgl. Kap. 2.3.3; Kattmann, 2007).

Lehrerbeiträge unterstützen Lernprozesse

Zur Frage der Lehrerbeiträge und deren Einfluss zeigt das untersuchte Gespräch, dass die Lehrkraft an zentralen inhaltlichen Stellen aktiv wird, um auftretende Probleme zu klären oder weiterführende Lernschritte zu fördern.

Als die Lehrkraft beispielsweise bei Lea die Unsicherheit feststellt, ob die Punkte Kerne oder Atome darstellen, macht sie dies für die ganze Klasse transparent: „Aha, wir haben also eine Frage: Stehen diese Punkte für Atome oder Kerne?, fragst du (zu Lea)“ (00:06:05-0) Zur Beantwortung dieser Frage werden alle Schüler aufgefordert: „Was sagen die anderen dazu?“ (00:06:32-3). Dadurch gibt sie das Gespräch an die Schüler zurück, verbunden mit dem Auftrag zum Ausarbeiten (vgl. formale Analyse, Punkt 6.2.1.3).

Weiterhin dienen die fokussierenden, strukturierenden und ausarbeitenden Aktivitäten der Lehrkraft (vgl. formale Analyse, Punkt 6.2.1.3) in Bezug auf die Inhalte dazu, die zentralen Konzepte herauszustellen, um die entsprechenden Denkfigur zu entwickeln, die die Beobachtungen des Streuversuchs erklärt. Beispielsweise zielt der Auftrag „Ich zeichne euch eine Lupe (Lehrkraft kreist einen Punkt auf dem Gruppenbild 2 ein). Schaut euch die Stelle an und erklärt!“ (00:14:13-4) auf die Denkfigur „Ablenkung durch positiven Kern“. Die Konzepte „Alpha-Teilchen sind positiv geladen.“, „Der Kern von Atomen ist positiv geladen.“ und „Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.“ haben die Schüler bereits thematisiert. Doch der Einfluss des Abstandes des Alpha-Teilchens zum Kern fehlt noch, um mit der Denkfigur die Flugbahnen Nr. 1 und 2 zu erklären. Maren und Luisa formulieren daraufhin die zunehmende Ablenkung der Alpha-Teilchen mit zunehmender Nähe zum Kern. Ein weiteres Beispiel für einen fokussierenden und ausarbeitenden Auftrag ist der Lehrerbeitrag „Jetzt habt ihr eben gesagt, die meisten (Alpha-Teilchen) gehen durch. Wie ist das zu erklären?“ (00:15:50-5). Dadurch wird die Denkfigur „Kleiner Kern → Seltenheit der Ablenkung“ anvisiert. In Folge formulieren Lea und Marco ihre Vorstellungen, die die zugehörigen Konzepte für diese Denkfigur enthalten und zusätzlich wird eine neue Denkfigur von Tina („Anziehung zwischen Alpha-Teilchen und Elektronenhülle“) eingebracht.

Weiterhin zeigt die inhaltliche Analyse des Gesprächs, dass Beiträge der Lehrkraft den Ko-Konstruktionsprozess fördern. In dem Gesprächsabschnitt diskutieren die Schüler das Bild von Bastian, der aufgrund eines Wissensbausteines (Info-Text) seine Vorstellung von einem Atom gezeichnet hat (vgl. Abb. 26). Die Lehrkraft hat den Auftrag gegeben, dass die Schüler den Wissensbaustein suchen sollen, aufgrund dessen Bastian seine Zeichnung angefertigt hat.

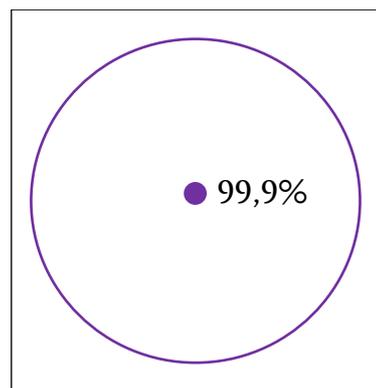


Abb. 26: Schülervorstellung von einem Atom

Quelle: Eigene Darstellung

Chris: „Der Atomkern trägt die gesamte positive Ladung.“

Lehrkraft: „Erklärt, warum das wichtig ist!“

Martha: „Weil im Infotext Nr. 2 steht, dass das Atom insgesamt neutral ist. Das heißt, das Äußere um den Kern muss negativ sein.“

Lehrkraft: „Mhm. Du hast jetzt etwas über die Hülle geschlussfolgert.“

(Zitierter Ausschnitt: 00:10:25-2 - 00:10:55-3)

Durch den Auftrag zum Ausarbeiten „Erklärt, warum das wichtig ist!“, lenkt die Lehrkraft die Aufmerksamkeit der Klasse auf den Beitrag von Chris. Die Antwort von Martha zeigt, dass sie an die Vorstellung von Chris anknüpft und mit einer weiteren Vorstellung (das Atom ist insgesamt neutral) eine Schlussfolgerung zieht, indem sie eine neue Überlegung (das Äußere um den Kern ist negativ geladen) ableitet. Die Lehrkraft gibt eine bestätigende Rückmeldung und ergänzt den Begriff „Hülle“. Auf Ebene der Konzepte wird aus zwei Konzepten – „Der Kern von Atomen ist positiv geladen“ und „Atome sind neutral“ – ein neues, drittes abgeleitet („Die Elektronenhülle ist negativ geladen“). An diesem Prozess sind zwei Schüler beteiligt, so dass hier in einer Mikrosituation Ko-Konstruktion stattfindet. Die nachfolgende Abbildung (27) veranschaulicht den Prozess. Die Dreiecke symbolisieren die Konzepte, der Lehrerbeitrag ist in roter Schrift dargestellt.

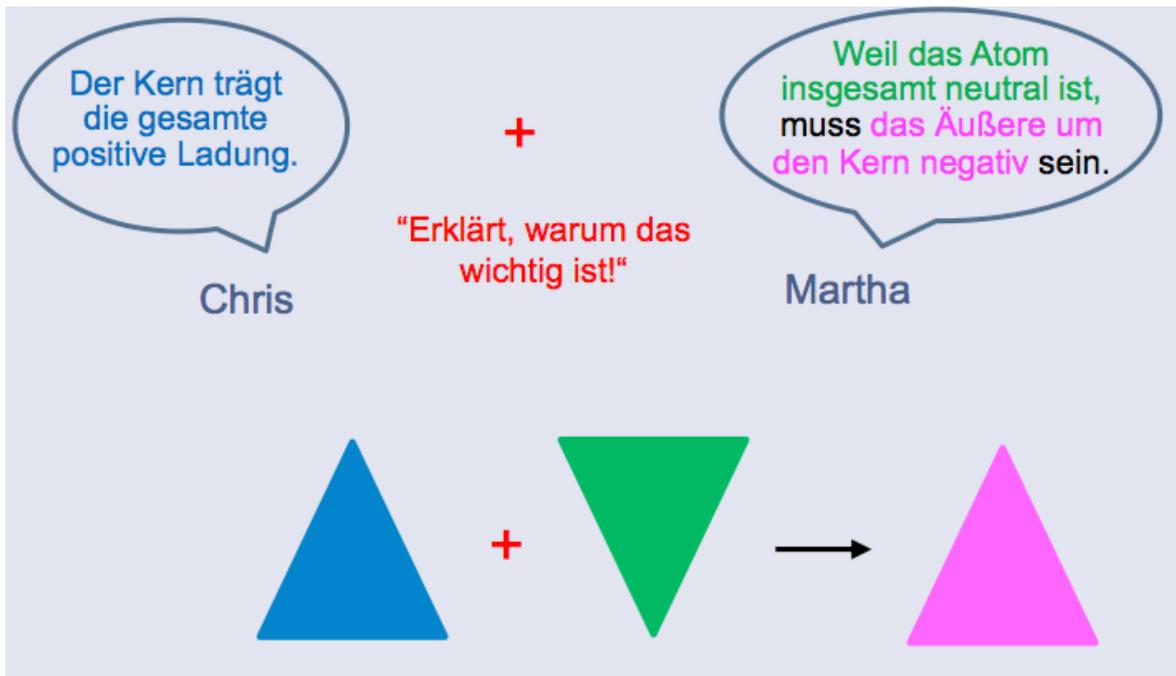


Abb. 27: Lehrerbeiträge fördern Ko-Konstruktion
Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenfassung der Diskussion zur inhaltlichen Analyse der Gespräche (Streuversuch von Rutherford)

- Es gibt Übereinstimmungen zwischen Schülervorstellungen und wissenschaftlichen Vorstellungen. Die weiteren, fragend diskutierten Vorstellungen der Schüler bestätigen die Merkmale eines „exploratory talk“.
- Rekonstruktionsprozesse finden statt. Schüler setzen ihre (Anfangs-) Vorstellungen mit den angebotenen wissenschaftlichen Vorstellungen („Wissensbausteine“, Infotexte) in Beziehung. Der Prozess ist für die Schüler herausfordernd.
- Durch das Gespräch in der Klasse werden Teile des individuellen Rekonstruktionsprozesses öffentlich und tragen somit zum Ko-Konstruktionsprozess bei. Das untersuchte Gespräch zeigt beispielhaft auf, wie Schülervorstellungen als Lernvoraussetzung und Lernmittel genutzt werden können.
- Im Verlauf des Gespräches werden mehrere Konzepte zu wissenschaftlichen Denkfiguren weiterentwickelt. Mit den Denkfiguren können die Beobachtungen des Streuversuches von Rutherford erklärt werden.
- Die Lehrerbeiträge machen Verständnisprobleme für die ganze Klasse transparent. Eine Lösung durch die Schüler wird angeregt.
- Fokussierende, strukturierende und ausarbeitende Lehreraktivitäten zielen darauf ab, zentrale Konzepte herauszuarbeiten, um diese zur Denkfigur weiterzuentwickeln.
- Lehrerbeiträge fördern Ko-Konstruktionsprozesse. Durch Hervorheben wichtiger Schüleraussagen und den Auftrag zur Ausarbeitung haben sich im untersuchten Gespräch in Folge Schüler auf die vorherige Aussage bezogen und Schlussfolgerungen gezogen. Auf Ebene der Konzepte tragen zwei Konzepte zur Entwicklung eines neuen Konzeptes und der entsprechenden Denkfigur bei.

6.2.2.5 Ergebnisse – Vorstellungen im Ko-Konstruktionsprozess zu Volumenänderungen bei Lösungen

Die Analyse bezieht sich auf ein Unterrichtsgespräch (13 min) in der Jahrgangsstufe 11, innerhalb dessen die Erklärungsansätze der Schüler zu Volumenänderungen bei Lösungen diskutiert werden. Zu Beginn der Unterrichtsstunde wurden die Anfangsvorstellungen der Schüler zur Volumenkontraktion einer Lösung von Ethanol und Wasser diskutiert. Zu diesem Zeitpunkt wenden die Schüler das Kugelteilchenmodell an (vgl. Kap. 6.1.3). Sie argumentieren, dass die Wassermoleküle kleiner sind als die Ethanolmoleküle. Die Volumenkontraktion in der Lösung entsteht dadurch, dass sich Wassermoleküle zwischen die Ethanolmoleküle setzen und wie kleinere Kugeln den Platz zwischen den größeren Kugeln füllen. Ein Experiment zeigt auf, dass es beim Mischen von Flüssigkeiten auch zu einer Volumenexpansion kommen kann. Dem untersuchten Gesprächsabschnitt ging eine Gruppenarbeit voraus, für die die Schüler ein Arbeitsblatt mit Wissensbausteinen (kurze Info-Texte und einer Abbildung mit Wassermolekülen, siehe nachfolgende Abb. 28) erhielten, mit Hilfe derer sie die Volumenkontraktion bzw. –expansion erklären sollten.

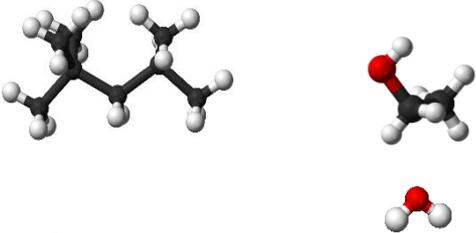
<p>Wissensbaustein: Cluster</p> <p>Wassermoleküle wechselwirken miteinander über Wasserstoffbrückenbindungen. Dabei bilden sich ausgedehnte Cluster. Sie sind jedoch variabel, weil Bindungen aufgrund der Teilchenbewegung immer wieder gebrochen werden oder sich neu bilden. Im Alkohol bilden sich bei Raumtemperatur keine Cluster.</p>	<p>Wissensbaustein: Alkohol-Wasser-Mischung</p> <p>In der Mischung von Wasser und Ethanol sind zwei Wassermoleküle mit einem Ethanolmolekül über Wasserstoffbrückenbindungen verbunden.</p>
<p>Wortliste:</p> <p>Abstand zwischen den Molekülen Cluster Packungsdichte Stärke der Wechselwirkung van der Waals Wechselwirkungen Wasserstoffbrückenbindung aufbrechen bilden</p>	<p>Wissensbaustein: Molekülabstände</p> <p>Zwischenmolekulare Wechselwirkungen werden nur im Nahbereich wirksam. Die unterschiedliche Annäherung der Moleküle im Fall einer Wasserstoffbrückenbindung bzw. einer van der Waals Wechselwirkung wird im Modell durch Radien dargestellt. Die Linien geben an, bis auf welchen Abstand sich die Moleküle jeweils annähern.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Legende: Van der Waals Radius: grau gestrichelt Wasserstoffbrückenbindung Radius: blau gestrichelt</p>

Abb. 28: Wissensbausteine zu Volumenänderungen
Quelle: Interviewte Lehrkraft

Die Schüler sollen zunächst die Volumenkontraktion bei einer Lösung von Ethanol und Wasser erklären. Ziel der Unterrichtssequenz ist es, dass die Lernenden die Argumentation mit dem Kugelteilchenmodell durch zwischenmolekulare Wechselwirkungen erweitern und mit dem neuen Begriff „Cluster“ die Volumenkontraktion durch Störung der Cluster-Struktur im Wasser erklären. Grundlage hierfür ist eine systemische Teilchenvorstellung (vgl. Kap. 6.1.5).

Das Gespräch besitzt mehrere inhaltliche Ebenen. Für die nachfolgende Explikation wird ein ausgewählter Teilbereich untersucht. Die dazwischenliegenden Gesprächsabschnitte werden, soweit sie für den Gesamtzusammenhang nötig sind, nur kurz wiedergegeben. Die Fundstellen der Zitate beziehen sich auf die Zeitangaben im Videoausschnitt. Die Vornamen von Schülern wurden geändert.

Explikation

Zu Beginn des Gespräches werden Vorstellungen von zwei Gruppen von Frank und Norbert präsentiert. Grundlage ist ein fotografiertes Arbeitsblatt, auf dem die Schüler Papierteilchen, auf denen Ethanol- und Wassermoleküle (in sticks&ball-Darstellung) abgedruckt sind, so angeordnet haben, dass die Moleküle ihrer Ansicht nach die Situation in der Lösung darstellen und damit die Volumenkontraktion erklären.

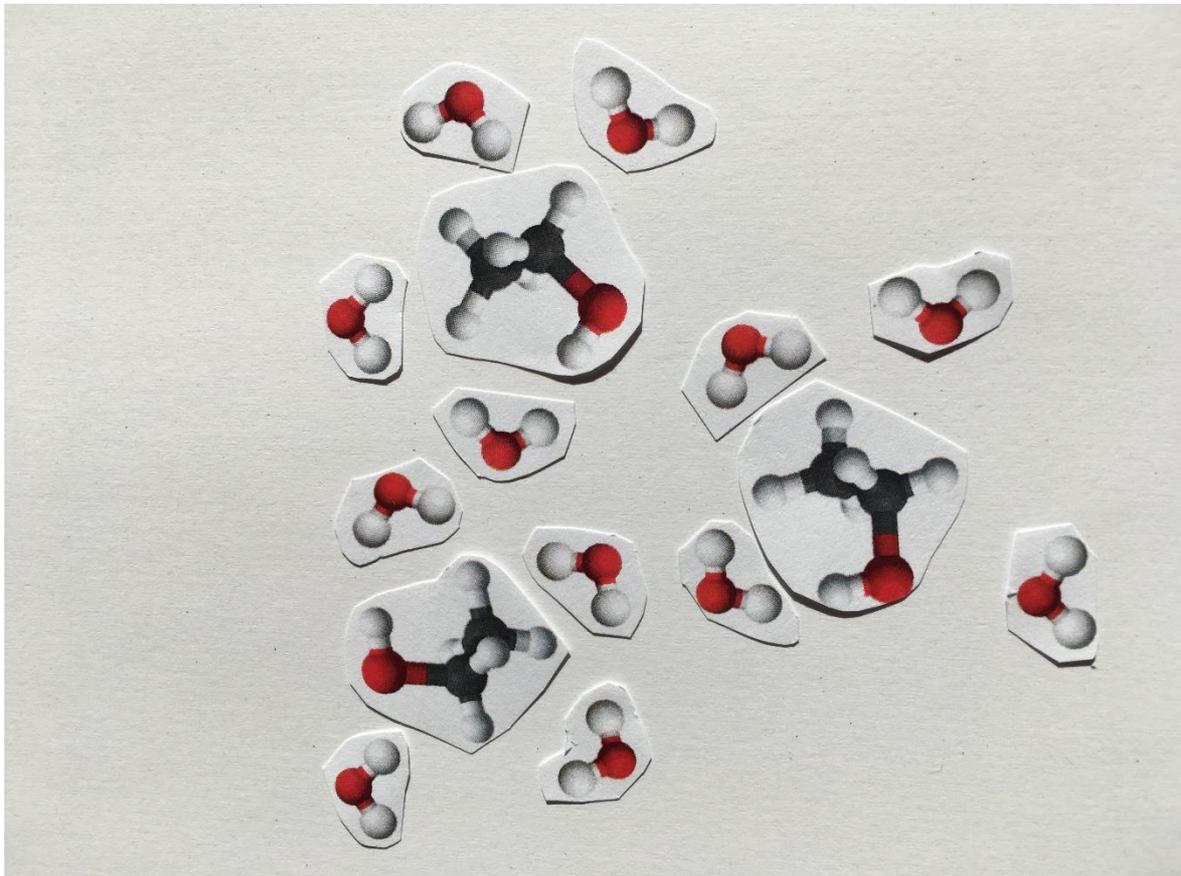


Abb. 29: Ergebnis der Gruppe 1 zur Teilchenebene in der Mischung von Ethanol und Wasser
Quelle: Eigene Darstellung

Frank korrigiert zunächst die Lage der Moleküle im Ergebnis der Gruppe 1 (vgl. Abb. 29) und weist darauf hin, dass sich Wasserstoffbrückenbindungen zwischen Wassermolekülen und der Hydroxylgruppe der Ethanolmoleküle ausbilden. Er erklärt: „(...) die Volumenkontraktion entsteht dadurch, dass Wasser sich zwischen die Ethanolmoleküle setzt“ (00:10 – 00:47). Im Anschluss stellt Norbert das Ergebnis seiner Gruppe vor. Es zeigt eine ähnliche Anordnung der Moleküle und Norbert schließt sich Franks Erklärung an: „Man sieht hier, wie das Frank auch schon gesagt hat, dass sich die Wassermoleküle an den polaren Teil des Ethanols setzen und dadurch Zwischenräume ausgenutzt werden (...)“ (01:10 – 01:40).

Nachdem die Ergebnisse verglichen wurden, fokussiert die Lehrkraft erneut auf die Erklärung der Kontraktion und fordert die Schüler mit dem Hinweis, dass ihre Argumentation noch nicht ausreicht, zur Ausarbeitung auf: „Tauscht euch noch einmal kurz mit euren Gruppenmitgliedern aus, denn jede Gruppe hat sich dazu Gedanken gemacht. Und dann tragen wir die Ideen noch einmal zusammen. Wie erklärt ihr die Kontraktion? Ihr habt Wechselwirkungen beschrieben, das haben wir geklärt. Die Kontraktion ist noch nicht klar“ (03:19-03:37).

Nachdem sich die Schüler kurz in ihren Gruppen ausgetauscht haben, meldet sich Thomas: „Wir haben uns gedacht, dass durch die Wasserstoffbrückenbindungen die Wassermoleküle in die Zwischenräume gezogen werden und dort gehalten werden und sich dort binden. Dadurch wird der Platz besser ausgenutzt, also bleibt weniger Raum übrig. Und dadurch hat man bei gleicher Teilchenzahl und gleicher Molekülanzahl trotzdem ein geringeres Volumen, weil sich die Dichte erhöht, also die Packungsdichte“ (04:31-05:08). Lara (05:09-05:22) und Nico (05:23-05:37) schließen sich der Erklärung von Thomas an. Norbert formuliert folgende Überlegung: „Wir hätten vielleicht noch den Begriff „Cluster“ mit eingebracht. Dass keine Cluster in der Mischung entstehen (und) deswegen der Platz besser ausgenutzt wird“ (05:23-05:37). Die Lehrkraft verstärkt seine Äußerung durch: „Macht damit weiter!“ (05:5-05:58). Norbert präzisiert: „In der Ethanol-Wasser-Mischung entstehen keine Cluster im Gegensatz zum Wasser und deswegen wird der Platz besser ausgenutzt“ (06:02-06:10). In diesem Moment scheint Nico die Bedeutung des Begriffs „Cluster“ klar zu werden, denn er sagt: „Jetzt weiß ich, was Cluster sind!“ (06:16-06:17). Die Lehrkraft fordert ihn zum genaueren Erklären auf.

Er deutet auf dem Arbeitsblatt auf die Abbildung von Wasser auf Teilchenebene (vgl. Abb. 30): „Das sind diese Aneinanderreihungen, in denen Zwischenräume entstehen. Und diese entstehen schlechter bei den Verbindungen“ (06:20-06:29). Mit dem Begriff „Verbindung“ meint Nico vermutlich die Mischung oder Lösung. Thomas greift diese neue Idee sofort auf und interpretiert das Bild dreidimensional: „Jedes Wassermolekül kann sich mit einem weiteren Wassermolekül über Wasserstoffbrückenbindungen verbinden und somit entsteht eine große Kette, die, wie man auch auf dem Bild sieht, ringförmig ist.“

Teilchenebene Wasser

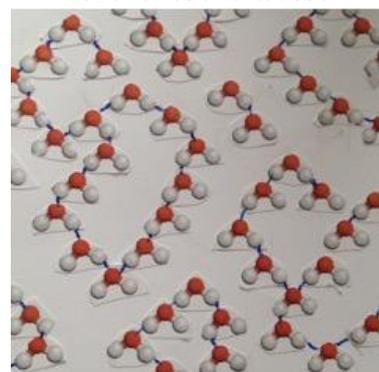


Abb. 30: Abbildung auf dem Arbeitsblatt

Quelle: Interviewte Lehrkraft

Und wenn man sich das Ganze dreidimensional vorstellt, entstehen Kugeln. Und Kugeln, die innen hohl sind, brauchen wesentlich mehr Platz, als wenn das Ganze ein kompakter Würfel wäre“ (07:18-07:46). Die Lehrkraft fordert anschließend die Schüler zur Metareflexion auf, indem sie fragt, inwiefern die Erklärung mit den Clustern tragfähiger sei (07:18-07:28). Marie erläutert (07:48-08:08), dass die Stärke der Wasserstoffbrückenbindungen in der Lösung nicht die Ursache sein kann, weil diese auch im Wasser vorliegen. Die Erklärung über die Störung der Clusterstruktur ist für sie überzeugender. Damit bezieht sich Marie auf die Anfangsvorstellungen, die zu Beginn der Stunde diskutiert wurden. Neben dem Kugelteilchenmodell (kleinere Wassermoleküle setzen sich wie kleine Kugeln zwischen die größeren Kugeln, den Ethanolmolekülen; Norbert, 00:31-00:59) wurde die Idee formuliert, dass die Wasserstoffbrückenbindungen die Ursache für die Volumenkontraktion sind. Thomas stellte sich anfangs vor, dass die Wasserstoffbrückenbindungen die Wasser- und Ethanolmoleküle stärker zusammenziehen und so das Volumen in der Mischung geringer wird (01:00-01:31).

Strukturierung: Konzepte und Denkfiguren im Ko-Konstruktionsprozess

Konzepte:

Zwischen Wasser- und Ethanolmolekülen bilden sich Wasserstoffbrückenbindungen. (*)

Wassermoleküle setzen sich zwischen die Ethanolmoleküle. (*)

In der Mischung von Ethanol und Wasser entstehen keine oder weniger Cluster. (*)

Im Wasser liegen Cluster-Strukturen vor. (*)

Wasserstoffbrückenbindungen ziehen die Moleküle zusammen (?)

~~Wasserstoffbrückenbindungen ziehen die Moleküle zusammen~~

Denkfiguren:

Kleine Kugeln füllen die Lücken zwischen großen Kugeln

Die Wasserstoffbrückenbindungen führen dazu, dass sich Wassermoleküle zwischen die Ethanolmoleküle setzen. Kleine Kugeln füllen die Lücken zwischen den großen Kugeln. Die höhere Packungsdichte führt zur Volumenkontraktion.

In der Lösung liegen keine Cluster wie im Wasser vor

In der Lösung entstehen keine Cluster wie im Wasser. Dadurch wird der Raum besser ausgenutzt. Dies führt zur Volumenkontraktion.

~~Wasserstoffbrückenbindungen ziehen die Moleküle zusammen~~

Weil sich Wasserstoffbrückenbindungen zwischen Wasser- und Ethanolmolekülen ausbilden, nähern sich die Moleküle an. Dies führt zur Volumenkontraktion.

6.2.2.6 Diskussion der Ergebnisse

Vergleich mit wissenschaftlichen Vorstellungen

Zunächst können die identifizierten Konzepte mit den wissenschaftlichen Vorstellungen verglichen werden. Die Tabelle 13 zeigt die Vorstellungen der Lernenden und die Vorstellungen, die aus wissenschaftlichen Quellen ermittelt wurden (vgl. Kap. 5). Bei den wissenschaftlichen Vorstellungen sind nur diejenigen aufgeführt, die den untersuchten Inhalt des Gespräches betreffen.

Tab. 13: Vorstellungen von Lernenden und Wissenschaftlern – Volumenkontraktion

	Vorstellungen der Lernenden	Wissenschaftliche Vorstellungen
Konzepte	Zwischen Molekülen bestehen Wechselwirkungen. (*)	Zwischen Molekülen bestehen Wechselwirkungen. (*)
	Zwischen Wassermolekülen bilden sich Wasserstoffbrückenbindungen. (*)	Zwischen Wassermolekülen bilden sich Wasserstoffbrückenbindungen. (*)
	Zwischen Ethanolmolekülen bilden sich Wasserstoffbrückenbindungen. (*)	Zwischen Ethanolmolekülen bilden sich Wasserstoffbrückenbindungen. (*)
	Zwischen Wasser- und Ethanolmolekülen bilden sich Wasserstoffbrückenbindungen. (*)	Zwischen Wasser- und Ethanolmolekülen bilden sich Wasserstoffbrückenbindungen. (*)
	Im Wasser liegen Cluster-Strukturen vor. (*)	Im Wasser liegen Cluster-Strukturen vor. (*)
		Im Ethanol liegen netzartige Strukturen vor. (?)
	In der Mischung von Ethanol und Wasser entstehen keine oder weniger Cluster. (*)	In einer Mischung aus Ethanol und Wasser entstehen Kettenstrukturen und verschiedene Cluster. (?)
	Wassermoleküle setzen sich zwischen die Ethanolmoleküle. (*)	
	Wasserstoffbrückenbindungen ziehen die Moleküle zusammen.	
Denkfiguren	Kleine Kugeln füllen die Lücken zwischen großen Kugeln	
	Die Wasserstoffbrückenbindungen führen dazu, dass sich Wassermoleküle zwischen die Ethanolmoleküle setzen. Kleine Kugeln füllen die Lücken zwischen den großen Kugeln. Die höhere Packungsdichte führt zur Volumenkontraktion.	

Vorstellungen der Lernenden	Wissenschaftliche Vorstellungen
<p>In der Lösung liegen keine Cluster wie im Wasser vor</p> <p>In der Lösung entstehen keine Cluster wie im Wasser. Dadurch wird der Raum besser ausgenutzt. Dies führt zur Volumenkontraktion.</p>	<p>Die Clusterstruktur von Wasser zerfällt</p> <p>Beim Lösevorgang wird die Clusterstruktur von Wasser gestört. Die Wassermoleküle werden durch Hydratationseffekte dichter gepackt. Dies führt zu einer Volumenkontraktion.</p>
<p>Wasserstoffbrückenbindungen ziehen die Moleküle zusammen</p> <p>Weil sich Wasserstoffbrückenbindungen zwischen Wasser- und Ethanolmolekülen ausbilden, nähern sich die Moleküle an. Dies führt zur Volumenkontraktion.</p>	

Quelle: Eigene Darstellung

Die Tabelle 13 zeigt, dass die meisten wissenschaftlichen Konzepte zu den Wechselwirkungen zwischen Wasser- und Ethanolmolekülen in den Reinstoffen und der Lösung auch im Gespräch der Lernenden diskutiert werden. Durch die vorgegebenen Infotexte (Wissensbausteine) diskutieren die Schüler leicht vereinfacht nur die Unterscheidung Cluster sind vorhanden bzw. nicht vorhanden. Die zugehörigen wissenschaftlichen Konzepte zeigen, dass die genauen Strukturen in der Mischung und im Ethanol noch nicht vollständig aufgeklärt sind (vgl. Kap. 5). Inhaltlich weitgehend übereinstimmend sind die Denkfiguren „In der Lösung liegen keine Cluster wie im Wasser vor“ und „Die Clusterstruktur von Wasser zerfällt“, wobei die wissenschaftliche Denkfigur etwas detaillierter ist und Hydratationseffekte mit anführt. Diese Unterschiede in den Konzepten entstehen durch das Material (Wissensbausteine), das den Schülern zur Verfügung steht. Für das zentrale Ziel der Unterrichtsstunde, die Erweiterung des Kugelteilchenmodells zum systemischen Teilchenmodell (vgl. Kap. 6.1.5) durch die Erklärung mit zwischenmolekularen Wechselwirkungen, reduziert die Lehrkraft die Einflüsse auf die Clusterstruktur im Wasser.

Stabilität des Kugelteilchenmodells

In Bezug auf die weiteren Konzepte und Denkfiguren der Lernenden zeigt sich eine hohe Stabilität der Denkfigur „Kleine Kugeln füllen die Lücken zwischen großen Kugeln“ und damit des Kugelteilchenmodells. Möglicherweise ist dies dadurch bedingt, dass dieser Denkansatz zu Beginn der Unterrichtsstunde aktiviert wurde, da zum Einstieg das Modell mit den Erbsen- und Senfkörnern, das häufig im Chemieanfangsunterricht verwendet wird (vgl. Kap. 6.1.6), gezeigt wurde. So ersetzen Thomas und Norbert den Begriff „Kugel“ zunächst nur durch den Begriff „Molekül“ und bleiben bei der Denkfigur „Kleine Kugeln füllen die Lücken zwischen großen Kugeln“ (00:31-01:31). Zusätzlich wird von Thomas (01:00-01:31) die Denkfigur „Wasserstoffbrückenbindungen ziehen die Moleküle zusammen“ gebildet, die am Ende des Gespräches von Marie (07:48-08:08) als nicht zutreffend abgelehnt wird. Obwohl für die Gruppenarbeit ein Informationstext über die Cluster-Struktur des Wassers und ein entsprechendes Bild zur Verfügung steht, bleibt die Denkfigur „Kleine Kugeln füllen die Lücken zwischen großen Kugeln“ bestehen. Norbert erklärt nach der Gruppenarbeit bei seiner Präsentation: „Man sieht hier, wie das Frank auch schon gesagt hat, dass sich die Wassermoleküle an den polaren Teil des Ethanol setzen und dadurch Zwischenräume ausgenutzt werden (...).“ (01:10 – 01:40). Da Norbert und Frank Ergebnisse von unterschiedlichen Gruppen vortragen, ist davon auszugehen, dass etliche Schüler weiterhin mit dem Kugelteilchenmodell argumentieren. Möglicherweise konnten auch mehrere Schüler, ähnlich wie Nico (06:16-06:17), den Begriff „Cluster“ nicht unmittelbar der Abbildung von Wasser auf Teilchenebene zuordnen und somit nicht für die Erklärung nutzen. Dies ist ein Hinweis auf Lernhürden durch Begriffe, die unklar sind oder mit anderen Bedeutungen aus dem Alltagsverständnis belegt sein können (vgl. Explikation des Begriffes „Cluster“, Kap. 4.2.2.).

Nach dem Hinweis der Lehrkraft, dass die Argumentation der Schüler noch nicht ausreicht (03:04-03:37), kombiniert Thomas das Kugelteilchenmodell mit einem Element der systemischen Teilchenvorstellung, indem er mit zwischenmolekularen Wechselwirkungen argumentiert: „Wir haben uns gedacht, dass durch die Wasserstoffbrückenbindungen die Wassermoleküle in die Zwischenräume gezogen werden und dort gehalten werden und sich dort binden. Dadurch wird der Platz besser ausgenutzt, also bleibt weniger Raum übrig (...)“ (04:31-05:08). Solche Kombinationen von Modellen werden auch in der Literatur beschrieben (z.B. Hadenfeldt & Neumann, 2012; vgl. Kap. 6.1.5). Man könnte dies auch als Versuch eines Anknüpfens (Kattmann, 2017) an die bisherige Vorstellung interpretieren: Thomas knüpft an seine Vorstellung von kleinen und großen Kugeln an und erklärt sich das Füllen der Lücken durch die Wasserstoffbrückenbindungen, die die Wassermoleküle aktiv an die Ethanolmoleküle heranziehen. Weitere Schüler

(z.B. Lara, 05:09 und Nico, 05:29) schließen sich der Meinung von Thomas an, möglicherweise denken zu dem Zeitpunkt des Gespräches noch mehr Schüler in ähnlicher Weise, was ein weiterer Beleg für die Stabilität des Kugelteilchenmodells ist.

Dann bezieht sich Norbert auf den Infotext mit der Cluster-Struktur des Wassers und entwickelt die fehlende Denkfigur „In der Lösung liegen keine Cluster wie im Wasser vor“ (06:02-06:10). Dieser Beitrag löst ein „Aha-Erlebnis“ von Nico aus („Jetzt weiß ich, was Cluster sind!“) und er rekonstruiert seine Vorstellung mit der neuen Vorstellung (06:20-06:29). In Folge beginnen mehrere Schüler, die neue Vorstellung zu verarbeiten: Thomas (07:18-07:46) stellt sich das Bild mit den Wasser-Clustern dreidimensional vor und Marie (07:48-08:08) erkennt nun, dass die Erklärung mit der Stärke der Wasserstoffbrückenbindungen (Denkfigur „Wasserstoffbrückenbindungen ziehen die Moleküle zusammen“) nicht stimmen kann.

Vor den Hintergrund der Kritik in der fachdidaktischen Literatur an dem Versuch „Volumenkontraktion bei einer Lösung von Ethanol und Wasser“ in Kombination mit dem Erbsen- und Senfkörner Modell (siehe Kap. 6.1.3.4) zeigen die Befunde, dass die Erklärung über kleine und große Kugeln für die untersuchte Schülergruppe plausibel ist und in Folge sehr stabil bleibt. Dabei ist anzunehmen, dass die Schüler der Jahrgangsstufe 11 von einem leeren Raum zwischen Teilchen ausgehen und daher das Kugelteilchenmodell widerspruchsfrei anwenden. Im Gegensatz dazu zeigt von Röneck (1982; vgl. Kap. 6.1.7) auf, dass im Anfangsunterricht Chemie Schüler zunächst Schwierigkeiten haben, sich leeren Raum zwischen Teilchen vorzustellen und daher das Erbsen-Senfkörner-Modell von sich aus nicht in Erwägung ziehen. In dem untersuchten Unterrichtsgespräch wird zudem deutlich, dass die neue Vorstellung (Erklärung über das Zerfallen der Cluster-Struktur des Wassers) ohne die Intervention der Lehrkraft von den Schülern nicht in Erwägung gezogen wird. Nach dem revidierten Conceptual Change - Ansatz (Strike & Posner, 1992; vgl. Kap. 2.3.2) scheint die Plausibilität der neuen Vorstellung im Vergleich zur Denkfigur „Kleine Kugeln füllen die Lücken zwischen großen Kugeln“ nicht für eine Veränderung auszureichen.

Im weiteren Verlauf der Unterrichtssequenz diskutieren die Schüler die Volumenexpansion einer Lösung von Wasser und iso-Octan. Dieser kognitive Konflikt wird von der Lehrkraft genutzt, um die Grenzen des Kugelteilchenmodells aufzuzeigen. Dieses Vorgehen wird auch in der fachdidaktischen Literatur empfohlen (z.B. Plehn, 2012; vgl. Kap. 6.1.4).

Lehrerbeiträge unterstützen Lernprozesse

In dem vorliegenden Fall findet eine zentrale Lehrerintervention an der Stelle statt, als deutlich wird, dass die Schüler nach der Gruppenarbeit mit den Informationstexten und dem Bild zur Cluster-Struktur des Wassers die Erklärung über das Zerfallen der Wasser-Cluster nicht entwickeln. Die Lehrkraft entscheidet sich für das Zeitgeben und die eigenständige Lösungsfindung der Schüler. Sie fokussiert erneut auf die Erklärung der Kontraktion und fordert die Schüler mit Hinweis, dass ihre Argumentation noch nicht ausreicht, zur Ausarbeitung auf: „Tauscht euch noch einmal kurz mit euren Gruppenmitgliedern aus, denn jede Gruppe hat sich dazu Gedanken gemacht. Und dann tragen wir die Ideen noch einmal zusammen. Wie erklärt ihr die Kontraktion? Ihr habt Wechselwirkungen beschrieben, das haben wir geklärt. Die Kontraktion ist noch nicht klar“ (03:19-03:37). Dieser Auftrag zum Ausarbeiten (vgl. formale Analyse Kap. 6.2.2.4), führt zu einer graduellen Veränderung der Denkfigur „Kleine Kugeln füllen die Lücken zwischen großen Kugeln“ bei Thomas und anderen Schülern (siehe oben) und zum Auftauchen eines neuen Vorschlages (Norbert, Denkfigur „In der Lösung liegen keine Cluster wie im Wasser vor“). Es ist anzunehmen, dass die Schüler ohne die Lehrerintervention beim Kugelteilchenmodell in der Erklärung stehen geblieben wären.

Ein weiterer wichtiger Impuls folgt von der Lehrkraft direkt auf Norberts Idee durch: „Macht damit weiter!“ (05:5-05:58). Das ist das Signal für alle Schüler, dass diese Idee zielführend ist und weiter ausgearbeitet werden soll. Nico wird jetzt auf den Begriff des „Clusters“ aufmerksam und erkennt den Zusammenhang von Infotext (Wissensbaustein) und Bild. Auf seine sponate Äußerung „Jetzt weiß ich, was Cluster sind!“ (06:16-06:17) fordert ihn die Lehrkraft zum genauen Erklären auf, um mehr über seine Vorstellung von Clustern zu erfahren (06:18 - 06:19). Damit hören auch alle Schüler, was „Cluster“ sind. In der weiteren Folge beginnen mehrere Schüler mit dem Ausarbeiten der Idee. In den Rekonstruktionsprozessen bezieht zum Beispiel Thomas das Bild der Cluster mit ein und stellt sich das dreidimensional vor (07:18-07:46) und Marie vergleicht die Plausibilität der Erklärungsansätze und kommt zu dem Schluss, dass die Erklärung über die Cluster tragfähiger ist (07:48-08:08).

Die Moderation der Lehrkraft zeigt in diesem Gesprächsausschnitt flexible, unterstützende Maßnahmen im Sinne des Scaffolding, das Lernprozesse nachweislich unterstützt (vgl. Kap. 2.1.2). Als die Schüler zunächst nicht den neuen Erklärungsansatz über die Cluster finden, gibt die Lehrkraft nicht selbst die Erklärung und nimmt damit den Schülern das Denken ab (vgl. Kap. 2.5.2; Leisen, 2017), sondern regt noch einmal zum Austausch an, damit der Denkprozess in Ko-Konstruktion von der Schülergruppe geleistet werden kann (vgl. inhaltlich strukturierte

rende Scaffolding Maßnahmen nach Möller, 2016; vgl. Kap. 2.1.2). Auch das Hervorheben wichtiger Schüleräußerungen (wie bei Norbert und Nico) wird in den Scaffolding Maßnahmen benannt. Im Bereich der kognitiv anregenden Maßnahmen des Scaffoldings wird das Nachdenken über Lernwege aufgeführt. Auch zu dieser Metareflexion regt die Lehrkraft explizit an, indem sie fragt: „Inwiefern ist diese Erklärung (über die Cluster) noch tragfähiger als das, was ihr am Anfang diskutiert habt?“ (07:29 - 07:28). Marie stellt daraufhin fest, dass die Denkfigur „Wasserstoffbrückenbindungen ziehen die Moleküle zusammen“ nicht richtig sein kann.

Zusammenfassung der Diskussion zur inhaltlichen Analyse des Gespräches (Volumenänderung bei Lösungen)

- Schülervorstellungen und wissenschaftliche Vorstellungen stimmen in vielen Konzepten überein. Gemeinsam ist auch die Denkfigur, die den Zerfall der Cluster im Wasser beinhaltet. Zusätzliche Denkfiguren der Lernenden basieren auf dem Kugelteilchenmodell und der Wirkung von Wasserstoffbrückenbindungen.
- Die Denkfigur „Kleine Kugeln füllen die Lücken zwischen großen Kugeln“ ist sehr stabil und wird zur Erklärung der Volumenkontraktion auch nach der Gruppenarbeit herangezogen. Die zugrundeliegenden Vorstellungen besitzen für die Lernenden eine hohe Plausibilität. Eine explizite Diskussion der Grenzen des Kugelteilchenmodells ist daher empfehlenswert.
- Bei der Weiterentwicklung der Denkfigur „Kleine Kugeln füllen die Lücken zwischen großen Kugeln“ treten Kombinationen von Teilchenmodellen auf und ein Anknüpfen an eine vorhandene Vorstellung ist zu beobachten.
- Der Begriff „Cluster“ könnte eine Lernhürde darstellen. Sein Verständnis ist für die Denkfigur „In der Lösung liegen keine Cluster wie im Wasser vor“ zentral.
- Die Intervention der Lehrkraft in der Diskussion der Gruppenergebnisse ist nötig, damit die Schüler die Denkfigur „In der Lösung liegen keine Cluster wie im Wasser vor“ entwickeln können.
- Die Lehrkraft gibt nicht (vorschnell) eine eigene Erklärung, sondern fordert einen erneuten Ko-Konstruktionsprozess von den Schülern ein. Danach wird von einer Schülergruppe die Denkfigur „In der Lösung liegen keine Cluster wie im Wasser vor“ eingebracht.
- Die moderierenden Lehrerbeiträge sind Beispiele für kognitive anregende und inhaltlich strukturierende Scaffolding Maßnahmen wie das Anregen zum (erneuten) Austausch über Vorstellungen und zur Metareflexion oder das Hervorheben wichtiger Schüleräußerungen.

6.3 Lernerperspektiven zum individuellen Lernprozess und zur Rolle der Lehrkraft in den Gesprächen

Das Kapitel zeigt die Ergebnisse einer retrospektiven Befragung (vgl. Kap. 4.4) der Lernenden zum individuellen Lernprozess während der Schülerdiskussionen und zur Rolle der Lehrkraft bei der Lenkung dieser Unterrichtsgespräche. Der Fokus liegt dabei auf dem Beitrag der Schülerdiskussionen zum individuellen Lernprozess. Die Ergebnisse zeigen förderliche Bedingungen für den Lernprozess aus Sicht der Lernenden und wie sie die Rolle der Lehrkraft in den Gesprächen wahrnehmen.

6.3.1 Fragestellungen des Kapitels

Welche Rolle hat die Lehrkraft in den Gesprächen aus Sicht der Lernenden? Welche individuellen Lernprozesse beschreiben die Schüler innerhalb der Gespräche?

6.3.2 Datenerhebung und -auswertung

Die Schüler werden retrospektiv zu ihrem Lernprozess und zur Rolle der Lehrkraft befragt. Da der eigene Lernprozess und die Wahrnehmung der Rolle der Lehrkraft individuumsbezogen und damit zunächst unbekannt sind, wird eine qualitative Inhaltsanalyse mit induktiver Kategorienbildung nach Mayring (2015) durchgeführt. Das Vorgehen wird im Kapitel 4, Punkt 4.8 beschrieben. Das Ergebnis dieses Vorgehens ist ein Kategoriensystem zur Fragestellung, das mit konkreten Textauszügen verbunden ist. Da aus dem vorliegenden Material nur wenige Kategorien gebildet werden konnten, wurde für die weitere Analyse das ganze Kategoriensystem mit einer zusammenfassenden Inhaltsanalyse interpretiert.

6.3.3 Ergebnisse

Die nachfolgende Tabelle (14) zeigt im Überblick die zentralen Aussagen der befragten Schüler der Jahrgangsstufen 8 und 11 zu den Gesprächen in beiden Unterrichtsphasen. Die Buchstaben zeigen die Zugehörigkeit an (A eigener Lernprozess; B Rolle der Lehrkraft), die Aussagen sind (bis auf B0) nach Häufigkeit sortiert (kleine Ziffer - häufiges Auftreten). Die Ziffern in den Spalten 3 und 4 geben die Anzahl der Schüler an, die sich zur jeweiligen Kategorie geäußert haben. Abkürzungen: U1: Unterrichtsphase „Vorstellungen entwickeln“; U2: Unterrichtsphase „Lernprodukt diskutieren“; n: Gesamtanzahl der befragten Schüler; K8: Jgst. 8; K11: Jgst. 11

Tab. 14: Lernerperspektiven zum individuellen Lernprozess und zur Rolle der Lehrkraft

Lernerperspektiven zu den Gesprächen	Verteilung der Aussagen / Anzahl der Lernenden		
	K8 (n=8)	K11 (n=5)	Phase
<i>Aussagen zum individuellen Lernprozess</i>			
A1 Lernende vergleichen ihre Vorstellungen.	8	5	U1
	4	4	U2
A2 Lernende erkennen Zusammenhänge und ziehen Schlussfolgerungen.	---	---	U1
	8	4	U2
A3 Lernende schätzen die fachliche Richtigkeit ab.	5	4	U1
	---	---	U2
A4 Lernende verstehen Erklärungen von Mitschülern besser.	---	2	U1
	1	1	U2
A5 Die Lösung wird deutlich.	---	---	U1
	2	1	U2
<i>Aussagen zur Rolle der Lehrkraft</i>			
B0 Keine sichere Wahrnehmung.	2	---	U1
	1	---	U2
B1 Die Lehrkraft fördert Schülerdiskussionen und Erklärungen durch Lernende.	3	3	U1
	4	2	U2
B2 Die Lehrkraft gibt Denkanstöße und leitet zur Vertiefung an.	4	4	U1
	4	---	U2
B3 Die Lehrkraft gibt Rückmeldung zur fachlichen Richtigkeit von Schülervorstellungen.	1	4	U1
	6	---	U2
B4 Die Lehrkraft lässt Vorstellungen visualisieren. Sie strukturiert, dokumentiert und fasst Gesprächsergebnisse zusammen. Sie sorgt für zeitlich effektive Gespräche.	1	4	U1
	1	1	U2

Quelle: Eigene Darstellung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Schülerinterviews beschrieben und analysiert. Angaben wie (8/8) stellen die Häufigkeiten dar (8 von 8 befragten

Schülern). Die Fundstellen der Zitate wie „K8-S2-11“ verweisen auf die redigierten Aussagen und entsprechen der Codierung in den QDA-Dateien. K8 bzw. K11 gibt Auskunft über die Jahrgangsstufe (K8: Jgst. 8; K11: Jgst. 11), mit Bezeichnungen wie S2 wurden die Schüler anonymisiert, die letzte Ziffer der Fundstelle (z.B. 11) gibt die Zeile im redigierten Transkript an. Die im Text verwendeten Vornamen der Schüler wurden geändert.

A) Aussagen der Schüler zum individuellen Lernprozess

In diesem Abschnitt werden die Aussagen der interviewten Schüler zur Rolle der Schülerdiskussionen im Unterrichtsgespräch in Bezug auf ihr Lernen dargestellt. Insgesamt wurden fünf Kategorien identifiziert, die zum Teil mehrere inhaltliche Aspekte enthalten. An vielen Stellen erläutern und begründen die Schüler ihre Lernprozesse.

A1 Schüler vergleichen ihre Vorstellungen

In der Phase „Vorstellungen entwickeln“ (U1) schildern in beiden Jahrgangsstufen alle befragten Schüler (8/8 und 5/5), dass sie ihre Vorstellungen mit den Vorstellungen der Mitschüler vergleichen und auch bei der Diskussion ihrer Lernprodukte (Phase U2) wird das Vergleichen häufig (4/8 und 4/5) genannt.

Beim Vorgang des Vergleichens beschreiben Schüler unterschiedliche Aspekte, die im Folgenden mit Einzelbeispielen verdeutlicht werden.

Lara (16 Jahre) schildert, dass sie durch die Vorschläge der Mitschüler zur Volumenkontraktion zum Perspektivwechsel angeregt wird und dass sie versucht, sich in die Denkweise der Anderen hineinzusetzen „Wenn ich die Denkweisen der Mitschüler höre, ist es so, dass man selber immer mit dabei ist und sich das selber auch vorstellt“ (K11-S3-14).

Lukas (14 Jahre) beschreibt sehr detailliert, wie sich die Diskussion zu den verschiedenen Schülerzeichnungen zum atomaren Aufbau der Goldfolie auf seine Vorstellung auswirkt: „Ich habe erfahren, wie die Mitschüler denken, weil ich gesehen habe, dass mehrere ein Gitter gemalt haben, das haben wir auch gemacht. Wir haben gedacht, dass positiv und negativ geladene Teilchen im Gitter enthalten sind. Doch bei dem Beispiel hier war ja einmal nur negativ und einmal nur positiv. Und dann haben wir auch darüber nachgedacht. Durch die Bilder konnte man gut vergleichen, wie die anderen Schüler gedacht haben und als ich das gesehen habe, sind mir nochmal neue Ideen gekommen“ (K8-S5-12-13). Lukas nimmt Unterschiede zur eigenen Vorstellung wahr und gibt an, dass diese ihn anregen, die Hypothesen der anderen Gruppen zu verstehen. Er erläutert,

dass dadurch seine eigene Vorstellung angereichert und durch neue Aspekte ergänzt wird.

Norbert (17 Jahre) berichtet in ähnlicher Weise wie Lukas: er stellt sich Fragen zu den Hypothesen der Mitschüler, die die Volumenkontraktion erklären und überlegt, ob und wie er seine eigene Vorstellung nach dem Gehörten anpasst: „Wenn ich (...) die Ideen der anderen Schüler höre, ist es öfter so, dass ich denke: "Okay, den Aspekt, den hatte ich jetzt nicht bedacht. Lässt sich der mit dem vereinbaren, was ich mir gedacht habe oder muss ich meine Theorie ändern?" (K11-S5-22).

Ein weiterer Aspekt betrifft den Mehrwert des Unterrichtsgesprächs zum einen in Bezug auf eine gemeinsame und dadurch erfolgreichere Lösungsfindung und zum anderen hinsichtlich mehrerer Lösungswege. So formuliert Lara (16 Jahre) zur Erklärung der Volumenexpansion, dass „jeder eine Idee (hat) und dann kommen wir am Ende zusammen auf etwas“ (K11-S3-12). Und Daniel (13 Jahre) benennt den Mehrwert der Diskussion im Plenum im Vergleich zur zuvor stattgefundenen Kleingruppenarbeit, in der die Schüler Lösungen zum Aufbau der Atome entwickeln sollten: „Ich habe noch mehr (zu den Lösungsansätzen) erfahren als in unserer kleinen Gruppe und dabei waren die anderen Lösungen wichtig. Andere Wege, wie man es noch lösen kann“ (K8-S4-29).

A1 Zentrale Aspekte

- Perspektivwechsel, andere Denkweisen nachvollziehen
- Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den Vorstellungen bemerken
- die eigene Vorstellung wird verändert und ergänzt
- Mehrwert der Schülerdiskussion im Unterrichtsgespräch durch Vielfalt der Vorstellungen und Lösungsansätze

A2 Schüler erkennen Zusammenhänge und ziehen Schlussfolgerungen

Fast alle befragten Schüler beider Jahrgangsstufen (8/8 und 4/5) beschreiben für die Phase U2 „Lernprodukt diskutieren“ Prozesse, in denen sie Zusammenhänge erkennen und Schlussfolgerungen ziehen. Im Folgenden werden die einzelnen Prozesse an ausgewählten Beispielen verdeutlicht.

Lukas (17 Jahre) betont die Eigenständigkeit der Schüler bei der Erarbeitung der Volumenexpansion und dass sie sich in den Gesprächen gegenseitig helfen: „Man kann ihnen (den anderen Gruppen) helfen, das besser zu verstehen, sie

können uns helfen, wenn sie unser Modell sehen. Und sie können uns sagen, was wir besser machen können oder wo wir noch Probleme haben“ (K11-S-4-24).

Thomas (17 Jahre) beschreibt, dass er neue Zusammenhänge durch die Diversität der Erklärungen und die bildlich dargestellten Lösungsvorschläge zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen in Mischungen entdeckt: „Und weil jeder Schüler das ein bisschen anders erklärt und auch - z.B. wenn wir so Bilder gelegt haben - das anders gelegt hat, fällt mir dann eher ein Zusammenhang auf (...)“ (K11-S1-39).

Norbert (17 Jahre) hat durch die Diskussion der Gruppenergebnisse in der Klasse neue Informationen für sein Verstehen der zwischenmolekularen Wechselwirkungen erhalten: „(...)die (andere Gruppe) hatte das mit mehreren Teilchen dargestellt und unsere Gruppe hatte nur relativ wenige. Und wie das dann im Gesamten aussah und wie die Teilchen dann auch untereinander nochmal verbunden sind, das hatten wir nicht dargestellt und das fand ich noch besser von den anderen Gruppen, dass man das noch besser verstehen konnte“ (K11-S-5-28).

Auch Jonas (14 Jahre) benennt und erklärt im Interview eine entscheidende Stelle seines Lernprozesses in der Schülerdiskussion, als er die noch fehlende Information zum Verständnis des Verhaltens der Alphateilchen durch eine Mitschülerin erhält: „Im Vergleich zur Gruppenarbeit hat mir das Gespräch in der Klasse noch mehr geholfen, weil wir (in unserer Gruppe) nicht wussten, wie ein Atom aussieht. Und wir wussten noch nicht, warum manche Strahlen abgelenkt werden und manche nicht. Und beim Gespräch in der Klasse kam dann dieser Punkt, an dem wir das verstanden haben, weil die (Schülerin) das erzählt hat, dass die Strahlen alle vorbeifliegen. Und das hat sie vorher noch nicht gesagt. Und dann hatten wir das aufgelöst und danach habe ich das alles verstanden“ (K8-S7-23).

Melanie (14 Jahre) gibt an, dass sie die erarbeiteten Schlussfolgerungen zum Streuverhalten der Alpha-Teilchen mit ihren Vorstellungen zu Beginn der Unterrichtsstunde in Bezug setzt und ihr dabei der Zugewinn an Wissen deutlich wird: „Natürlich haben wir immer mehr unsere Schlussfolgerungen daraus (aus der Diskussion) gezogen und dann hatten wir ganz am Ende die richtige Lösung und haben unsere Fehler vom Anfang auch erkannt“ (K8-S6-25).

A2 Zentrale Aspekte

- Schüler erarbeiten die Lösung und helfen sich gegenseitig
- neue und fehlende Informationen werden durch Mitschüler ergänzt
- Zusammenhänge werden erkannt und Schlussfolgerungen gezogen

A3 Schüler schätzen die fachliche Richtigkeit ihrer Vorstellungen ab

Eng mit dem Prozess des Vergleichens (vgl. A1) verknüpft ist der Versuch, die Plausibilität der eigenen Vorstellung und die der Mitschüler hinsichtlich der fachlichen Richtigkeit abzuschätzen. Mehr als die Hälfte der interviewten Schüler (5/8 und 4/5) bezeichnen diesen Vorgang als bedeutsam für ihr Lernen. Alle Schüler führen dieses Abschätzen ausschließlich für die Phase U1 „Vorstellungen entwickeln“ an. Im Folgenden wird diese Kategorie durch ausgewählte Einzelbeispiele verdeutlicht.

So stellt sich Doris (13 Jahre) während des Gesprächs zu den verschiedenen Vorstellungen zum Trefferbild des Rutherford'schen Streuversuchs die grundlegende Frage, „was stimmen könnte oder (...) garantiert falsch ist“ (K8-S3-11).

Daniel (13 Jahre) versucht zunächst, die Denkweisen der Mitschüler, die zu den gezeichneten Trefferbildern der Alpha-Teilchen geführt haben zu verstehen (vgl. A1). Danach überlegt er, ob die Vorstellungen richtig oder falsch sind. Fehlerhafte Vorstellungen regen ihn zum weiteren Nachdenken an: „Die Trefferbilder der anderen an der Tafel zu sehen war interessant: was die anderen so denken. Zuerst habe ich darüber nachgedacht, was die (Mitschüler) sich dabei gedacht haben und dann habe ich gesehen: nein, das kann nicht so sein und dann habe ich weiter überlegt“ (K8-S4-11). In ähnlicher Weise beschreibt Lukas (17 Jahre) das Abschätzen, welche Schülervorstellungen zur Volumenkontraktion richtig sein könnten. Er führt zusätzlich an, dass er einen Bezug zur eigenen Vorstellung aufbaut (vgl. Aspekt in A1): „(...) und dann hört man sich die Sachen (Vorschläge) von den Anderen an und überlegt: "Macht das von ihnen mehr Sinn? Was genau kann ich dazu auf meine Idee beziehen?" (K11-S4-11).

In Bezug auf das Gespräch zur Volumenkontraktion erklärt Nico (16 Jahre), dass er durch das Erkennen von richtigen und falschen Schüleraussagen lernt. Er begreift Fehler als Lernchance und führt dabei die Zusammenarbeit und die gegenseitige Unterstützung der Schüler (vgl. Aspekt A2) an: „Wenn wir in der Klasse sprechen, bringt es etwas, wenn jemand etwas sagt, bei dem man weiß, das ist falsch. Oder wenn man weiß, das ist richtig. Man baut sich gegenseitig auf und dann kommt man zusammen zu einer Lösung - entweder durch falsche Thesen oder durch richtige“ (K11-S2-14).

A3 Zentrale Aspekte

- Abschätzen der fachlichen Richtigkeit der diskutierten Vorstellungen
- fehlerhafte Vorstellungen regen zu weiterem Nachdenken an

- richtige und falsche Vorstellungen helfen bei der gemeinsamen Lösungsfindung

A4 Schüler verstehen Erklärungen von Mitschülern besser

Insgesamt vier der befragten Schüler (1/8 und 2/5) geben an, dass die Erklärungen durch Mitschüler in den Gesprächen wesentlich zu ihrem Verständnis beitragen. So erläutert Melanie (14 Jahre) zur Deutung des Streuversuchs von Rutherford: „Es gibt es auch ganz oft in der Schule, dass Lehrer etwas erklären, man versteht es nicht - und würde man die Schüler miteinbeziehen und darüber reden, dann wäre das viel leichter“ (K8-S6-31).

In der Jahrgangsstufe 11 vermutet Thomas (17 Jahre) als Ursache für dieses Phänomen das ähnliche Problemverständnis von Schülern und die Art, die Erklärung sprachlich auszudrücken: „Schüler können das besser ausdrücken und vielleicht auch eher die Probleme verstehen als ein Lehrer. Das habe ich schon oft erlebt, dass ein Lehrer nicht ganz verstanden hat, wo mein Problem lag und dass mir dann die Mitschüler helfen konnten“ (K11-S1-15).

A4 Zentraler Aspekt

- Erklärungen von Mitschülern sind leichter verständlich

A5 Die Lösung wird deutlich

Für die Unterrichtsphase U2 „Lernprodukt diskutieren“ berichten drei der befragten Schüler (2/8 und 1/5), dass Schülerdiskussionen das Lernen unterstützen, weil im Verlauf des Gesprächs die Lösung bzw. das richtige Ergebnis erarbeitet wird. Die zwei Schüleraussagen der Jahrgangsstufe 8 fokussieren dabei vornehmlich auf das Lernen aus Fehlern, Nico (16 Jahre, Jgst. 11) ergänzt das Lernen durch bestätigende Aussagen: „In der Diskussion bringt mich die Bestätigung, wenn etwas Richtiges dabei ist, wenn was Falsches dabei ist, der Widerspruch beim Lernen weiter“ (K11-S-2-35).

A5 Zentraler Aspekt

- die Lösung des Problems wird im Verlauf der Schülerdiskussion deutlich

B) Aussagen der Schüler zum Beitrag der Lehrkraft in den Gesprächen

In diesem Abschnitt werden die Aussagen der interviewten Schüler zur Rolle der Lehrkraft in den Gesprächen dargestellt. Insgesamt wurden fünf Kategorien identifiziert, die zum Teil mehrere inhaltliche Aspekte enthalten. An vielen Stellen nennen die Schüler nicht nur den Beitrag der Lehrkraft, sondern beschreiben auch dessen Wirkung auf ihr Lernen.

B0 Keine sichere Wahrnehmung

In der Jahrgangsstufe 8 konnten für die Phase „Vorstellungen entwickeln“ zwei der befragten Schüler (S7 und S8) keine Wahrnehmungen zu Aktivitäten der Lehrkraft formulieren. Für die Phase „Lernprodukt diskutieren“ war sich eine Schülerin der Jahrgangsstufe 8 (S1) in ihrer Wahrnehmung in Bezug auf den Beitrag der Lehrkraft unsicher.

B0 Zentraler Aspekt

- keine sichere Wahrnehmung zum Beitrag der Lehrkraft

B1 Die Lehrkraft fördert Schülerdiskussionen und Erklärungen durch Schüler

Fast alle interviewten Schüler (7/8 und 5/5) machen Aussagen zur Förderung von Schülerdiskussionen und -erklärungen durch die Lehrkraft. Dazu sind verschiedene Aspekte identifiziert worden, die im Folgenden an ausgewählten Einzelbeispielen verdeutlicht werden.

Lara (16 Jahre) bemerkt, dass sich die Lehrkraft während den Gesprächen zur Volumenänderung beim Mischen von Flüssigkeiten auf die Schülerbeiträge konzentriert: „Die Lehrerin hört genau zu, was wir sagen und wie wir das formulieren“ (K11-S3-16).

Saskia (14 Jahre) schildert, wie die Lehrkraft Schüler zum Erläutern ihrer Trefferbilder auffordert und sich selbst zurückhält. Sie vermutet als Ziel dieser Methode (Meldekette) die eigenständige Lösungsfindung durch die Schüler: „Die Lehrerin hat eine Meldekette gemacht. Sie hat einfach die Schüler darüber reden lassen und sich nicht mehr eingemischt. Und sie will dann sehen, wie sich die einzelnen Schüler weiterbringen, auch ohne die Hilfe vom Lehrer“ (K8-S2-23).

Thomas (17 Jahre) stellt fest, dass die Lehrkraft im Gespräch zur Volumenexpansion zunächst Schüler zu Erklärungen auffordert, bevor sie selbst Erklärungen

gibt: „Und wenn man dann noch eine Frage hat, die andere Schüler nicht erklären können oder man es trotzdem nicht verstanden hat, obwohl man es von den Mitschülern erklärt bekommen hat, kann die Lehrerin uns das meistens so erklären, dass man es dann auch verstanden hat“ (K11-S1-19). Auch Chris (14 Jahre) führt eine ergänzende Lehrerklärung im Gespräch zur Deutung des Rutherford'schen Streuversuchs als hilfreich an: „Das Klassengespräch hat mir (...) noch weiter beim Verstehen geholfen, weil alle Schüler mitgeholfen haben und die Lehrerin ein bisschen mehr mit erklärt hat“ (K8-S8-31).

Melanie (14 Jahre) bezieht sich auf das bessere Verständnis von Schülererklärungen (vgl. A4) und beschreibt die lernförderliche Beteiligung der Schüler beim Diskutieren: „(...) würde man die Schüler (bei Erklärungen) mit einbeziehen und darüber reden, dann wäre das viel leichter. Und das macht die Lehrerin, sie bezieht uns mit ein, um etwas zu lernen“ (K8-S6-31).

B1 Zentrale Aspekte

- die Lehrkraft hält sich während den Gesprächen zurück und hört genau zu
- Förderung von Schülerdiskussionen und Erklärungen durch Schüler
- Lehrerklärungen erfolgen (erst), wenn Schüler diese nicht leisten können

B2 Die Lehrkraft gibt Denkanstöße und leitet zur Vertiefung an

Die meisten der befragten Schüler (8/8 und 4/5) äußern sich zu dieser Lehreraktivität. Nico (16 Jahre) erachtet dies als eine Wegweisung an entscheidenden Stellen im Gespräch: „Die Lehrerin lässt uns ziemlich viel machen, aber sie hilft dann an den entscheidenden Stellen“ (K11-S2-16). Thomas (17 Jahre) erläutert, dass die Lehrkraft „die Gesprächsführung (hat). Zum Beispiel, dass sie darauf achtet, dass sie uns zielführende Denkanstöße gibt und man dadurch das Ganze besser versteht“ (K11-S1-19).

Von den Schülern wurden unterschiedliche Anlässe für diese Aktivitäten der Lehrkraft genannt: a) wenn die Schüler in ihren (richtigen) Überlegungen nicht mehr weiterkommen, b) wenn sich Schüler unsicher sind, weil verschiedene Vorstellungen zur Diskussion stehen und die Schüler auf keine gemeinsame Einschätzung dazu gekommen sind oder c) wenn der Denkweg von Schülern nicht mehr zielführend ist. Letzteren Aspekt formuliert zum Beispiel Thomas (17 Jahre) im Zusammenhang mit der Änderung von Volumina beim Mischen von Flüssigkeiten: „Sie (die Lehrerin) schaut zu, wie wir diskutieren und falls dann die gesamte Klasse auf den falschen Weg kommt, gibt sie auch Anstöße wie "Denkt mal vielleicht an das!" oder „An den Punkt habt ihr jetzt gar nicht gedacht!" (K11-S1-17 und 19).

Verschiedene Schüleraussagen beschreiben weitere Ausprägungen dieser Aktivität der Lehrkraft. Nachfolgend werden dazu Beispiele angeführt:

Durch Denkanstöße fokussiert die Lehrkraft das Gespräch inhaltlich und leitet zur Vertiefung oder Zusammenfassung an. Schüler beider Jahrgangsstufen beziehen sich hierbei auf konkrete Sprechakte der Lehrkraft. Doris (13 Jahre) berichtet zum Beispiel von vertiefenden Anleitungen: „Sie (die Lehrkraft) hat uns immer darauf aufmerksam gemacht, ob wir da irgendwas übersehen, über dies und das sollen wir nochmals nachdenken“ (K8-S3-27). Und Nico (16 Jahre) erläutert hierzu: „Oder sie (die Lehrerin) bleibt bei einem Punkt stehen. Dann weiß man, da muss man nochmal ein bisschen weiter darüber nachdenken, damit man weiterkommt“ (K11-S2-16). Lara (16 Jahre) ergänzt weitere Sprechakte der Lehrkraft, die auf Zusammenfassung abzielen: „(...) dann sagt sie auch: Und was

ist jetzt das Ergebnis von eurer Diskussion und inwiefern könnt ihr das anwenden?“ (K11-S3-16).

Thomas (17 Jahre) beschreibt in der Diskussion zur Volumenexpansion einen Denkanstoß der Lehrkraft als fachliche Information: „Und als die Lehrerin uns die Struktur genannt hatte - das 2-2-4 Trimethylpentan war das - wusste ich, dass da drei Abzweigungen waren, die dafür sorgen, dass der Stoff noch mehr Raum einnimmt, als ich vorher schon gedacht hatte“ (K11-S1-21).

Hinweise der Lehrkraft zum Denkansatz waren für Jonas (14 Jahre) entscheidend, um im Gespräch auf dem Lösungsweg zur Deutung des Streuversuchs von Rutherford weiterzukommen: „Wir hätten gewusst, dass manche Strahlen durchgehen und manche nicht, aber ohne die Lehrerin hätten wir überhaupt keinen Ansatz gehabt, wie wir das herausfinden sollen, dass manche abgelenkt werden“ (K8-S7-29). Ähnlich argumentiert Daniel (13 Jahre). Er ist der Meinung, dass die Schüler bei der Diskussion „eigentlich nicht selbst den Zusammenhang herstellen“ können und die Lehrkraft ihnen hier wichtige Hilfestellung gibt (K8-S4-18-19).

Lukas (14 Jahre) bemerkt, dass die Lehrkraft das Gespräch durch Fragen weiterbringt: „Die Lehrerin hat geholfen, weil sie immer wieder Fragen gestellt hat, die dann zum besseren Verständnis beitragen“ (K8-S5-16-17). Auch Lara (16 Jahre) spricht von Leitfragen, die die Lehrkraft stellt und dass sie „auch Nachfragen (stellt), wenn etwas unpassend formuliert ist oder missverständlich“ (K11-S3-16). Melanie (14 Jahre) beschreibt als Wirkung des Nachfragens der Lehrkraft das eigenständige Nachdenken über die Problemlösung: „Die Lehrerin hat die Schüler aufgerufen und immer nachgefragt. Das ist was, was sie immer macht: und das ist auch gut, damit man nicht einfach aufgibt und sagt o.k., das ist so und so. Sondern dass die Lehrerin auch mal die Schüler fragt, damit die Schüler selber darauf kommen und nachdenken“ (K8-S6- 29).

B2 Zentrale Aspekte

- die Lehrkraft wird an entscheidenden Stellen im Gespräch aktiv
- Anleitung der Schüler zur Vertiefung und Zusammenfassung
- die Lehrkraft unterstützt die Schüler auf ihrem Lösungsweg durch Denkanstöße in Form von Fragen, Hinweisen zum Denkansatz oder fehlenden fachlichen Informationen

B3 Die Lehrkraft gibt Rückmeldungen hinsichtlich der fachlichen Richtigkeit von Schülervorstellungen

Die meisten der befragten Schüler (7/8 und 4/5) benennen Rückmeldungen der Lehrkraft als wichtigen Beitrag in Gesprächen. Sie erfahren dadurch, ob sich die diskutierten Vorstellungen an die fachliche Vorstellung annähern oder dieser entsprechen bzw. nicht entsprechen.

Thomas (17 Jahre) bringt allgemein den wertschätzenden Umgang der Lehrkraft bei Rückmeldungen bzw. Korrekturen zur Sprache: „Wenn wir irgendetwas Falsches sagen, korrigiert sie (die Lehrerin) uns auch auf eine respektvolle und höfliche Art und Weise, ohne uns Vorwürfe zu machen. Und ohne, dass man jetzt denkt "Ich bin so schlecht, ich weiß gar nichts." Sondern man denkt dann: "Stimmt, das habe ich vergessen, ja, okay." Und dann weiß man das fürs nächste Mal“ (K11-S1-29).

Einzelne Schüler beschreiben verschiedene Wirkungen der Rückmeldungen, die im Folgenden dargestellt werden:

- a) Lukas (14 Jahre) erläutert, dass die fachliche Einordnung von Vorstellungen sein Verstehen fördert. Er beschreibt den Beitrag der Lehrkraft bei der Schülerdiskussion zur Deutung des Rutherford'schen Streuversuchs: „Wenn die Lehrerin nicht dagewesen wäre, hätte ich das Problem vielleicht nicht so gut verstanden, weil dann hätte ich nur die Abbildung gesehen und wüsste nicht genau, was richtig ist. Und ich hätte es vielleicht nicht so schnell oder überhaupt nicht verstanden“ (K8-S5-33).
- b) Saskia (14 Jahre) legt dar, dass die Schüler durch die Lehrkraft eine Entscheidung erhalten, wenn sie sich in ihren Erklärungen zum Trefferbild bezüglich der Lösung nicht einig sind: „Wenn die Lehrerin nicht da gewesen wäre, würde man vielleicht zu sehr diskutieren und jeder würde dann etwas Anderes sagen. Und die Lehrerin hat dann gesagt: Ja, das ist richtig“ (K8-S2-25).
- c) Die Aussage von Jonas (14 Jahre) zeigt, dass die Ergänzung von Informationen oder Korrektur einzelner Schüleraussagen durch die Lehrkraft die Entwicklung von Lösungsansätzen der Schüler unterstützt. Er berichtet zur Schülerdiskussion zur Deutung des Trefferbildes des Rutherford'schen Streuversuchs: „Die Lehrerin war dabei hilfreich, denn wir hatten diese Beispiele und wir haben erst mal überlegt, ob die stimmen oder nicht. Und als wir gesagt haben, dass alle Strahlen auf (den Kern) prallen, hat die Lehrerin gesagt, dass es nicht so ist. Sie hat gesagt, dass die (Strahlen) auch daran vorbeigehen können“ (K8-S7-25 und 27).

B3 Zentrale Aspekte

- die Lehrkraft gibt Rückmeldungen hinsichtlich der fachlichen Richtigkeit
- die Schüler erhalten Sicherheit in der Entwicklung von Lösungsansätzen
- der Umgang mit Fehlern ist wertschätzend

B4 Die Lehrkraft lässt Vorstellungen visualisieren und strukturiert, dokumentiert, fasst Gesprächsergebnisse zusammen und sorgt für zeitliche effektive Gespräche

Insgesamt äußern sich etliche Schüler (4/8 und 5/5) zu verschiedenen Aktivitäten der Lehrkraft, die sie als hilfreich für die Gespräche erlebten. Visualisierung, Strukturierung, Zusammenfassungen, Dokumentation und Zeitmanagement sind aus Sicht der befragten Schüler wichtige Aufgaben, die die Lehrkraft übernimmt und sie sorgt dadurch auch für effektiven Schülerdiskussionen.

Für Melanie (14 Jahre) ist es wichtig, dass die Lehrkraft zur Visualisierung anleitet und dadurch die Vorstellungen der Schüler zu den Trefferbildern des Streuversuchs von Rutherford im Unterrichtsgespräch leichter diskutierbar und verständlicher macht: „Es gab dadurch zu den Erklärungen der Schüler auch diese Bilder. Hätte ich kein Bild vor Augen gehabt, dann hätte ich nicht verstanden, was die Mitschüler gesagt haben“ (K8-S6-15). Ebenso führt Chris (14 Jahre) an, dass die Diskussion eines abstrakten Themas wie der atomare Aufbau der Goldfolie bildlich unterstützt wird. „Die Lehrerin hat es bildhaft gemacht und nicht einfach erklärt. (...) Wenn wir einfach nur darüber geredet hätten, hätte man es sich nicht so vorstellen können. (...) Mit „bildhaft“ meine ich die Bilder an der Tafel oder die Bilder, die mit dem i-Pad fotografiert und am Whiteboard gezeigt wurden“ (K8-S8-34-36).

Auch das Sichtbarmachen von Strukturen wird als Hilfe beim Verstehen genannt. Lukas (14 Jahre) beschreibt beim Gespräch zur Erklärung der Flugbahnen der Alpha-Teilchen: „Die Lehrerin hat dabei zum Beispiel Zahlen an den Alpha-Strahl angeschrieben, von dem wir gerade reden und hat diesen dadurch markiert. Und das hat noch einmal geholfen, das zu verdeutlichen und besser verständlich zu machen“ (K8-S5-31).

Thomas (17 Jahre) ist der Meinung, dass die Dokumentation der Gesprächsergebnisse zur Volumenänderung beim Mischen von Flüssigkeiten und die Dokumentation des Lernprozesses den Schülern im Verlauf der Unterrichtssequenz Orientierung über den Lernfortschritt gibt. Außerdem nutzt er die Dokumentationen als Grundlage für die Nachbereitung der Unterrichtsinhalte: „Während

der Diskussion hält die Lehrerin unsere Ergebnisse fest, sie notiert sich auch immer etwas dazu. Sie nimmt Fragestellungen auf und kommt später darauf zurück. Dadurch, dass man immer wieder diese Tafelbilder sieht, sieht man: "So weit sind wir." Und dann kann man sich das alles nochmal durchlesen, nochmal rekapitulieren und vergisst auch nichts" (K11-S1-41).

Drei Schüler bemerken, dass die Lehrkraft für zeitlich effektive Gespräche sorgt, indem sie die Schüler anhält, zuvor gesagte Beiträge zu ergänzen und darauf zu achten, sich nicht zu wiederholen. Lara (16 Jahre) erklärt dies mit folgenden Worten: „Ich denke, es fängt immer ein Schüler zu reden an und der Rest will sich nicht wiederholen und schließt sich nur an. Dadurch kann jeder sein Wissen mitteilen aber niemand wiederholt sich. Und so sind wir relativ schnell fertig, jeder kann das, was er weiß, einbringen, ohne dass alles wiederholt wird.“ Weiterhin bemerkt Lara, dass die Lehrkraft die Schüler anhält, die Inhalte auf den Punkt zu bringen. „Die Lehrerin sagt auch immer: "Und was ist jetzt die Kernaussage davon?", so dass wir selber merken, wir müssen uns kurz fassen, auf das Wichtigste beschränken und nicht wiederholen“ (K11-S3-19; K11-S3-16 und 17).

B4 Zentrale Aspekte

- Visualisierung von Schülervorstellungen
- Zusammenfassung der Gesprächsergebnisse
- Dokumentation des Lernprozesses
- Zeitmanagement: Schüler werden angehalten, Beiträge zu ergänzen, sich nicht zu wiederholen und zentrale Aussagen zu formulieren

6.3.4 Diskussion der Ergebnisse

Nach einer Einschätzung zur Aussagekraft der Schülerantworten werden die inhaltlichen Ergebnisse diskutiert.

Überlegungen zur Aussagekraft der Schülerantworten

Generell wird bei der Erhebung von Daten durch Interviews davon ausgegangen, dass sich die Befragten authentisch und aufrichtig äußern. Für die Güte der Daten ist ein vertrauensvolles Mitwirken der Probanden unerlässlich. Deshalb werden die Schüler vor Beginn des Interviews auf die Anonymisierung und Nichtbewertung ihrer Aussagen hingewiesen (vgl. Kap. 4, Punkte 4.2 und 4.3). Der Befund, dass drei Schüler der Jahrgangsstufe 8 im Interview offen sagen, sich in Bezug auf die Lehrertätigkeit an keine Wahrnehmung sicher zu erinnern (B0), ist ein Hinweis darauf, dass die Schüler ehrlich antworten und nicht versuchen, etwas zu „erfinden“. Es könnte auch daran liegen, dass es für Schüler generell ungewohnt ist, auf die Aktivitäten der Lehrkraft zu achten oder dass es den Schülern schwerfiel, eine Metaebene einzunehmen.

In vielen anderen Fällen war es für die Schüler leicht, retrospektiv die Vorgänge im Gespräch zu beschreiben. Etliche Schüler rekapitulieren nicht nur ihre Denkprozesse, sondern begründen diese oder beschreiben weitergehende Wirkungen wie zum Beispiel Lukas (14 Jahre), der den Vorgang des Vergleichens von Vorstellungen nennt und dessen anregende Wirkung beschreibt: „Durch die Bilder konnte man gut vergleichen, wie die anderen Schüler gedacht haben und als ich das gesehen habe, sind mir nochmal neue Ideen gekommen“ (K8-S5-12-13). Norbert (17 Jahre) gibt einen genauen Ablauf seines Denkvorgangs beim Vergleichen wieder: „Wenn ich (...) die Ideen der anderen Schüler höre, ist es öfter so, dass ich denke: "Okay, den Aspekt, den hatte ich jetzt nicht bedacht. Lässt sich der mit dem vereinbaren, was ich mir gedacht habe oder muss ich meine Theorie ändern?" (K11-S5-22). Die genauen Beschreibungen unterstreichen die Authentizität und damit Aussagekraft der Schülerantworten.

Weiterhin zeigt sich eine Kongruenz zwischen den Schüleraussagen zum eigenen Lernprozess und zum Beitrag der Lehrkraft (vgl. Kap. 8). Zum Beispiel beschreiben die Schüler, dass sie in den Gesprächen Zusammenhänge erkennen und Schlussfolgerungen ziehen (A2). Dies stimmt überein mit ihrer Schilderung zur Lehrkraft, dass diese Fragen stellt und Denkanstöße gibt und dadurch den Schülern hilft, Zusammenhänge zu erkennen (B2). Ebenso besteht eine Kongruenz zwischen der Erläuterung, dass Schüler die Erklärungen der Mitschüler besser verstehen (A4) und ihren Aussagen, dass die Lehrkraft Schülerdiskussionen

und Erklärungen durch Mitschüler aktiv fördert (B1). Diese zwei Beispiele belegen die Übereinstimmung in den verschiedenen Perspektiven der Schüler und sind ein Argument für die Plausibilität der Schüleraussagen.

Insbesondere können durch die mehrperspektivische Erfassung der Daten die Schüleraussagen aus dem Interviews an vielen Stellen mit dem Unterrichtsvideo belegt werden. Zum Beispiel in Bezug auf den Vergleich von Vorstellungen (A1). Dies wird in den Filmausschnitten der Jahrgangsstufen 8 und 11 zur Unterrichtsphase „Vorstellungen entwickeln“ (U1) sehr deutlich, in denen die Schülervorstellungen im Gespräch diskutiert werden (vgl. Videos KL 8 (3).mp4 und KL 11 (1).mp4). Ein weiterer Nachweis findet sich beispielsweise für die Aussage, dass die Lehrkraft Fragen stellt und Denkanstöße gibt (B2). Zum Teil geben Schüler im Interview hierzu Sprechakte der Lehrkraft an: "Denkt mal vielleicht an das!" oder „An den Punkt habt ihr jetzt gar nicht gedacht" (K11-S1-17 und 19). Solche Sprechakte lassen sich mit dem Unterrichtsvideo belegen. Zum Beispiel: Lehrkraft: „Schauen wir nochmal kurz auf deinen (Schülerin, S6) Ansatz: die Gasentwicklung. Bezieht euch darauf!“ (vgl. Video KL 11.mp4; min 07:43 - 08:23). Ebenso lässt sich die Schüleraussage, dass die Lehrkraft Erklärungen durch Schüler fördert (B1) durch den Film bestätigen: Schülerin: „Schüler X Zeichnung finde ich ein bisschen unlogisch. (...) Warum ist das dann so gezeichnet, dass es nur an den Enden des Detektorschirms aufkommt?“ Lehrkraft: „Du bekommst eine Antwort aus der Gruppe“ (vgl. Video 8-LK-min 22-36.mp4; min 28:21 – 28:46). Auch für die Aussage, dass die Schüler in den Gesprächen Zusammenhänge erkennen und Schlussfolgerungen ziehen (A2) lassen sich Belege im Unterrichtsvideo finden. Bei der Erklärung der Volumenkontraktion bringt ein Schüler die Rolle der Cluster ins Gespräch ein. Schüler 2 sagt daraufhin: „Jetzt weiß ich, was Cluster sind. (...) Das sind diese Aneinanderreihungen (deutet auf Arbeitsblatt), in denen Zwischenräume entstehen. Und die entstehen schlechter bei den Verbindungen“ (vgl. Video KL 11.mp4; 06:16 – 06:29). Die Aussage A4 (Schüler verstehen Erklärungen von Mitschülern besser) kann nicht direkt über die Gespräche im Unterrichtsvideo belegt werden, doch es liegt nahe, dass dieses Phänomen zutrifft, da dies als sprachliches Scaffolding in der Literatur beschrieben wird (vgl. Kap. 2, Punkt 2.5.2).

Zu einigen Kategorien sind keine Aussagen vorhanden (vgl. Leerstellen der Tabelle 13). So machen Schüler beider Jahrgangsstufen keine Aussagen zum Erkennen von Zusammenhängen (A2) für die Unterrichtsphase U1 („Vorstellungen entwickeln“). Dieser Befund ist erklärbar durch die Zielsetzung dieser Unterrichtsphase: zu diesem Zeitpunkt stehen die vorunterrichtlichen Vorstellungen der Schüler im Mittelpunkt. Analog verhält es sich mit den fehlenden Aussagen zu A5 und A3: Die Lösung der Problemstellung (A5) erfolgt erst in der Unterrichtsphase U2 („Lernprodukt diskutieren“), wenn die Lösungsansätze der

Gruppen diskutiert werden. In dieser Phase wird auch nicht mehr über die Plausibilität der Vorstellungen nachgedacht (A3), sondern die Schüler haben bereits konkrete Lösungsansätze. Keine Wahrnehmungen zur Rolle der Lehrkraft treten nicht mehr in der Jahrgangsstufe 11 auf. Die höhere Reflexionsfähigkeit der älteren Schüler ist möglicherweise eine Erklärung hierfür.

Inhaltliche Bewertung und Diskussion der Schülerantworten

Bei der folgenden inhaltlichen Bewertung der Schülersaussagen ist grundsätzlich zu bedenken, dass die Schüler vor dem Unterricht nicht erfahren haben, zu welchen Themen sie befragt werden würden. Weiterhin ist bedeutsam, dass alle Schüler die Klassengespräche in Bezug auf ihren Lernprozess als hilfreich eingeschätzt haben und sie in den Interviews oftmals Gründe dafür angeben.

Konkrete und reflektierte Aussagen

Die Analyse der Schüler zum eigenen Lernprozess bewegt sich von konkreten Beschreibungen erlebter Unterrichts- und Gesprächsszenen bis hin zu abstrakten Erläuterungen von Verstehensprozessen. In Bezug auf die Rolle der Lehrkraft tragen die Schüler eine große Anzahl an Aspekten (13 Aspekte in 4 Kategorien) zusammen. Weiterhin sind die Beschreibungen der Schüler zur Rolle der Lehrkraft sehr differenziert. Insbesondere für die 13- bis 14-Jährigen der Jahrgangsstufe 8 ist dies eine beachtliche Leistung.

Bei den 16- bis 17-jährigen Schülern der Jahrgangsstufe 11 ist tendenziell ein etwas höherer Abstraktionsgrad in den Antworten zu verzeichnen und sie ergänzen auch zwei Kategorien um weitere Aspekte: Im Zusammenhang mit der fachlichen Richtigkeit der Vorstellungen (A3) sehen Schüler der Jahrgangsstufe 11 Fehler als Lernchance und bei Rückmeldungen der Lehrkraft zu ihren Vorstellungen (B3) wird der wertschätzenden Umgang mit Fehlern bemerkt. Letztlich bedingt sich beides und ist vermutlich eine Folge des Umgangs der Lehrkraft mit Fehlern.

Veränderungen von Vorstellungen im Gespräch wird deutlich

Die Aussagen der Schüler (A1 bis A4) zeigen deutlich die Vielfalt der Prozesse, die während der Gespräche die Vorstellungen beeinflussen. Die Schüler beschreiben, wie sie ihre Vorstellungen aktiveren, zur Sprache über Wort und Bild bringen, einschätzen, deren Richtigkeit abwägen und im weiteren Verlauf der Gespräche verändern, revidieren und anpassen. Die Schilderungen verdeutlichen die Zusammenarbeit und Eigenleistung der Schüler, das Ringen um eine in der Gruppe gemeinsam geteilte Vorstellung und zeigen, dass hier Ko-Kon-

struktionsprozesse stattfinden. Im Vergleichen und Diskutieren von unterschiedlichen Lösungsvorschlägen werden Zusammenhänge deutlich und die Schüler können Schlussfolgerungen ableiten, die zu einer fachlich richtigen Vorstellung führen.

Die Lehrkraft steuert das Gespräch durch inhaltliche Impulse und moderiert

In den Kategorien B1-B3 nimmt die Lehrkraft vornehmlich eine Rolle des inhaltlich aktiv teilnehmenden und steuernden Gesprächsleiters ein. Sie ergänzt fachliche Erklärungen, wenn Schüler dies nicht können (B1), gibt konkrete Hinweise zum Denkansatz oder fehlende inhaltliche Informationen und stellt zum Inhalt passende, weiterführende Fragen (B2) und bewertet eindeutig die fachliche Richtigkeit der diskutierten Vorstellungen (B3). Für diese Aktivitäten nutzt die Lehrkraft ihr Fachwissen, das sie steuernd und gesprächsverändernd an entscheidenden Stellen im Gespräch einbringt. Auch für die Identifizierung einer „richtige“ Stelle für eine Intervention, im Sinne einer lernförderlichen Fortführung des Gesprächs, benötigt die Lehrkraft das entsprechende fachliche und fachdidaktische Wissen. An dieser Stelle ist auch ein Ergebnis des Interviews mit der Lehrkraft (vgl. Kap. 7, Punkt IV.2) zu bedenken: Die Lehrkraft übt einen starken Einfluss aus, indem sie gezielt einzelne Schülervorstellung herausgreift und diese zum Gegenstand der Schülerdiskussion macht. Durch diese fachlich und fachdidaktisch begründete Auswahl wird der lernförderliche Rahmen der Schülerdiskussion gesetzt. Die Aktivitäten der Kategorie B4 wie Visualisierung, Dokumentation oder Zeitmanagement sind auch typische Vorgehensweisen eines Moderators, der sich in Gesprächen dafür sorgt, dass das Gespräch der Gruppe möglichst erfolgreich im Sinne der Zielsetzung verläuft. Zusammenfassende und strukturierende Aktivitäten der Lehrkraft erleichtern Ko-Konstruktionsprozesse der Lernenden. Im beobachteten Unterricht ist die Zielsetzung die Erklärung der betrachteten Experimente (Streuversuch von Rutherford bzw. Volumenänderung beim Mischen von Flüssigkeiten) durch die Schüler. Zusammenfassend zeigt sich, dass die inhaltlichen Impulse und die Gesprächsführung der Lehrkraft wesentlich zur Entwicklung der Schülervorstellungen in Richtung der fachlichen Vorstellung beitragen. Gerade bei komplexen, abstrakten Themen wie in der vorliegenden Untersuchung (Vorgänge auf Teilchenebene beim Aufbau von Atomen bzw. bei zwischenmolekularen Wechselwirkungen) sowie bei längeren Gesprächen (hier: 9 min - 16 min) ist diese Strukturierungsleistung der Lehrkraft unerlässlich.

Schüleraktivität in den Gesprächen ist lernförderlich

Befindet sich die Lehrkraft in der Rolle des Moderators, steht automatisch die Aktivität der Schüler im Vordergrund, womit ein Aspekt von Lernen aus konstruktivistischer Sicht gefördert wird (vgl. Kap. 2.1). Die Eigenaktivität als Grundlage für den Lernprozess wird in den Aussagen der befragten Schüler deutlich. Schülerdiskussionen und Erklärungen durch Schüler werden gefördert (B1) und die Lehrkraft gibt nicht vorschnell Lösungen vor, sondern leitet Schüler durch Denkanstöße zur Vertiefung an (B2). Die Eigenständigkeit in den Lösungsprozessen wird von etlichen Schülern als besonders lernförderlich hervorgehoben. Sehr deutlich wird dies bei den Aussagen von Norbert (17 Jahre): „Bei den Diskussionen in der Klasse wird es für mich selbst klarer, indem man das selbst erarbeitet und das nicht schon in gewisser Weise vorgesagt bekommt. Man hat nur dieses Experiment, von dem man ausgeht. Und man muss mit seinem Wissen, was man sich bis dahin angeeignet hat, das alles zusammenfassen und dann seine eigene Theorie aufstellen. Und ich finde, das ist der erste Schritt, mit dem man sein Verständnis aufbaut“ (K11-S5-31) und Lara (16 Jahre): „Ich fand die Diskussionsphasen in der Klasse hilfreich für mein Lernen, weil man die Gedanken von den anderen Schülern besser nachvollziehen kann, sieht, wie sie denken, was sie sich überlegen. Und auch, dass man seine eigene Sicht einbringen kann und gemeinsam zu einer Lösung kommen kann, ohne dass man diese vorgelegt bekommt. Sich selber und sein eigenes Denken mit einbringen kann“ (K11-S3-34).

Wirkungen von Vorgängen in den Gesprächen

Innerhalb der bisher dargestellten Befunde beschreiben die befragten Schüler an etlichen Stellen eindeutige Wirkungen, die an dieser Stelle nochmals hervorgehoben werden sollen. So bewirkt nach Meinung der Schüler das Vergleichen unterschiedlicher Vorstellungen (vgl. A1) einen Perspektivwechsel mit dem Nachvollziehen anderer Denkweisen. In Folge davon überprüfen sie ihre eigene Vorstellung, auch im Hinblick auf die fachliche Richtigkeit (vgl. A3) und entwickeln neue Ideen. Ein Gespräch stellt eine größere Auswahl an Lösungsansätzen und fehlende Informationen zur Verfügung. Diese Vielfalt erleichtert das Erkennen von Zusammenhängen (A2). Wenn Schüler ihre Vorstellungen und Erklärungen verbalisieren, erleichtert dies das Verständnis der Fachinhalte und Zusammenhänge (vgl. A4). Diese Aussagen der befragten Schüler decken sich mit Befunden aus der Literatur. Beispielsweise wird die lernförderliche Wirkung des „exploratory talk“ (vgl. Kap. 2.5.2) auf Gruppendiskussionen zurückgeführt, in denen Ideen kollektiv entwickelt, evaluiert und weiterentwickelt werden. Die Vielfalt an unterschiedlichen Ideen erleichtert dabei die individuelle Rekonstruktion von Vorstellungen.

Die Aktivitäten der Lehrkraft (vgl. B2) sind eine entscheidende Hilfe in der Schülerdiskussion. Denkanstöße der Lehrkraft bewirken eine inhaltlich vertiefte Diskussion, die sich auf die wesentlichen fachlichen Punkte fokussiert. Die Rückmeldungen zur fachlichen Richtigkeit von Lösungsansätzen geben den Schülern Sicherheit im weiteren Denkweg und beeinflussen die Richtung der Schülerdiskussion (vgl. B3). Inhaltliche Impulse und eine Moderationstätigkeit der Lehrkraft bewirken Effektivität der Gespräche im Hinblick auf die inhaltlichen Ziele und die Zeit (vgl. B4). Eine aktive Lenkung von diskursiven Schülergesprächen und Deep-Reasoning Fragen der Lehrkraft werden in der Literatur zur Förderung von Ko-Konstruktionsprozessen angeführt (vgl. Kap. 2.5).

7 Didaktische Strukturierung

In diesem Kapitel werden der Planungsprozess sowie die Ziel- Inhalts- und Methodenentscheidungen der Lehrkraft untersucht. Der Fokus liegt dabei auf dem Umgang mit Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch und der methodischen Umsetzung, insbesondere in Bezug auf die Gesprächsführung.

7.1 Fragestellungen des Kapitels

Welche Ziele hat die Lehrkraft im Umgang mit Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch des Chemieunterrichts? Wie begründet die Lehrkraft diese Ziele? Welche methodische Umsetzung – insbesondere in Bezug auf die Gesprächsführung – wählt die Lehrkraft, um diese Ziele zu erreichen?

7.2 Datenerhebung und -auswertung

Die Lehrkraft wird zu ihrer didaktischen Strukturierung retrospektiv befragt (vgl. Kap. 4, Punkt 4.4). Die Auswertung erfolgt durch die qualitative Inhaltsanalyse mit induktiver Kategorienbildung nach Mayring (2015; vgl. Kap. 4, Punkt 4.9). Das Ergebnis ist ein Kategoriensystem, das die Ziele der Lehrkraft im Umgang mit Schülervorstellungen sowie die eingesetzten Methoden anhand konkreter Textstellen beschreibt. Bei der Darstellung der Ergebnisse werden im Sinne einer zusammenfassenden Inhaltsanalyse Hauptkategorien gebildet und beschrieben. Zusätzlich erfolgt bei ausgewählten Begriffen eine Explikation nach Mayring (2015, S. 90 ff.). Nach einer lexikalischen Betrachtung wird eine enge Kontextanalyse angeschlossen, d.h. die Erläuterung der Begriffe erfolgt aus dem Textkontext. Ergebnis der Explikation ist eine Formulierung, die den Begriff interpretiert.

7.3 Ergebnisse

Der Überblick in der Tabelle 15 zeigt, dass die Ziele der Lehrkraft im Umgang mit Schülervorstellungen zu übergeordneten Kategorien (I bis III) zusammengefasst werden können, die *generell* gelten. Die Kategorie IV enthält Ziele und Methoden, die im Unterrichtsgespräch *situationsabhängig* zum Einsatz kommen.

Tab. 15: Ziele im Umgang mit Schülervorstellungen und methodische Umsetzung

	Ziele	
I. Prinzipien im Umgang mit Vorstellungen	1. Problemorientierte Schülerdiskussion	
	2. Vorstellungen diskutieren, um Ko-Konstruktionsprozesse und Veränderungen von Vorstellungen zu fördern	
II. Prinzipien der Gesprächsführung	1. Schülergespräche gezielt lenken	
	2. Strategie für die Diskussion der Vorstellungen umsetzen	
III. Gesprächsförderndes Klima	1. Wertschätzung und Sicherheit vermitteln	
	2. Positiver Umgang mit Fehlern	
	Ziele	Methodische Umsetzung
IV. Möglichkeiten im Umgang mit Vorstellungen	1. Vorstellungen aktivieren und bewusst machen	Vorstellungen zeichnen und erläutern lassen, Meldekette, Lehrkraft hört zu und hält sich zurück
	2. Gezielte Auswahl von tragfähigen Vorstellungen	Gezeichnete Vorstellungen sichten und auswählen, Schüler zur Präsentation aufrufen, auf tragfähige Anteile fokussieren
	3. Fokussieren und Strukturieren	Nonverbal, Visualisieren, Kategorien / Gruppierungen bilden, Sprechakte
	4. An Vorstellungen anknüpfen	Vorstellungen aufgreifen, vergleichen, weiterentwickeln und ggf. zusammenführen, Sprechakte
	5. Vorstellungen umwälzen	Offene Aufträge, Sprechakte
	6. Vorstellungen durch Lehrerklärung ergänzen	Anknüpfen, überformen, präzisieren, zusammenfassen, ergänzen, Sprechakte
	7. Rückmeldung zu Vorstellungen geben	Überformen, zusammenfassen, spiegeln, Sprechakte

Quelle: Eigene Darstellung

In den Gesprächen mit der Lehrkraft werden grundlegende Sichtweisen deutlich, die sich aus dem individuellen Lehr-Lernverständnis der Lehrkraft generieren und damit Grundlage ihres Unterrichts bilden. In der nachfolgenden Beschreibung und Interpretation des Kategoriensystems werden zunächst diese übergeordneten Prinzipien des Umgangs mit Schülervorstellungen (I), der Gesprächsführung (II) und eines gesprächsfördernden Klimas (III) beschrieben. Diese Prinzipien gelten unabhängig von der jeweiligen Situation.

Danach folgt die Darstellung diverser Möglichkeiten (IV), mit Schülervorstellungen umzugehen. Diese sind situations- und inhaltsabhängig. Bei diesen Ausführungen werden insbesondere das WAS, WARUM und WIE herausgearbeitet.

Ziele	Methodische Umsetzung
Schlagworte	Schlagworte
WAS: Kurzbeschreibung	WIE: Kurzbeschreibung
WARUM: Begründung	

Abb. 31: Vorlage zum Überblick
Quelle: Eigene Darstellung

Ein Kasten (vgl. Abb. 31) am Anfang jedes Textes ermöglicht einen schnellen Überblick. Am Ende der Beschreibungen werden die zentralen Aspekte der jeweiligen Kategorie in Stichpunkten zusammengefasst. Zusätzlich veranschaulichen Schemata die Ergebnisse. Im Text werden folgende Abkürzungen verwendet: Die Fundstellen der Zitate wie „K8-U2-11“ oder „A-6-10“ verweisen auf die redigierten Aussagen der Lehrkraft und entsprechen der Codierung in den QDA-Dateien. Dabei ist der Buchstabe A die Abkürzung für den allgemeinen Teil des Interviews. K8 bzw. K11 geben Auskunft über den Gesprächsbezug hinsichtlich der Jahrgangsstufenstufe (K8: Jahrgangsstufe 8; K11: Jahrgangsstufe 11), U1 und U2 stehen für Unterrichtsphase 1 („Vorstellungen entwickeln“) und Unterrichtsphase 2 („Lernprodukt diskutieren“). Die letzten Ziffern einer Fundstelle (z.B. 11 oder 6-10) verweisen auf die Zeilen im redigierten Transkript. Satzteile innerhalb der Zitate in Klammern sind Ergänzungen der Autorin. Zitate aus Videosequenzen werden analog kodiert. Die Namen der Schüler wurden geändert.

7.3.1 Übergeordnete Prinzipien im Umgang mit Schülervorstellungen (Kategorie I)

Unter Punkt 1 wird gezeigt, wie die Lehrkraft Gespräche in den Kontext einer Problemstellung einbettet und die Schülerdiskussion fördert. Im Punkt 2 wird die Begründung der Lehrkraft für die Schülerdiskussion deutlich: die Förderung von Ko-Konstruktionsprozessen. Es wird gezeigt, wie und wodurch sich aus Sicht der Lehrkraft Schülervorstellungen verändern.

1. Problemorientierte Schülerdiskussion

Für die Lehrkraft sind hier zwei Aspekte zentral. Zunächst ist der grundlegende Anlass des Gesprächs mit der Klasse eine Problemstellung, die von den Schülern möglichst eigenständig gelöst werden soll. Zum zweiten spielen für die Lösung des Problems die Unterrichtsphasen (U1 und U2), in denen die Schüler sich äußern und miteinander diskutieren, eine entscheidende Rolle (A-6-10; K11-U1-117; K11-U2-145-148). An Beispielen erläutert die Lehrkraft, wie sie eine Diskussion in der Jahrgangsstufe anlegt, die die Problemlösefähigkeit der Schüler fördert. Als typische problemorientierte Gesprächsanlässe für die Phase „Vorstellungen entwickeln“ (U1) nennt die Lehrkraft: „Zum Beispiel sehen die Schüler (der Jahrgangsstufe 8) die verschiedenen Trefferbilder, die ihre Mitschüler angeheftet haben und äußern sich dazu. Oder in der 11. Jahrgangsstufe sehen die Schüler, dass es auch eine Volumenkontraktion gibt und sie äußern Ideen, wie es sein kann, dass es beim Mischen von Flüssigkeiten nicht nur zu einer Kontraktion, sondern auch zu einer Expansion kommen kann“ (A-10).

Aus Sicht der Lehrkraft ist es für die Problemlösefähigkeit der Schüler förderlich, wenn der Lehrer durch stumme Impulse, sprachliche Hinweise oder Materialien die Schüler anregt, möglichst eigenständig fachliche Zusammenhänge zu erschließen (K11-U1-117; K11-U2-170; K11-U2-145). In den untersuchten Unterrichtssequenzen finden sich hierfür mehrere Beispiele, wie das Anschreiben des Begriffs „Cluster“ an die Tafel als stummer Impuls (Jahrgangsstufe 11, U2) oder die Einbindung von Materialien in Form von gezeichneten Schülervorstellungen zum Trefferbild des Streuversuchs von Rutherford (Jahrgangsstufe 8, U1) oder Materialien in Form von kurzen Informationstexten wie die Wissensbausteine der Arbeitsblätter (in den Jahrgangsstufen 8 und 11, jeweils U2). Die Materialien werden von der Lehrkraft mit gezielten Arbeitsaufträgen in das Schülergespräch eingebunden. So bekommen die Schüler „die Anleitung zur Erschließung und Integration, indem ich diesen Auftrag gebe: ‘Erschließt die Information, bringt die Information in Bezug zu unserem Problem, formuliert eine Erklärung!’. Und so werden die Schüler angeleitet und in ihrer Problemlösefähigkeit gefördert. Und der Rückgriff auf Material ist viel besser als kleinschrittiges Abfragen, kleinschrittiges Hinführen zur Lösung wie bei einer Ostereiersuche“ (K11-U2-147).

Anhand eines typischen Sprechakts verdeutlicht die befragte Lehrkraft eine Vorgehensweise, wie sie Schülerdiskussionen fördert: „Ihr habt das aufgeworfen und ich gebe euch da jetzt nochmal eine Hilfe, ich zeige euch nochmal eine Stelle.“, um immer wieder Anstöße zu geben, weiter zu diskutieren und nie ergebnisorientiert die Diskussion an mich zu reißen“ (K8-U2-99). Als eine weitere Möglichkeit, Schülerdiskussionen zu initiieren, nutzt die Lehrkraft die Methode der Meldekette (A-12; K11-U1-19). Dabei wird der erste Schüler von der Lehrkraft aufgerufen und danach geben die Schüler das Rederecht untereinander weiter.

Die Rolle und Einstellung des Lehrers während der Meldekette beschreibt und begründet die Lehrkraft wie folgt: „Der Lehrer nimmt sich ganz bewusst zurück, er muss nicht rückmelden, weil nicht direkt mit ihm gesprochen wird. Das Ziel ist, dass der Lehrer den Schülern etwas zutraut. Wenn er nur auf „Lehrer-Schüler-Ping-Pong“ setzt, heißt das, dass er dem Schüler nicht zutraut, seine eigenen Vorstellungen zu kommunizieren und dass sich daraus etwas entwickeln kann“ (A-28). „Und der Lehrer steuert diesen Prozess nur und hat nicht das Bestreben, im Sinne von Richtig und Falsch zu bewerten“ (A-31). „Das Bestreben, sofort zu bewerten, zum Richtigen zu kommen, ist das ergebnisorientierte Denken und nicht das lernprozessorientierte Denken“ (A-33). Als eine weitere Möglichkeit, Schülergespräche zu fördern nennt die Lehrkraft Sprechakte wie: „Bezieht euch darauf!“ (K11-U1-128). Damit bezweckt sie, dass „(...) nicht der Lehrer eine Erklärung liefert, sondern dass sich die Schüler zunächst einmal in die Gedanken des Anderen hineindenken sollen und eine eigene Meinung dazu entwickeln sollen. So dass die Schüler im Gespräch auch Vieles selbst klären können (...)“ (K11-U1-129). Gleiches bezweckt sie mit der Aufforderung zu Schülererklärungen: „Du bekommst eine Antwort aus der Gruppe!“ (Film K8-U1; min 28:41). Oder sie hält die Schüler zur weiteren Diskussion an mit Sprechakten wie „Ihr habt Wechselwirkungen beschrieben, das haben wir geklärt. Die Kontraktion ist noch nicht klar!“ (Film K11-U2; min 42:46-43:50).

Statt einer ergebnisorientierten, kleinschrittigen Lenkung durch den Lehrer bestimmt die Dynamik der Schülerdiskussion das Gespräch: „Und ich überlasse den Schülern die Dynamik, ich will nicht jede einzelne Antwort genau kleinschrittig so herauskitzeln, sondern ich möchte es offen halten, damit die Schüler im Denken gefordert sind, denn sie brauchen einen Spielraum, eine Freiheit zum Denken“ (K11-U1-117). Aus Sicht der Lehrkraft benötigen die Schüler diesen Raum, um im Gespräch durch „lautes Denken“ (K11-U2-70) in einem „kreativen Entwicklungsprozess“ (K11-U2-41) erste Vorstellungen zu einem Problem zu formulieren. Bei dem Bemühen, ihre Vorstellungen zu formulieren, fordert die Lehrkraft von den Schülern noch keine übermäßige fachsprachliche Korrektheit ein, da dies den Prozess stören würde (K11-U2-41; K11-U2-70).

Zudem vermeidet die Lehrkraft in den Schülerdiskussionen ein zu frühes Bestätigen von fachlich richtigen Äußerungen einzelner Schüler, denn damit würde sie als Lehrkraft „nur ergebnisorientiert auf die richtige Lösung hinauswollen“ (K8-U2-32). Als Beispiel führt die Lehrkraft eine Situation in der Diskussion der Jahrgangsstufe 8 (U2, Lernprodukt verhandeln) an, bei der sie die richtige Erklärung der Schülerin Lea noch nicht herausstellt, denn „(...) dann hätte sich die Verhandlung durch die Schüler erübrigt. Dann hätte ich als Lehrer direkt beim Richtigen zugegriffen und hätte das Umwälzen und das Verändern der Vorstellungen bei den Schülern, die noch Schwierigkeiten haben – und das sind sicher

einige – das hätte ich damit umgangen (...) Und deshalb habe ich das (die Erklärung) von Lea erst einmal so stehen lassen“ (K8-U2-32). Stattdessen werden Vorstellungen von Schülern im Jahrgangsstufengespräch mehrfach „umgewälzt“ (d.h. Wiedergeben durch Schüler, siehe Punkt IV.5), um sicherzugehen, dass die fachlich richtige Vorstellung von möglichst vielen Schülern erfasst werden kann.

Ziel der problemorientierten Schülerdiskussionen ist es, dass Schüler im Gespräch eigenständig Informationen zur Lösung des Problems zusammentragen und verhandeln und sich somit Zusammenhänge selbst erschließen und begründen können. Die Lehrkraft beschreibt es als eine „Anleitung zum Denken und nicht das kleinschrittige Hinführen, das Vordenken der Lösung. Ich will das Gegenteil von Vordenken, ich will die Anleitung zum Selberdenken“ (K11-U2-148 und K8-U1-131). Fehlen in der Schülerdiskussion noch entscheidende inhaltliche Aspekte, kann die Lehrkraft diese entweder selbst ergänzen, um Kleinschrittigkeit im Gespräch zu vermeiden oder in der Jahrgangsstufe nochmals nachfragen (K8-U1-184).

Zentrale Aspekte der Kategorie I.1 „Problemorientierte Schülerdiskussion“

- problemorientierter Gesprächsanlass
- Schülerdiskussion und Problemlösefähigkeit werden gefördert: Hilfsmittel sind stumme Impulse, Materialien, sprachliche Hinweise, Meldekette, Schülererklärungen, Sprechakte wie „Bezieht euch darauf!“, „Das ist geklärt, das ist noch nicht klar.“
- keine ergebnisorientierte, kleinschrittige Lenkung des Gesprächs, sondern Raum für die Entwicklung von Schülervorstellungen
- kein zu frühes Bestätigen richtiger Vorstellungen einzelner Schüler, stattdessen Gelegenheiten zum „Umwälzen“ (Wiedergeben der Erkenntnis durch Schüler) geben
- fehlende fachliche Aspekte werden ggf. durch Lehrkraft ergänzt oder es wird bei Schülern nachgefragt
- Ziel: Schüler erschließen sich durch Diskussionsphasen in der Jahrgangsstufe möglichst eigenständig fachliche Zusammenhänge

2. Schülervorstellungen diskutieren, um Ko-Konstruktionsprozesse und Veränderung von Schülervorstellungen zu fördern

Aus Sicht der Lehrkraft fördert die Diskussion von Schülervorstellungen mit der ganzen Jahrgangsstufe Ko-Konstruktions- und damit Lernprozesse. So können die Schüler „ein eigenes Erklärungskonzept auf der Basis ihres Vorwissens gemeinsam entwickeln, indem sie Vorstellungen austauschen und verhandeln“ (K11-U1-10). Deshalb regt sie das Gespräch zwischen den Schülern an, indem sie die geäußerten Schülervorstellungen wieder einbezieht, zum Beispiel durch Sprechakte wie: „Den Punkt hat Lukas eben aufgeworfen“ (K8-U2-99). Sie selbst hält sich mit eigenen Wortbeiträgen zurück, um den Ko-Konstruktionsprozess der Schüler möglichst wenig zu stören (K8-U2-99). Grundlegendes Ziel der Lehrkraft ist es, den Schülern neue Wege zu einer tragfähigen Vorstellung aufzuzeigen (K8-U1-83; K8-U1-30).

Als ein konkretes Beispiel für Ko-Konstruktion führt die Lehrkraft eine Gesprächssituation in der Jahrgangsstufe 8 mit Schülerbeiträgen von Doris, Jonas, Martha und Lea an (Film K8-U2, min 01:18 – 01:21; K8-U2-46). Die Schüler formulieren in dieser Unterrichtsphase (U2) ihre Vorstellungen, wie es zu einer Ablenkung der Alphateilchen durch die Atome der Goldfolie kommen kann. Die Lehrkraft beschreibt den Ko-Konstruktionsprozess in diesem Gespräch: „Und wenn man das alles zusammensetzt, dann haben wir die einzelnen Bausteine: Es kommt zu einer Ablenkung. Es muss irgendwo einen positiven Anteil im Atom geben. Und Jonas Aussage ‚Insgesamt ist das Atom neutral.‘ Und Lea sagt: ‚Aber es ist doch der Kern, der positiv geladen ist, ich muss doch auf den Kern schauen.‘“ (K8-U2-49). Die Lehrkraft beschreibt den Prozess der Ko-Konstruktion als Zusammenführen von verschiedenen Vorstellungen, um diese in Einklang zu bringen (K8-U1-86) oder als Zusammensetzen verschiedener tragfähiger Anteile von Schülervorstellungen zu einem Bild. Diese Synthese von Vorstellungen führt zu einer fachwissenschaftlichen Vorstellung, die die Lösung der Problemstellung darstellt (K8-U2-85; K8-U1-213; K8-U2-87). Unter „tragfähig“ versteht die Lehrkraft fachlich richtige Vorstellungen (z.B. Das Atom ist insgesamt neutral.) oder Denkkonzepte (z.B. Gleiche Ladungen stoßen sich ab.), die in neuem Kontext anwendbar sind (siehe Explikation am Ende dieser Ausführungen).

Zur Veränderung von Schülervorstellungen merkt die Lehrkraft an, dass Schüler aus ihrer Sicht zunächst versuchen, ihr Vorwissen auf neue Kontexte anzuwenden (K8-U1-84). Gelingt es, „an das Vorwissen, oder an die vorhandene Vorstellung anzuknüpfen und diese umzudeuten, so dass sich die neue Vorstellung an die alte andockt“, liegt aus Sicht der befragten Lehrkraft eine Umdeutung vor (K8-U1-79), die sie mit dem Bild einer Brücke vom Vorwissen zur neuen Vorstellung beschreibt. Als konkretes Beispiel führt sie das Ergebnis der Phase „Vorstellung-

gen entwickeln“ (U1) in der Jahrgangsstufe 8 an. Bei der Diskussion der Schülervorstellungen fokussiert die Lehrkraft auf das Argument, dass sich gleichnamige Ladungen abstoßen und deutet in der späteren Phase U2 das „positiv geladene Ion“ in den „positiv geladenen Atomkern“ um. „Dieses Denken, ‚Zwei positive Ladungen stoßen sich ab.‘, bleibt und ermöglicht die Deutung dieser Flugbahn. Die positiven Ladungsträger, die ich dann hier habe, sind nicht mehr positiv geladenes Ion und positiv geladenes Alpha-Teilchen, sondern ein positiv geladener Atomkern. Diese Umdeutung müssen die Schüler machen. Der Rest bleibt. Und insofern müssen die Schüler nicht so viel umlernen. Sie bekommen damit von ihrem stabilen Vorwissen zu dem neuen Konzept eine Brücke gebaut“ (K8-U1-76).

Wenn kein Anknüpfen und Umdeuten möglich ist, erfolgt aus Sicht der Lehrkraft ein Konzeptwechsel. Sie erklärt das am Beispiel der Vernichtungsvorstellung, „(...) wenn Schüler denken, dass bei der Verbrennung von Kohlenstoff nichts entsteht und das, was entsteht auch keine Masse hat“, ist ein Konzeptwechsel zur Vorstellung der Massenerhaltung nötig. (K8-U1-80).

Als dritten Aspekt spricht die Lehrkraft die Rolle von Material bei der Veränderung von Schülervorstellungen an. Sie nutzt hier den Begriff des „Bypass“ im Sinne einer Überbrückung (siehe Explikation am Ende dieser Ausführungen) und erläutert dies am Beispiel der Jahrgangsstufe 8, Phase „Vorstellungen entwickeln“ (U1). Die Schüler haben zunächst ihre Vermutungen zum Trefferbild und zum atomaren Aufbau der Goldfolie diskutiert und erhalten in der anschließenden Gruppenarbeit zusätzliche fachliche Informationen (Wissenskarten), mit deren Hilfe sie das tatsächliche Trefferbild erklären sollen: „Und dann kommt so etwas wie ein Bypass. Dann bekommen die Schüler Materialien zum Aufbau der Atome. Denn sie können den realen Aufbau der Atome aus dem Trefferbild nicht aus eigener Kraft ableiten. Sie brauchen diesen Bypass, diese Wissenskarten, die ihnen in der Lernumgebung zur Verfügung gestellt werden, damit sie sich anhand dieser Informationen den Aufbau des Atoms praktisch konstruieren und dann mit dem tatsächlichen Trefferbild Zusammenhänge herstellen. (...) Über diesen Bypass kommen die Schüler zu einer tragfähigen Vorstellung und dann muss man am Ende sehen, wie man die Anfangsvorstellung mit der, die sich über das Material ergeben hat, verbindet“ (K8-U1-23-25).

Für die Lehrkraft ist es wichtig, dass die geäußerten Schülervorstellungen positiv diskutiert werden (siehe Punkt III). Sie erreicht dies, indem die vorgestellten Hypothesen der Schüler in der Phase „Vorstellungen entwickeln“ (U1) nicht im Sinne von „Richtig“ oder „Falsch“ diskutiert werden, sondern indem zum Beispiel von „plausibel“ gesprochen wird. Sie vermeidet so eine Konkurrenz der Vorstellungen und Verhaltensweisen der Schüler wie Angreifen und Verteidigen:

„(...) ich es vermeide es, verschiedene Vorstellungen gegeneinander auszuspielen, dass die Schüler hier miteinander streiten müssen, wer denn Recht hat. Sondern (das Ziel ist), dass die Schüler das einfach nur nebeneinander so sehen, wahrnehmen, um dann später Bezug darauf zu nehmen (...). Die Frage „Wer hat hier recht?“ wird nicht gestellt. (...) Denn (beim Verteidigen oder Angreifen) verinnerlichen sie das auf eine emotional eingefärbte Art und Weise und das will ich nicht. Ich mache das unter einem positiven Aspekt: Was von den Vorstellungen können wir nutzen, um (es in) das Richtige (...) zu integrieren?“ (K8-U1-209-211). Als konkretes Beispiel nennt sie das Ergebnis der Schülerdiskussion zur Erklärung der Volumenkontraktion (Phase U1, Jahrgangsstufe 11): „Und wichtig ist hier, dass die beiden Denkansätze „Kugelteilchenmodell“ und „Wechselwirkungen“ parallel nebeneinander stehen bleiben, ohne dass sie durch die Frage ‚Was trifft denn jetzt zu?‘ (voneinander) abgehoben werden. Sondern beide Denkansätze erscheinen plausibel und konkurrieren nicht“ (K11-U1-15).

In Bezug auf die Diskussion fachlich falscher Anteile von Schülervorstellungen in der Jahrgangsstufe sieht die Lehrkraft keine Gefahr, dass sich falsche Vorstellungen einprägen könnten, da diese auf positive Art und Weise im Gespräch korrigiert werden. Zur Verdeutlichung bezieht sie sich auf die Diskussion der Hypothesen der Schüler der Jahrgangsstufe 8. Die Schüler stellen sich vor, dass die Goldatome aus ausschließlich negativen Teilchen / ausschließlich positiven Teilchen bzw. aus positiven und negativen Teilchen (Schüler Martin) aufgebaut sein könnten: „Die Schüler können sich die falsche Vorstellung (z.B. alle Teilchen nur positiv oder nur negativ) nicht einprägen, wenn man im Plenum darüber redet, da die Rückmeldung über Martins Bild gekommen ist. Ich wusste, dass das in der Jahrgangsstufe liegt. (...) Und ich wusste auch genau, dass die Kritik (der Schüler) kommt: So kann das ja eigentlich nicht sein. Und das wird (im Gespräch) richtig gestellt“ (K8-U1-216).

Weiterhin merkt die Lehrkraft an, dass innerhalb der Ko-Konstruktionsprozesse auch der Vorteil von unterschiedlichen Schülererklärungen zum Tragen kommen kann. Die Erklärungen, die im Plenum geäußert werden, können einzelnen Schülern bei ihren individuellen Fragen helfen. „Im Anschluss fordere ich die Schüler auf, sich auf Frank zu beziehen. Und Norbert macht das nicht, sondern er setzt nochmal anders an: dass es um die Verwirbelung geht. Das hilft Marie weiter, sie kann damit ihre Anfangsvorstellung klären, sieht das auch ein, kann es begründen. (...) So eine Situation gibt es oft im Unterricht: ein Schüler denkt so, der andere denkt so, obwohl sie sich aufeinander beziehen sollten. Die zweite Antwort hilft aber einem dritten Schüler, damit kann dieser etwas klären“ (K11-U1-122-124). Hier bezieht sich die Lehrkraft auf eine Gesprächssituation in der Jahrgangsstufe 11 (Film K11-U1, min 00:03-06:36), in der die Schüler diskutieren, warum Gasblasen zu sehen sind und aus welchem Stoff diese bestehen

könnten. Marie vermutet eine chemische Reaktion, bei der ein Gas entsteht. Frank stellt sich vor, dass es gasförmiger Sauerstoff ist, der bei der Reaktion von Wasser mit Ethanol entsteht. Die Lehrkraft fordert dann die Schüler auf, sich auf Franks Überlegung zu beziehen. Norbert spricht als nächster und geht nicht auf Franks Hypothese ein, sondern vermutet, dass die Gasblasen durch Verwirbelungen beim Zusammenschütten zweier Flüssigkeiten entstehen könnten. Damit bezieht er sich zwar nicht auf die Überlegung von Frank, gibt jedoch eine Antwort auf Maries Vermutung.

Abschließend soll eine Explikation der Begriffe „tragfähig“ und „Bypass“ erfolgen. Die Begriffe werden im Zusammenhang mit Schülervorstellungen und deren Veränderung von der Lehrkraft verwendet (vgl. Punkt I.2).

Explikation zum Begriff „tragfähig“:

In den Interviews verwendet die Lehrkraft im Zusammenhang mit Vorstellungen an vielen Stellen das Adjektiv „tragfähig“. Der Duden führt als Bedeutung für „tragfähig“ an: „so konstruiert, gebaut, dass eine bestimmte Last getragen, eine bestimmte Belastung ausgehalten werden kann“ (www.duden.de; abgerufen im Februar 2016). Als Synonym wird „belastbar“ genannt.

Die konkreten Kontexte in den Interviews sind nach Häufigkeit sortiert:

1. Tragfähige Vorstellungen sind richtig (K8-U2-85; K8-U2-118; K11-U1-15; K11-U2-102; K11-U2-103; K11-U2-125; K11-U2-167).
2. Tragfähige Vorstellungen sind schlüssige Erklärungen (K8-U2-18; K8-U2-74; K11-U2-83; K11-U2-92; K11-U2-121; K11-U2-139).
3. Das Ergebnis am Ende der Unterrichtseinheit ist eine tragfähige Vorstellung (K8-U1-25; K8-U1-213; K8-U1-220; K8-U2-60; K11-U2-139).
4. Anteile von Vorstellungen sind tragfähig (K8-U1-83; K8-U1-214; K8-U2-104).
5. Tragfähige Vorstellungen sind anschlussfähig (K8-U2-118; K11-U1-11).
6. Vorstellungen, die nicht tragfähig sind, sind Lernhürden (K11-U2-136).
7. Ein analoges Denkkonzept ist tragfähig (K8-U1-67).
8. Anteile von Vorstellungen ergeben zusammen eine tragfähige Vorstellung (K8-U1-87).

Die drei am häufigsten auftretenden Kontexte (1-3) deuten auf die Verwendung hinsichtlich der fachlichen Richtigkeit der Vorstellungen hin. Das Ziel des Unterrichts ist in der Regel die fachwissenschaftlich korrekte Darstellung (1; 3), die auch folgerichtige Erklärungen (2) enthalten kann. Da die Lehrkraft von Anteilen der Vorstellungen spricht (4), gibt es demnach auch eine Vorstellung, die aus diesen Anteilen zusammengesetzt sein kann (8). Beide können tragfähig sein.

Aus dem Interviewkontext heraus erscheint es plausibel, dass der Begriff „Denkkonzept“ (7) analog zu „Vorstellung“ verwendet wird. Aus der Verwendung des Begriffs „Lernhürden“ im Zusammenhang mit nicht tragfähigen Vorstellungen (6) kann vermutet werden, dass die Lehrkraft damit Alltagsvorstellungen meint, die die Entwicklung der wissenschaftlichen Vorstellung erschweren. Eine Verbindung zur lexikalischen Bedeutung „belastbar“ könnte im Sinne einer anschlussfähigen Vorstellung (5) oder auch eines Denkkonzeptes, das übertragen werden kann (7) bestehen. Auch die fachliche Richtigkeit der Vorstellungen (1-2) muss belastbar im Sinne der Anwendbarkeit einer allgemein gültigen Regel sein.

Zusammenfassend kann die Verwendung des Begriffs „tragfähig“ als fachwissenschaftlich korrekt interpretiert werden. Im Zusammenhang mit der Bezeichnung „tragfähige Vorstellung“ findet sich zusätzlich die Sichtweise, dass auch Anteile von Vorstellungen fachwissenschaftlich korrekt sein können. Diese Anteile sind ausbaufähig und können zu einer umfassenden fachwissenschaftlichen Vorstellung beitragen. Letzteres spiegelt sich in den Kriterien wider, die die Lehrkraft für die Auswahl der Vorstellungen nennt (siehe Punkt IV.2).

Explikation zum Begriff „Bypass“:

Der Duden führt als Bedeutungen für „Bypass“ an: „Umführung“ (technisch) und „Überbrückung“ (medizinisch) (www.duden.de; abgerufen im Februar 2017). Aus dem Englischen wird „Bypass“ mit „Umleitung“ oder „Umfahrung“ ins Deutsche übersetzt (www.dict.de; abgerufen im Februar 2017).

Im Interview erklärt die Lehrkraft am Beispiel der Jahrgangsstufe 8 die Rolle von Material im Zusammenhang mit der Veränderung von Schülervorstellungen. Die Materialien sind Wissenskarten mit Informationen und „*so etwas wie ein Bypass*“ (K8-U1-23). Die Anfangsvorstellungen der Schüler reichen nicht aus, um daraus das Trefferbild abzuleiten. Nur mit den Informationen aus den Wissenskarten können sie den Aufbau des Atoms konstruieren. Mit Hilfe des „Bypass“ kommen die Schüler somit zu einer tragfähigen (fachlich richtigen) Vorstellung (K8-U1-23-25).

Der oben geschilderte Textkontext zeigt, dass der „Bypass“ aus Sicht der Lehrkraft eine nötige Voraussetzung ist, damit die Schüler eine fachwissenschaftliche Vorstellung entwickeln können. Im Verbindung mit den lexikalischen Bedeutungen des Begriffs könnten die Wissenskarten als eine Überbrückung oder Umfahrung auf dem Weg zum Ziel, der fachwissenschaftlichen Vorstellung, verstanden werden. Da die Lehrkraft für Veränderungen von Schülervorstellungen unter anderem das Bild einer Brücke nutzt (K8-U1-79), erscheint es plausibel, dass sie auch den Begriff „Bypass“ im Sinne einer Überbrückung versteht.

Zentrale Aspekte der Kategorie I.2 „Vorstellungen diskutieren, um Ko-Konstruktionsprozesse und Veränderung von Vorstellungen zu fördern“

- Die Diskussion von Schülervorstellungen fördert Ko-Konstruktionsprozesse: durch Austausch und Verhandlung von Vorstellungen wird in der Jahrgangsstufe eine gemeinsam geteilte Vorstellung entwickelt.
- Im Prozess der Ko-Konstruktion werden die tragfähigen (fachlich richtigen) Anteile der unterschiedlichen Schülervorstellungen zu einer fachlichen Vorstellung zusammengeführt, die die Problemstellung löst.
- Im Ko-Konstruktionsprozess verändern sich Vorstellungen durch Anknüpfen und anschließendes Umdeuten oder durch einen Konzeptwechsel.
- Materialien unterstützen den Veränderungsprozess der Vorstellungen, indem sie den Schülern zusätzliche Informationen zur Entwicklung der fachlichen Vorstellung zur Verfügung stellen.
- Der Lehrer unterstützt Ko-Konstruktion, indem er das Schülergespräch fördert und sich selbst zurückhält.
- Schülervorstellungen werden positiv diskutiert: plausible Vorstellungen bleiben (in der Phase U1) ohne Bewertung (richtig/falsch) neben einander stehen → vermeidet Konkurrenz, Angreifen und Verteidigen
- Die Diskussion fachlich falscher Anteile von Schülervorstellungen führt nicht zum Einprägen, weil diese im Gespräch richtiggestellt werden.
- Ko-Konstruktion im Plenum ermöglicht unterschiedliche Schülererklärungen, die einzelnen Schülern individuell weiterhelfen.

7.3.2 Übergeordnete Prinzipien zur Gesprächsführung (Kategorie II)

Unter Punkt 1 werden zunächst grundlegende Aktivitäten der Lehrkraft bei der Steuerung der Schülergespräche aufgezeigt. Dadurch wird deutlich, welche Unterschiede im Vergleich zu einem Schülergespräch ohne lenkenden Einfluss der Lehrkraft wie zum Beispiel in Gruppenarbeitsphasen bestehen. Die Aspekte unter Punkt 2 zeigen, wie die Lehrkraft eine Strategie für die Diskussion der Schülervorstellungen entwickelt und umsetzt.

1. Schülergespräche gezielt lenken

In den Interviews mit der Lehrkraft wurde deutlich, dass die Schülergespräche von der Lehrkraft sehr bewusst und strategisch gelenkt werden, um sie möglichst ergiebig für Lernprozesse zu machen. Dabei werden je nach Phase im Unterricht unterschiedliche Ziele in Bezug auf die Schülervorstellungen verfolgt und in der entsprechenden Gesprächsführung umgesetzt. Im Zentrum stehen die Lerner Vorstellungen und deren Veränderung durch Ko-Konstruktionsprozesse im Gespräch. In diesem Veränderungsprozess übernimmt die Lehrkraft eine strukturgebende Funktion und sichert ab, dass möglichst viele Schüler die gemeinsam konstruierten Vorstellungen erfassen. Somit wird der Lernweg, der sich im Gespräch entwickelt hat, transparent.

Die Lehrkraft unterscheidet die zwei Phasen „Vorstellungen entwickeln“ (U1) und Lernprodukt diskutieren (U2) in der grundlegenden Zielsetzung. In der Phase „Vorstellungen entwickeln“ sollen die Vorstellungen der Schüler aktiviert und für alle hörbar gemacht werden: „Zunächst geht es darum, zu schauen, was der Schüler in seinem Kopf an Vorwissen und Vorstellungen hat: was kann er mit diesem Phänomen in Verbindung bringen, um dann seine Vorstellungen zu verändern. (...) die Schüler brauchen Raum, um erzählen zu können, zu hören, was Gleichaltrige dazu erzählen. Sie werden angeregt, weiterzudenken, die Perspektive zu wechseln (...)“ (A-31). Die Lehrkraft hält sich selbst mit Wortbeiträgen zurück und fokussiert auf die Vorstellungen, die im nachfolgenden Unterricht den Lernprozess voranbringen: In der Phase „Vorstellungen entwickeln“ „(...) kommen die Schüler in einen Diskurs über ihre Vorstellungen, ohne dass der Lehrer inhaltlich eingreift. Der Lehrer steuert nicht inhaltlich, sondern hält das Gespräch am Leben und fokussiert auf bestimmte Aspekte, die zielführend sind. Er gibt keine Hilfestellung in dem Sinn, dass Schüler schon auf das Richtige kommen. In dieser Phase geht es nur darum, dass die vorhandenen Vorstellungen und Bilder in den Köpfen der Schüler ins Bewusstsein rücken und ausgesprochen werden“ (A-13-15). Am Ende dieser Phase „(...) muss ich natürlich auch diese Ausgangsbasis schaffen und in den Horizont der Schüler rücken, was denn hier (an den verschiedenen Vorstellungen) tragfähig war“ (K8-U1-83).

Der Phase „Lernprodukt diskutieren“ (U2) geht häufig eine Partner- oder Gruppenarbeit voraus, in der die Schüler ihre Vorstellungen mit neuen Informationen in Verbindung bringen. Diese veränderten Vorstellungen (Lernprodukte) werden dann in der Phase „Lernprodukt diskutieren“ im Jahrgangsstufenplenum so verhandelt, dass ein Mehrwert in Bezug auf den Lernprozess entsteht (A-24). „Das Ziel der Gesprächsführung in dieser Phase ist, aus den heterogenen Lernprodukten einen Mehrwert herauszuziehen, in dem sich dann auch der Unterrichtsertrag widerspiegelt. Ich habe versucht, dieser Auswertephase eine Struktur zu geben, so dass in den einzelnen Aspekten jeweils eine Fachtiefe erreicht wird. Wenn ich alles in einen Pott werfe und (die Schüler) über alles reden lasse, dann wird es an keiner Stelle wirklich präzise und dann bleibt der Mehrwert weit hinter den Möglichkeiten zurück“ (K11-U2-10). Dazu gehört auch, dass die gerade in der Chemie oft abstrakten Gesprächsinhalte durch Visualisierung und Modelle unterstützt und veranschaulicht werden (A-36; K8-U2-64). Als Beispiel führt sie die Szene in der Jahrgangsstufe 8 an (Film K8-U2; min 1:22:18), als die Schüler über die Rolle des Atomkerns diskutieren und die Lehrkraft die gezeichnete Vorstellung von Bastian zur Reduktion des Abstraktionsgrades nutzt, da er einen kleinen Kern mit großer Hülle gezeichnet hat. Hierzu erläutert die Lehrkraft ihre Überlegungen zur Lehrersteuerung: „(...) und ich merke, dass ich den Lernprozess, diesen Ko-Konstruktionsprozess nicht weiter katalysieren kann, weil es zu abstrakt wird für die Lerngruppe. Und jetzt brauche ich eine Visualisierungshilfe und dazu weiß ich, dass Bastian einen anderen Zugang zur Lösung der Aufgabe gewählt hat. Er ist nicht vom Strahlenverlauf ausgegangen, sondern er hat zunächst die Wissensbausteine genutzt, um sich eine Skizze vom Atom zu machen, unabhängig von Alphateilchen und Strahlenverläufen. Und das habe ich gesehen, ich habe diese Zeichnung fotografiert und diese gerade eingespielt“ (K8-U2-57).

Es ist das Ziel der Lehrkraft, dass sich durch ihre Steuerung des Schülergesprächs in der Phase U2 eine „Mehrwertdiskussion“ entwickelt (K11-U2-135). Die Lehrkraft erklärt diesen Begriff: Die Mehrwertdiskussion „(...) hilft bei der Rekonstruktion, Angleichung oder Weiterentwicklung von Schülervorstellungen. Und zwar (...) so, dass am Ende die tragfähige Lösung, die neue Vorstellung tatsächlich herauskommt, der Ertrag greifbar wird, die Erkenntnis in Worte fasst“ (K11-U2-139). Dabei ergibt sich für jeden Schüler, ausgehend von seiner individuellen Anfangsvorstellung ein anderer Mehrwert, „(...) weil das, was erarbeitet wird, im Vergleich zum eigenen Stand, zum eigenen Fehler, zum eigenen Können einen unterschiedlichen Abstand hat. Und der Mehrwert ergibt sich aus diesem Abstand heraus“ (K11-U2-113). Konkret erläutert sie das am Beispiel des individuellen Mehrwerts der Schüler Frank, Norbert und Nico (Jahrgangsstufe 11). Frank hat den Fehler in der Gruppenarbeit (Wasserstoffbrückenbindungen am Alkylrest des Ethanolmoleküls) und in der Präsentation korrigiert: „Frank (...) hat

diese Erkenntnis schon in seine Präsentation eingebracht. Sein Mehrwert war, genauer hinzuschauen und das auszuschärfen“ (K11-U2-128). Bei der anschließenden Diskussion bringt Norbert die Bedeutung der Wasser-Cluster ein (Film K11-U2, min 05:45 bzw. 47:06). Die darauffolgenden Gesprächsbeiträge zeigen, dass „Nico (...) noch nicht über Cluster nachgedacht (hat), er hatte auch noch keine Vorstellung, was ein Cluster sein könnte und das wird hier (Film K11-U2, min 47:36) sehr deutlich: ‚Jetzt weiß ich, was Cluster sind‘. Und damit ist der Mehrwert für Nico die neue Erkenntnis ‚Ich weiß, was Cluster sind, ich kann die Cluster in meine Erklärung integrieren und komme so zu einer schlüssigen Erklärung.‘. Und Norbert hat den Einstieg schon gefunden und hat durch die Diskussion seine Erklärung ausgeschärft. (...) Und so sieht man, dass jeder Schüler auf seinem Niveau einen Mehrwert erzielt. Es gibt nicht den pauschalen Mehrwert für alle“ (K11-U2-128-132).

Am Ende der Phase U2 wird explizit auf die Anfangsvorstellung der Schüler Bezug genommen, um den Lernweg transparent zu machen und den Lernzugewinn zu definieren (K8-U2-70; K8-U1-167; K11-U2-90; K11-U2-94; K8-U1-208). Die Lehrkraft nutzt dazu entsprechende Fragen wie: „Wie seid ihr zu der neuen Vorstellung gekommen? Was hat euch dabei geholfen? Inwiefern habt ihr mit den Wissenskarten gearbeitet? (...) Was habt ihr vorher gedacht? Warum habt ihr das vorher gedacht? Und was könnt ihr jetzt von euren Anfangsvorstellungen hier wiederfinden und verwenden?“ (K8-U1-33). Auch während der Schülerdiskussion in der Phase U2 macht die Lehrkraft die einzelnen Lernschritte transparent. Dazu nutzt sie Fragen wie: „Ihr habt Wechselwirkungen beschrieben, das haben wir jetzt geklärt. Die Kontraktion ist noch unklar. / Was ist schon klar? Was haben wir erreicht? / Worin besteht das nächste Ziel, was ist also eure Aufgabe? Das ist Transparenz im Hinblick auf den Lernprozess, damit die Schüler jederzeit wissen, wo wir stehen, was wir haben, worum es jetzt geht“ (K11-U2-57).

Durch Strukturierung und Zusammenfassung erreicht die Lehrkraft ein „Plateau“ (zur Bedeutung vgl. nächster Absatz und Explikation), das die Summe der verhandelten Vorstellungen in einer zentralen Aussage bündelt und den Lernertrag der Diskussion darstellt (K8-U1-162). Die Lehrkraft erklärt die Bedeutung der Strukturierung nach einer Schülerdiskussion: „Damit Lernen stattfindet, müssen danach die Gedanken strukturiert werden, sie müssen gespiegelt und zusammengefasst werden. Und an dieser Stelle ist die Gesprächsführung gefragt. Der Lehrer greift wichtige Dinge heraus, gibt der Meldekette also eine Struktur und fasst den Gesprächsstand zusammen. Oder er leitet die Schüler an, zusammenzufassen. (...) So dass dann ein Plateau erreicht wird: das sind unsere Vorstellungen, die wir zu dieser Aufgabenstellung mitbringen“ (A-17-19). Durch

das erneute Formulieren der inhaltlichen Erkenntnis erhalten alle Schüler nochmals die Gelegenheit, die ausgehandelte Vorstellung zu hören und zu verarbeiten und zudem wird der Erkenntnisweg transparent (A-25; K8-U2-69; K11-U1-110; K11-U2-85; K11-U2-90; K11-U2-86).

Zur Bedeutung des „Plateaus“ erläutert die Lehrkraft: Es ist wichtig, „dass möglichst alle Schüler den Erkenntnisstand wahrnehmen und ich mich vergewissere, dass eine Reihe Schüler das auch in Worte fassen kann. Ich kann das nicht bei jedem Schüler sicherstellen, sondern ich kann nur Stichproben machen, um zu diagnostizieren: „Ist das Plateau auch tatsächlich erreicht?“. Und dieses Plateau brauche ich immer wieder als Basis (...), nach jedem einzelnen Lernschritt, um weiterarbeiten zu können. Fehlt mir die Basis, bekommt die Lernlinie ein Loch und alles, was danach kommt, ist nicht mehr tragfähig und ich verliere Schüler“ (K11-U2-92). Das Zitat stellt die Bedeutung eines „Plateaus“ heraus: das Gespräch, in dem über Vorstellungen diskutiert und verhandelt wurde, wird strukturiert und zusammengefasst, die zentralen Erkenntnisse werden formuliert und wiederholt. Damit sichert die Lehrkraft Zwischenschritte im Lernprozess ab. Da die Zwischenschritte eine logische, aufeinander aufbauende Reihenfolge besitzen, darf keiner dieser Schritte fehlen. Durch die logische Abfolge entsteht ein „roter Faden“ im Gespräch (K11-U1-97; K8-U1-201). Durch die Plateaus wird somit auch der Lernweg deutlich. Dazu erläutert die Lehrkraft: „Und für das Plateau ist (...) auch die Transparenz in Bezug auf den Fortschritt wichtig. Ich muss zunächst einmal verstehen, was wir gerade Neues erarbeitet haben und was mir das Neue im Vergleich zu dem Erkenntnisstand zuvor bringt“ (K11-U2-86 und K11-U2-90).

Die Bildung eines Plateaus kann auch zur Reflexion der Anwendbarkeit einer neu entwickelten Vorstellung dienen. So fordert die Lehrkraft die Schüler auf, die gemeinsam erarbeitete Erklärung der Volumenkontraktion zu bewerten: *„Die zentrale kognitive Lücke, die eben geschlossen wurde, war diese Idee, dass ich durch die Cluster die Kontraktion erkläre. Und dann kommt dieses Plateau, angeleitet durch die Lehreraussage (Film K11-U2 min 48:38): ‚Inwiefern ist diese Erklärung, die ihr jetzt noch hinzugefügt habt, viel tragfähiger als das, was ihr am Anfang hattet?‘“* (K11-U2-83).

Eine wesentliche Aufgabe ist aus Sicht der Lehrkraft, die geeigneten Zeitpunkte für Steuerungsaktivitäten im Gesprächsverlauf zu erkennen und eine passende methodische Umsetzung zu wählen (K8-U1-172; K11-U2-106). Dies gelingt nur durch die ständige Diagnose der Schülervorstellungen im Unterricht: *„Die Diagnose ist der Ausgangspunkt meiner Steuerung. Welches Instrument der Gesprächsführung nehme ich, um den Schülern weiterzuhelfen, sie anzuleiten in ihrem Denken und Kommunizieren, um zur besseren Vorstellung zu kommen?“* (A-37) Die Lehrkraft versteht unter „Diagnose“ die Analyse und Bewertung von

Schülervorstellungen. Sie vergleicht diese mit der fachlichen Vorstellung, strukturiert die übergeordneten Denkkonzepte der Schüler und leitet daraus ihr weiteres Vorgehen in Bezug auf die Steuerung des Gesprächs und der methodischen Umsetzung ab (A-41; K11-U1-73). Um sicherer diagnostizieren zu können, nutzt die Lehrkraft die Visualisierung und lässt die Schüler ihre Vorstellungen erläutern (vgl. Punkte IV.1 und IV.2). Durch gezieltes Nachfragen fordert sie die Schüler auf, ihre Vorstellung zu begründen oder Zusammenhänge darzustellen, damit sie ihre Interpretation der Schülervorstellung präzisieren kann (K11-U1-35; K11-U1-82; K8-U2-17). „Das Nachfragen ist entscheidend, damit der Lehrer diagnostizieren kann (...). Und das sollte dann immer so formuliert werden, dass es nicht gängelnd für den Schüler ist, nicht unangenehm. Das kann man verpacken in einen Auftrag (wie): ‚Erkläre es nochmal für die anderen (Schüler), damit sie sich auch einbringen können.‘“ (K8-U2-21).

Ein weiteres übergeordnetes Ziel der Gesprächssteuerung ist es, in der Schülerdiskussion die Balance zwischen Raum und Zeit für die Lösungssuche und der Zielorientierung, dem Weiterkommen im Gespräch zu halten. Das Weiterkommen steuert die Lehrkraft durch Strukturierung und Fokussierung der nächsten Themen (siehe Punkt IV.3). Zur Begründung erklärt die Lehrkraft: „Ein Schüler hat das Bedürfnis, dass am Ende (der Diskussion) etwas Produktives herauskommt. Und es ist sehr unbefriedigend, wenn Schüler zu lange im Dunkeln tapen und desorientiert sind. Deswegen muss ich die Balance halten zwischen dem Schüler einen Denkraum eröffnen und immer wieder spürbar werden zu lassen, dass wir (im Gespräch) weiterkommen. Deswegen habe ich diese Steuerungsinstrumente wie „Strukturieren“ und „gezielt einzelne (Themen-) Felder angehen“, so dass immer wieder Zwischentappen, Zwischenplateaus erreicht werden, an denen jeder Schüler sieht: "Wir haben jetzt gemeinsam das geklärt.". Und dann sind die Schüler auch wieder motiviert, im zweiten (Themen-) Feld miteinander zu verhandeln. Dieser Wechsel zwischen „Räume öffnen“ und „Plateaus bilden“ (...) hält die Spannung aufrecht“ (K11-U1-95). Weiterhin achtet die Lehrkraft darauf, einen Spannungsbogen im Gespräch zu erzeugen, indem sie die Reihenfolge bei der Präsentation entsprechend wählt (K11-U2-14), einleitende Fragen stellt (K11-U2-53) oder das Tempo im Gespräch variiert (K11-U2-18). Zum Beispiel erläutert die Lehrkraft: „(...) das Lerntempo plane ich so, dass ich für die (Erklärung der) Kontraktion das Tempo reduziere, mir Zeit nehme und davon ausgehe, dass ich bei der Expansion schneller vorankomme. Die Veränderung des Lerntempos sorgt dafür, dass Spannung aufrecht gehalten wird (...). Wenn alles immer gleichförmig verläuft, nimmt die Aufmerksamkeit ab“ (K11-U2-18).

Explication zum Begriff „Plateau“:

Abschließend soll mit „Plateau“ ein für die Lehrkraft bedeutsamer Begriff expliziert werden. Der Duden gibt für „Plateau“ zwei Bedeutungen an: „Hochebene“ und „obere ebene Fläche eines Berges“ (www.duden.de, abgerufen im Februar 2017, 2016).

In den Interviews treten folgende Kontexte für den Begriff auf:

1. Plateaus sind wichtig (K8-U2-69).
2. Ein Plateau ist ein (Lern-) Ertrag / Erkenntnisstand (K8-U1-162; K11-U2-110).
3. Ein Plateau ist ein nötiger Schritt (Zwischenetappe) im Verstehensprozess (K8-U2-64; K11-U1-95).
4. Fehlt ein Plateau, unterbricht das den Lernprozess (K11-U2-92).
5. Ein Plateau ist nach einem Lernschritt die Basis, um weiterarbeiten zu können (K11-U2-92).
6. Ein Plateau macht die gemeinsam erarbeitete Erkenntnis für alle Schüler transparent (A-25).
7. Die Lehrkraft initiiert die Plateaubildung (K11-U2-117).
8. Strukturierung führt zu einem Plateau (K8-U1-160).
9. Zusammenfassung führt zu einem Plateau (K8-U1-162; K11-U2-110).
10. Ein Plateau muss für alle Schüler transparent werden (K11-U1-97).
11. Schüler sollen ein Plateau formulieren, damit die Lehrkraft den Erkenntnisstand feststellen kann (K11-U2-110).
12. In den Gesprächen erfolgt ein Wechsel zwischen „Räume öffnen und Plateaus bilden“ (K11-U1-95).

Aus den Kontexten (2) bis (6) wird deutlich, dass die Lehrkraft das Plateau als einen Zwischenschritt im Lernprozess versteht und ein Plateau eine gemeinsam erarbeitete Erkenntnis ist. Das Plateau ist wichtig (1), weil die Erkenntnisse aufeinander aufbauen (4) und es somit die Basis für den nächsten Lernschritt ist (5). Die Bildung eines Plateaus wird durch die Lehrkraft initiiert (7), indem am Ende einer Gesprächsphase (12) die wesentlichen Erkenntnisse strukturiert und zusammengefasst werden (8 und 9). Zur Überprüfung und Sicherung formulieren Schüler den Erkenntnisstand (11) und machen ihn dadurch für alle deutlich (10). Bezüglich der lexikalischen Bedeutung einer „obere ebene Fläche eines Berges“ kann vermutet werden, dass die Lehrkraft das gemeinsame Erarbeiten in den diskursiven Gesprächsphasen mit einem Aufstieg auf einen Berg vergleicht und das Erreichen der ebenen Fläche mit dem erreichten Erkenntnisstand gleichsetzt. Ähnlich wird der Begriff beim Klettern verwendet: hier spricht man von einem „Standplatz“, an dem die Seilschaft zusammenkommt, um sich von dort aus weiter nach oben zu sichern. Zusammenfassend kann der Begriff „Plateau“ als eine

gemeinsam erarbeitete Erkenntnis, die einen Zwischenschritt im Lernprozess bildet interpretiert werden.

Zentrale Aspekte der Kategorie II.1 „Schülergespräche gezielt lenken“

- Die Ziele der Lehrersteuerung sind phasenabhängig.
- In der Phase „Vorstellungen entwickeln“ (U1) findet ein Diskurs der Schüler über ihre Vorstellungen statt. Die Lehrkraft greift inhaltlich (im Sinne einer richtigen Lösung) nicht ein, sondern fokussiert auf tragfähige Anteile von Vorstellungen.
- In der Phase „Lernprodukt diskutieren“ (U2) findet eine Mehrwertdiskussion statt. Jeder Schüler erzielt, ausgehend von seiner Anfangsvorstellung, einen individuellen Mehrwert.
- In der Diskussion werden die entscheidenden Lernschritte durch Plateaus gesichert. Ein Vergleich mit den Anfangsvorstellungen am Ende der Phase U2 zeigt den Lernzugewinn.
- Am Ende eines Schülergesprächs wird die gemeinsam ausgehandelte Vorstellung durch Strukturierung und Zusammenfassung zu einem Plateau verbreitert.
- Ein Plateau ist eine gemeinsam erarbeitete Erkenntnis, die einen Zwischenschritt im Lernprozess bildet und der Sicherung dient. Der Erkenntnisweg, der zur Lösung geführt hat, wird durch Plateaus transparent.
- Die Lehrkraft überprüft, ob Schüler die Erkenntnis des Plateaus in Worte fassen können. Bei abstrakten Gesprächsinhalten sorgt sie für Visualisierung und setzt Modelle ein.
- Die fortgesetzte Bildung von Plateaus führt zum Lernertrag (Lösung des Problems) und macht den Lernweg im Gespräch transparent.
- Die Lehrkraft wählt die Art der Steuerungsaktivitäten und den Zeitpunkt aus. Grundlage hierfür ist die Diagnose (Analyse von Denkkonzepten und Vergleich mit fachwissenschaftlicher Vorstellung). Visualisierung von Vorstellungen, Schülererklärungen und Nachfragen (nach Begründung oder Zusammenhängen) helfen bei der Interpretation der Vorstellungen.
- Im Verlauf der Schülerdiskussion achtet die Lehrkraft auf die Balance zwischen Lösungssuche und Zielorientierung und baut einen Spannungsbogen im Gespräch auf.

2. Strategie für die Diskussion von Schülervorstellungen umsetzen

Die Lehrkraft nutzt für die Verhandlung von Vorstellungen in den Gesprächen eine zentrale Strategie, die sie mit unterschiedlichen Methoden (vgl. Punkt IV) umsetzt, um damit den Lernprozess der jeweiligen Jahrgangsstufe optimal zu unterstützen (A-48). Generell wird die Strategie durch die Auswahl der Vorstellungen und die Art und Weise der Präsentation festgelegt. Die Lehrkraft nennt für letzteres zwei Arten: die vergleichende Präsentation und die gestufte Präsentation (A-50-54; K8-U1-108).

Bei der Umsetzung der jeweiligen Strategie spielt die Reihenfolge der Vorstellungen in Bezug auf die Inhalte eine entscheidende Rolle. Die Lehrkraft erläutert hierzu: Ich lege fest, „welcher Schüler beginnt, ansonsten kann ich meine Dramaturgie (...) nicht entfalten. Wenn ich frage: ‚Wer möchte denn (vorstellen)?‘, gibt es ein Zufallsprodukt, dann kann ich nicht lernwirksam mit den Vorstellungen arbeiten. Ich kann meine Strategien, meine Dramaturgie, nur umsetzen, wenn ich die Schüler bestimme“ (K8-U1-100 und K8-U2-7).

Ein konkretes Beispiel hierzu ist in der Jahrgangsstufe 8 (Phase U1) zu finden. Die Reihenfolge der Vorstellungen war: 1. Atome sind Kugeln ohne Ladung, 2. Atome enthalten nur positive Teilchen 3. Atome enthalten nur negative Teilchen. Diese Vorstellungen wurden zunächst mit dem Auftrag, zu vergleichen von den Schülern diskutiert. Dabei diskutieren die Schüler unter anderem, dass der Aufbau der Goldfolie aus nur positiven oder nur negativen Teilchen wegen der gegenseitigen Abstoßung gleichnamiger Ladungsträger nicht möglich ist. Als Antwort auf diesen Widerspruch wird danach die vierte Vorstellung von Martin (das Atom enthält positive und negative Teilchen) präsentiert, wodurch dieser Widerspruch aufgelöst wird. Die Lehrkraft erläutert zur Reihung: „Hätte ich Martins Vorschlag in der Präsentation vor den anderen Gruppen genommen, hätte ich diesen Wechselwirkungsgedanken nicht im Mittelpunkt gehabt. Aber das ist der Ansatzpunkt, der von den Gruppen (2) und (3) stehen bleibt, der dann umgedeutet wird“ (K8-U1-75).

Bei einer vergleichenden Präsentation werden die Schüler aufgefordert, Unterschiede und gegebenenfalls Gemeinsamkeiten bei den präsentierten Vorstellungen zu beschreiben (K8-U1-113). Diese Strategie „beginnt (...) mit der Auswahl der Lernprodukte. Ich wähle zwei Lernprodukte so aus, dass sie sich in Bezug auf das, was gelernt werden soll, also auf den Knackpunkt, unterscheiden. Ich lege sie nebeneinander und fordere die Schüler auf, Gemeinsamkeit und Unterschiede herauszustellen. Und dann kommen die Schüler bei den Unterschieden zwangsläufig auf den Knackpunkt“ (A-50). Als Beispiel nennt die Lehrkraft die Präsentation der vier Vorstellungen in der Jahrgangsstufe 8 (U1). Ihre Absicht war, den Unterschied der beiden Gruppierungen von Vorstellungen – „Atome

sind ungeladene Kugeln“ und „Wechselwirkungen zwischen Ladungen im Atom“ herauszuarbeiten (K8-U1-113-115). Eine vergleichende Präsentation kann auch von einem lernwirksamen Fehler ausgehen: „(...) ich überlege, welche Lernchance sich aus bestimmten Fehlern ergibt und nutze bessere, tragfähigere Vorstellungen zum Abgleich“ (A-50). Dabei wird zuerst die fehlerhafte Vorstellung präsentiert, danach die richtige und dann werden die Schüler zum Vergleichen aufgefordert. Mit dieser Vorgehensweise soll erreicht werden, dass die Schüler den Fehler selbst erkennen und beschreiben (K8-U2-28; K8-U2-11). Es ist „eine sehr bewährte Strategie, Richtiges und Falsches nebeneinander zu legen und vergleichen zu lassen, weil sich daraus ein Gesprächsanlass ergibt. Allein durch diesen Vergleich wird der Blick der Schüler auf diese Stelle gelenkt, weil da der wesentliche Unterschied besteht“ (K11-U2-13). Diese Strategie hat die Lehrkraft für die Jahrgangsstufe 11 (U2) gewählt (Film K11-U2; min 00:00 – 03:04). Frank soll die Bilder seiner Gruppe zur Volumenkontraktion erläutern. Dabei sind die Wassermoleküle zur Ausbildung der Wasserstoffbrückenbindungen an manchen Stellen im Bild auch an den Alkylrest (statt ausschließlich an die OH-Gruppe) der Ethanolmoleküle gelegt worden. Die Vorstellung der zweiten Gruppe, die von Norbert präsentiert werden soll, ist diesbezüglich korrekt und soll als Vergleich dienen. Zwischen Gruppenarbeit und Präsentation hat Frank den Fehler selbst erkannt und er korrigiert ihn während der Präsentation. Die Lehrkraft beschreibt, wie sie auf diese neue Situation reagiert: „Für einen Moment hat Frank meine Strategie durchkreuzt, die Lerngruppe im Anschluss Richtiges und Falsches vergleichen zu lassen, um den Fehler aufzudecken, weil er das schon vorweggenommen hat. (...) Das ist eine positive Leistung von Frank. Und dann nutze ich das zweite Lernprodukt einfach nur, um diese Erkenntnis 'Ich habe hier was falsch gemacht.' noch einmal umwälzen zu lassen. Und dabei können Schüler zur Sprache kommen, die diese Lernschleife brauchen, also eher leistungsschwächere Schüler (...)“. Diese Szene zeigt, dass im situativen Geschehen des Unterrichts eine hohe Flexibilität in Bezug auf die Gesprächsführung nötig ist. Gleichzeitig ist dieses Vorgehen ein Beispiel für eine gestufte Präsentation.

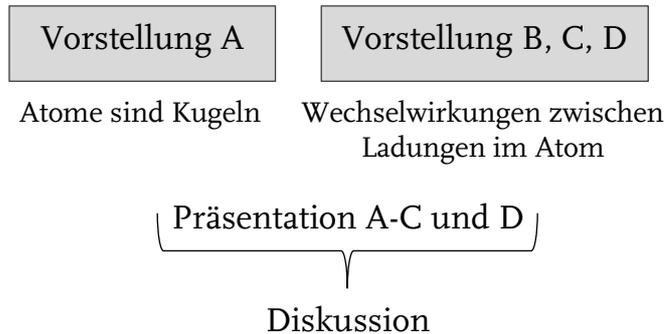
Bei der gestuften Präsentation wird zunächst anhand einer Vorstellung der wesentliche Inhalt diskutiert und danach wird eine zweite Vorstellung zur Sicherung (zum Beispiel durch Umwälzen, vgl. Punkt IV.4) verwendet (A-54). Ein weiteres Beispiel für die gestufte Präsentation ist im Verlauf der Phase U2 in der Jahrgangsstufe 11 (Film K11-U2; min 03:04-08:37) zu sehen: Anhand der Vorstellung der Gruppe von Norbert wird die Frage diskutiert, wie man die Volumenkontraktion erklären kann. Dazu fordert die Lehrkraft die Schüler auf, sich nochmals in der eigenen Gruppe auszutauschen. Die Schüler lesen dabei zum Teil nochmals im Material (Wissenskarten) nach und entwickeln in der anschließenden Diskussion den entscheidenden Lösungsansatz zum Zerfallen der Wasser-

Cluster. Die Lehrkraft erläutert zu dieser gestuften Präsentation: Dann „(...) richte ich den Blick (nur) auf das Problem: ‚Warum haben wir hier überhaupt eine Kontraktion?‘. Und (...) da fokussiere ich nur noch auf eines der beiden Lernprodukte. Da brauche ich den Vergleich nicht mehr. Aber ich brauche das Material aus der Gruppenarbeit. Das steht zur Verfügung und da kann man in der Phase ‚Lernprodukt diskutieren‘ immer wieder darauf zurückgreifen“ (K11-U2-25).

Folgende Abbildung (32) stellt den Unterschied der beiden Strategien schematisch dar:

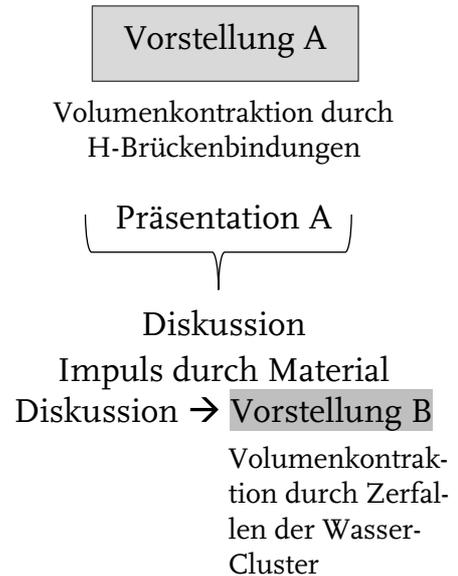
Vergleichende Präsentation

Bsp. 1 (K8, U1)

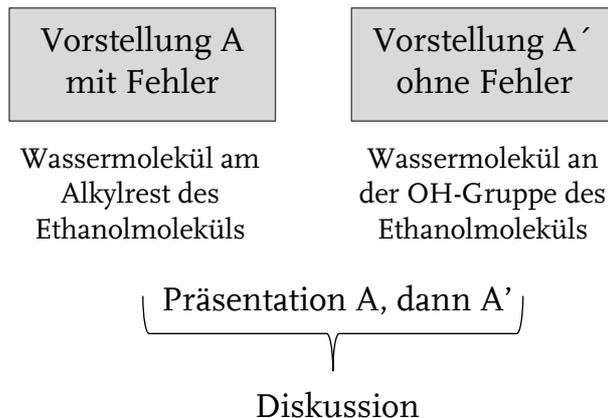


Gestufte Präsentation

Bsp. 1 (K11, U2)



Bsp. 2 (K11, U2)



Bsp. 2 (K11, U2)

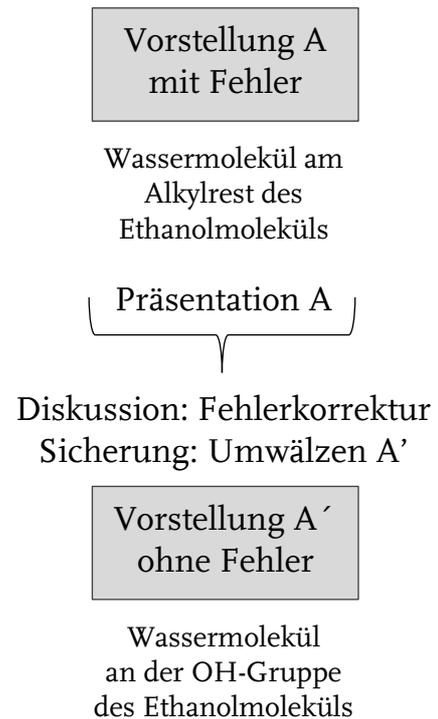


Abb. 32: Strategien für die Schülerpräsentationen und -diskussionen

U: Unterrichtsphase; K8/K11: Jahrgangsstufe 8 bzw. 11; Inhalte: Atommodell (K8);
Volumenkontraktion einer Lösung von Ethanol und Wasser (K11)

Quelle: Eigene Darstellung

Wie bereits deutlich wurde, muss eine geplante Strategie verändert werden, wenn diese im Lernprozess nicht mehr zielführend ist oder die Grundlage fehlt. Als weiteres Beispiel nennt die Lehrkraft dazu eine Situation in der Phase U2 in der Jahrgangsstufe 8. Ihre Strategie bestand zunächst in einer vergleichenden Präsentation der Vorstellungen von Lea und Doris. Die Schülerinnen hat die Lehrkraft aufgrund der gezeichneten Vorstellungen ausgewählt: Lea hat ein Alpha-Teilchen gezeichnet, das direkt auf den Kern trifft und abprallt. Doris hat ein Alpha-Teilchen gezeichnet, das nahe an den Kern kommt und dann abgelenkt wird. Ziel der Lehrkraft war es, „(...) Leas Zeichnung mit Doris' Zeichnung und den dahinterliegenden Vorstellungen zu vergleichen und mit den Schülern zu entwickeln, dass eine Abstoßung nicht nur dann zustande kommt, wenn das Teilchen den Kern tatsächlich trifft, sondern dass es ausreicht, wenn das Teilchen in der Nähe vorbeifliegt und das sieht man bei Doris (Strahlenverlauf Nr. 2)“ (K8-U2-25-26). Als Doris ihre Vorstellung erläutert, wird deutlich, dass sie zwar eine räumlich richtige Flugbahn des Alphateilchens gezeichnet hat, diese aber nicht schlüssig erklären kann. Die Lehrkraft erklärt zur Entscheidung, die sie in diesem Moment getroffen hat: „Meine ursprüngliche Strategie ist nicht aufgegangen, weil Doris ihre richtige Zeichnung nicht mit einer stabilen Vorstellung verbinden kann und ich somit auf dieses Lernprodukt nicht aufbauen kann. (...) Doris kann das nicht schlüssig erklären, insofern kann ich hier keinen Vergleich ansetzen, weil (ihre Präsentation) nicht als Positivbeispiel (nutzbar war). Und (deshalb) versuche ich eine neue Strategie anzusetzen und sichere zuerst den Strahlenverlauf, die reine Geometrie, damit jeder Schüler die Rückmeldung hat: ‚Das ist jetzt richtig‘“ (K8-U2-25-26). Im weiteren Verlauf des Gesprächs fokussiert die Lehrkraft dann auf die Diskussion von Leas Vorstellung und ergänzt diese mit der Vorstellung von Bastian, der den Aufbau des Atoms (kleiner Kern, große Hülle) gezeichnet hat.

Zentrale Aspekte der Kategorie II.2 „Strategie für die Diskussion von Vorstellungen umsetzen“

- Durch die Auswahl von Vorstellungen, deren Reihung und die Art der Präsentation legt die Lehrkraft eine Strategie fest. In der Strategie kommen die unterschiedlichen Methoden (vgl. Punkt IV) zum Einsatz, um den Lernprozess zu unterstützen. Die Schüler werden entsprechend der Reihung aufgerufen.
- Bei der vergleichenden Präsentation (Strategie 1) werden unterschiedliche Denkansätze oder eine richtige mit einer falschen Vorstellung verglichen.
- Bei der gestuften Präsentation (Strategie 2) wird eine Vorstellung diskutiert und durch neue Informationen weiterentwickelt. Es kann auch eine fehlerhafte Vorstellung diskutiert werden und eine korrekte Vorstellung wird im Anschluss zur Sicherung durch Umwälzen verwendet.
- Abhängig vom tatsächlichen Verlauf der Präsentationen und Diskussionen kann eine Anpassung oder Änderung der Strategie im Unterrichtsgeschehen erforderlich werden.

7.3.3 Gesprächsförderndes Klima (Kategorie III)

In den Interviews hat die Lehrkraft an vielen Stellen ihre Aktivitäten nicht nur inhaltlich und methodisch, sondern auch im Hinblick auf ein gesprächsförderndes Klima erläutert. So soll die Art und Weise der Umsetzung ihrer Prinzipien und Ziele, die Formulierung bei Fragen, Aufträgen oder Rückmeldungen den Schülern in den Gesprächen Wertschätzung und Sicherheit vermitteln (Punkt 1). Die offene Gesprächsatmosphäre und die Orientierung am Lernprozess führen dazu, dass Schüler vermehrt Anfangsvorstellungen oder Vorstellungen, die im Entstehen sind, äußern, obwohl diese Fehler enthalten (könnten). Die Lehrkraft bestärkt die Schüler darin, indem sie Fehler als Lernchancen sieht und diese bewusst in einen positiven Kontext setzt (Punkt 2).

1. Schülern in Gesprächen Wertschätzung und Sicherheit vermitteln

Die Lehrkraft zeigt mehrere Möglichkeiten auf, Schülerbeiträge wertzuschätzen. Ihre Eröffnung von Gesprächen zu Anfangsvorstellungen der Schüler (Phase U1) ist von einer bewertungsfreien, offenen Haltung bestimmt: „Es geht jetzt einfach nur darum, was ihr in euren Köpfen habt, es geht nicht um richtig oder falsch und ich freue mich darauf“ (K8-U1-100). Wertschätzung ihrer Anliegen und Beiträge erfahren Schüler auch, wenn die Lehrkraft ihre Fragen ernst nimmt und darauf eingeht oder wenn sie Schülern zutraut, Erklärungen für Mitschüler zu geben (K8-U1-193). Oder die Lehrkraft nennt beim Fokussieren, Strukturieren oder Anknüpfen (vgl. IV.3 und 4) die entsprechenden Schülernamen, um zu verdeutlichen, dass die Schülerbeiträge im Mittelpunkt der Gespräche stehen und dass die Schüler die Lösung aus eigener Kraft entwickeln können (K8-U1-150; K8-U1-237).

Besonders achtsam ist die Lehrkraft bei Ihrer Wortwahl, wenn Sie nachfragt, um Schülervorstellungen besser zu interpretieren, damit Schüler dies nicht als gängeleind oder bloßstellend empfinden. Als Beispiel für eine Formulierung nennt sie: "Erkläre es nochmal für die anderen, damit die sich auch einbringen können" (K8-U2-12). Damit setzt sie für den Schüler das Nachfragen in den Kontext ‚Dein Beitrag ist wichtig für unsere Diskussion‘ und kann gleichzeitig bei der erneuten Erläuterung des Schülers besser analysieren. Ähnlich begründet sie Ihre Formulierung, als sie Lukas (Film K8-U2, min 13:15), dessen Äußerung leise und undeutlich ist, zum Wiederholen auffordert. „An der Stelle sage ich, es war zu leise. Das ist so eine diplomatische Verpackung. Es war tatsächlich auch recht leise, aber vor allem geht es darum, dass er es noch einmal ausführlicher formuliert, noch präzisiert. (...) Ich hätte zu Lukas auch sagen können: ‚Lukas, erkläre es nochmal genauer.‘ (...) ‚Du greifst wichtige Dinge auf, aber bitte erkläre es nochmal genau, damit alle es verstehen können‘“ (K8-U2-94-96).

Weiterhin ist sich die Lehrkraft bewusst, dass für viele Schüler das Präsentieren ihrer Vorstellung vor dem Jahrgangsstufenplenum eine Überwindung ist. Daher bedankt sie sich für die Beiträge und achtet darauf, dass die Schüler nicht länger als nötig und vor allem nicht während der Diskussion ihrer Vorstellung vor der Jahrgangsstufe stehen bleiben (K8-U1-103). Wenn sie Unsicherheiten beim Präsentieren bemerkt, versucht sie diese aufzufangen. Zum Beispiel bei der Präsentation von Yasmin, die in Bezug auf den Aufbau der Goldatome nur positive Teilchen gezeichnet hat, und selbst schon weiß, dass dies nicht richtig sein kann. Diese vermutlich falsche Vorstellung zu präsentieren ist für Yasmin unangenehm und zeigt sich in ihrer Körpersprache und in ihrem abschließenden Satz: „(...) Aber da ja das nicht alles positiv sein kann, da sich die Goldfolie dann selber abstoßen würde, ist das noch ein bisschen unklar“ (Film K8-U1, min 23:45). Die Lehrkraft reagiert auf die Unsicherheit von Yasmin, indem sie diese entlastet (K8-U1-105; K8-U1-238) und kommentiert: „Okay, vielen Dank (für die Präsentation). Das ist eine typische Situation, die auch Naturwissenschaftler beim Erforschen haben: dass Fragen offen bleiben. Da gibt es Vermutungen, da gibt es Denkansätze, aber – wie du jetzt hier auch schon selbst erlebt hast – es bleiben Dinge offen“ (Film K8-U1, min 24:06). Damit zeigt sie auf, dass offene Fragen im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess eine übliche und keine negative Situation darstellen. Felix, der als Nächster präsentiert, reagiert positiv auf diese Bestärkung der Lehrkraft und schließt seine Präsentation (einer ebenfalls nicht richtigen Zeichnung mit nur negativen Teilchen) mit dem Satz: „Ich hatte jetzt allerdings auch noch das Problem, dass eigentlich die Goldfolie nicht komplett negativ geladen sein kann“ (Film K8-U1, min 25:19).

In Bezug auf die Gespräche ist die Lehrkraft bestrebt, Schülervorstellungen nicht im Sinne von Richtig und Falsch, sondern positiv im Sinne von ‚dieser Anteil deiner Vorstellung bringt uns im Lösungsprozess weiter‘ zu diskutieren: „Ich es vermeide es, verschiedene Vorstellungen gegeneinander auszuspielen, dass die Schüler (...) streiten (...), wer denn Recht hat. (...) Ich möchte das positiv machen: Wir lernen aus den Vorstellungen (...)“ (K8-U1-209-213).

Weiterhin möchte die Lehrkraft möglichst viele Schüler in die Jahrgangsstufendiskussion einbinden. Leistungsschwächere oder stille Schüler spricht sie zum Beispiel bei reproduktiven Fragen zum Vorwissen an, um Erfolgserlebnisse zu ermöglichen. Oder sie wählt diese Schüler für den Beginn einer Meldekette aus, damit sie in jedem Fall einen Beitrag liefern können und ihre Gedanken nicht von einem Mitschüler vorweggenommen werden (K11-U1-101-104).

2. Positiver Umgang mit Fehlern in Vorstellungen

Zentral ist für die Lehrkraft, „dass Fehler für das Lernen wichtig sind, dass Fehler konstruktiv genutzt werden und dass die keinerlei negativen Touch haben. Und

dieser Einstellung folgen Schüler nur, wenn sie das auch tatsächlich durch die Formulierungen und die Körpersprache des Lehrers so erleben. Wenn da die Absicht und die Formulierung oder die Körpersprache auseinanderdriften, dann merken sie sofort: Ich muss Fehler vermeiden“ (K11-U1-30).

Die Lehrkraft entscheidet bei Fehlern, ob sie wichtig – im Sinne von gravierend – oder lernförderlich sind oder eher unbedeutend. Im ersten Fall sollen die Schüler den Fehler selbst erkennen und korrigieren (K11-U1-69; K11-U1-73; K11-U1-127). Bei geringen Fehlern, die nicht das grundlegende Verständnis betreffen, nutzt die Lehrkraft zum Beispiel die Möglichkeit der Überformung, indem sie die Schüleräußerung selbst wiederholt und die fehlerhaften Begriffe ersetzt. Bei Schülerdiskussionen geht sie nicht auf alle Fehler ein, denn „jeden einzelnen, kleinen Fehler zu verfolgen kann nicht (sinnvoll) sein, weil das dann zu viel und unüberschaubar wird“ (K11-U1-125).

Wenn die Lehrkraft Fehler aufgreift, setzt sie an den richtigen Anteilen der Vorstellung an. Konkret erläutert sie dazu eine Szene in der Jahrgangsstufe 11, als Thomas bei der Diskussion der Volumenkontraktion falsch begründet, dass sich Wasserstoffbrückenbindungen am Alkylrest des Ethanolmoleküls ausbilden. Seine Mitschülerin Lara argumentiert im Anschluss mit dem polaren Teil (OH-Gruppe) des Ethanolmoleküls. Die Lehrkraft nimmt danach Bezug auf Thomas Fehler: „Bleiben wir einmal gerade bei dem Punkt: Thomas, du hast die Idee geäußert, dass hier zwischenmolekulare Wechselwirkungen eine Rolle spielen könnten und zwar die Wasserstoffbrückenbindung. Die Diskussion kreist jetzt nicht darüber, ob es Wechselwirkungen gibt, sondern an welcher Stelle die stattfinden. Da seid ihr euch noch nicht so ganz einig“ (Film K11-U1, min 6:15). Damit fokussiert sie auf die richtigen Aspekte in Thomas Vorstellung und stellt nicht den Fehler in den Vordergrund (K11-U1-30). Gleichzeitig fasst sie zusammen und fordert die Schüler zur Präzisierung auf. Im weiteren Verlauf des Gespräches wird die OH-Gruppe als Ort der Wasserstoffbrückenbindung bestätigt und die Lehrkraft signalisiert Thomas, dass sein Verstehen wichtig ist, indem sie rückfragt, wie er die Erklärungen der Mitschüler verstanden hat (K11-U1-38). Nach Rückmeldungen zu einem fachlich falschen Schülerbeitrag sucht die Lehrkraft also eine Möglichkeit, „die positive Leistung eines Schülers zu verstärken und zu vergleichen mit einer Stelle, an der es noch nicht geklappt hat, damit der Schüler das Signal bekommt: Ja, du hast das beachtet und hier hast du es richtig gemacht“ (K11-U2-162).

Die Lehrkraft fasst zusammen: „Die Fehler konstruktiv aufgreifen, das Positive an dem Fehler deutlich machen, den Fehler korrigieren, so dass die Schüler merken: ich habe es jetzt besser verstanden. Und das Ziel ist, besser zu verstehen“ (K11-U1-47).

Zentrale Aspekte der Kategorie III: „Wertschätzung und Sicherheit vermitteln“ (1) und „Positiver Umgang mit Fehlern“ (2)

- Bewertungsfreie, offene Haltung der Lehrkraft bei Präsentation der Anfangsvorstellungen
- Schülerbeiträge wertschätzen: Fragen ernst nehmen, Schülererklärungen fördern, Namen der Beitragenden beim Fokussieren, Strukturieren oder Anknüpfen nennen
- Gängelnde oder bloßstellende Formulierungen beim Nachfragen, Wiederholen oder Umwälzen vermeiden, stattdessen mit Wichtigkeit des Beitrags begründen
- Schüler beim Präsentieren Sicherheit geben: Dank für Präsentation, Unsicherheiten auffangen
- in den Gesprächen die tragfähigen Anteile der Vorstellungen diskutieren (z.B. statt „richtig/falsch“ „plausibel/bringt die gemeinsame Lösungsfindung weiter“)
- leistungsschwache oder stille Schüler positiv einbinden und Erfolgserlebnisse ermöglichen
- Fehler sind Lernchancen
- Fehler analysieren (gravierend, lernwirksam, unbedeutend, Flüchtigkeitsfehler) und differenziert behandeln: aufgreifen und klären bzw. überformen oder nicht thematisieren
- Vorgehen bei der Fehlerbehandlung: konstruktiv aufgreifen, auf positiven Anteil fokussieren, Schüler gemeinsam korrigieren lassen, nachfragen / Verstehen absichern

7.3.4 Ziele im Umgang mit Schülervorstellungen und methodische Umsetzung (Kategorie IV)

Diese Kategorie zeigt sieben verschiedene Möglichkeiten auf, mit Schülervorstellungen umzugehen. Diese sind abhängig von den Inhalten und Gesprächssituationen, die sich im jeweiligen Unterricht entwickeln. Bei den Ausführungen werden insbesondere die Ziele und die methodische Umsetzung durch das WAS, WARUM und WIE herausgearbeitet. Der Kasten zu Beginn jedes Punktes ermöglicht einen schnellen Überblick.

1. Schülervorstellungen aktivieren und bewusst machen

Das Ziel der Phase U1 (Vorstellungen entwickeln) ist für die Lehrkraft, dass Schülervorstellungen aktiviert werden, indem sich Schüler zu einer Problemstellung Gedanken machen und diese in Wort und häufig auch in Bildern ausdrücken (K8-U1-5; K8-U1-7; K8-U2-52).

Ziele	Methodische Umsetzung
Aktivieren und bewusst machen	Geeignete Problem- und Aufgabenstellung vorgeben; Versprachlichung und Visualisierung anregen
WAS: Vorstellungen aktivieren WARUM: unbeeinflusste Anfangsvorstellung ist Voraussetzung für Umdeuten; Lernfortschritt kann durch Vergleich deutlich werden	WIE: Zeit geben, gezeichnete Vorstellungen erläutern lassen, Meldekette, Lehrkraft hält sich zurück und hört zu

Abb. 33: Vorstellungen aktivieren und bewusst machen
Quelle: Eigene Darstellung

Im Fall der Jahrgangsstufe 8 ist die Problemstellung die Frage nach dem Trefferbild des Versuchs von Rutherford. Die Lehrkraft nutzt das Trefferbild als „Vehikel“, um die Vorstellungen der Schüler zum Aufbau der Atome zu aktivieren (K8-U1-10). Dazu erhalten die Schüler den Auftrag, das Trefferbild und den atomaren Aufbau der Goldfolie zu zeichnen, da aus Sicht der Lehrkraft „(...) Vorstellungen immer an Bilder im Kopf gebunden sind“ (K8-U2-52).

Bei der Präsentation der Vorstellungen erläutern die Schüler ihre Zeichnungen. Die Kombination von Bild und sprachlicher Erläuterung hat für die Lehrkraft zwei Vorteile: die Zeichnung veranschaulicht die abstrakte Schülervorstellung und die Erklärung der Schüler hilft ihr, diese möglichst korrekt zu interpretieren (K8-U1-43; K8-U1-44).

Als Begründung für die Aktivierung der Schülervorstellungen nennt die Lehrkraft zwei Aspekte. Sie ist zum einen der Ansicht, dass dadurch ein Anknüpfen an Vorstellung erfolgen kann und dies die Voraussetzung für eine erfolgreiche Umdeutung oder Erweiterung der Vorstellungen ist (K8-U1-32). Dazu erläutert

sie: „Und wenn man dieses Vorherdenken weglässt, dann stülpe ich den Schülern eine neue Vorstellung über. Zum Beispiel über die Wissenskarten oder über einen Lehrervortrag oder eine Lehrererklärung oder einen Buchtext. Aber die Schüler haben dies nicht verbunden mit ihrem Vorwissen und den Bildern, die sie im Kopf haben (...)“ (K8-U1-27). Zum anderen nutzt sie die Anfangsvorstellungen, um am Ende der Unterrichtseinheit durch Vergleich mit der neu erarbeiteten Vorstellung den Lernfortschritt zu verdeutlichen (K8-U1-33; K11-U2-139).

Zum Aktivieren von Schülervorstellungen ergänzt die Lehrkraft, dass sie bewusst vermeidet, die Vorstellungen anfänglich zu beeinflussen (K8-U1-7; K8-U1-15-16; K8-U1-20). Im untersuchten Fall der Jahrgangsstufe 8 bedeutet dies, dass die Schüler Vermutungen über das Trefferbild aufstellen, ohne das Ergebnis zu kennen. Im Gegensatz dazu wäre auch eine Variante denkbar, bei der das Ergebnis des Trefferbildes vorgegeben wird und die Schüler Hypothesen zur Erklärung dieses Trefferbildes formulieren sollen. Die Lehrkraft sieht bei dieser Variante einen entscheidenden Nachteil: „Wenn ich das Ergebnis schon vorgebe, dann versuchen die Schüler, ihre Vorstellungen so zu konstruieren und anzupassen, dass das vorgegebene Trefferbild herauskommen muss. (Ihre Vorstellung) wird durch diese Instruktion damit schon in Bahnen gelenkt“ (K8-U1-12), denn die Schüler „(...) überlegen: ‚Was muss ich dem Lehrer jetzt sagen, damit er mit meiner Erklärung zufrieden ist, damit er eine Antwort auf seine konkrete Frage zu diesem Trefferbild, das er mir da zeigt, erhält?‘ (...)“ (K8-U1-35). Als Begründung für dieses Vorgehen führt die Lehrkraft an, dass die Umdeutung (vgl. Punkt I.2, Veränderung von Vorstellungen) von unbeeinflussten Anfangsvorstellungen besser gelingt.

Grundlage für diese Ziele ist die Auswahl einer geeigneten inhaltlichen Problem- und Aufgabenstellung. Zur methodischen Umsetzung erläutert die Lehrkraft, dass sie sich in diesen Phasen zurückhält und nur auf das Zuhören konzentriert (K8-U2-7; K8-U2-36; K11-U1-58; K11-U1-95). Dies wird für die Schüler deutlich, indem sie zum Beispiel zu einer Meldekette aufgefordert werden. Weiterhin gibt die Lehrkraft den Schülern Zeit für das Nachdenken über die Problemstellung (K8-U1-7; K11-U1-95). Wenn die Lehrkraft Unsicherheiten bei den Schülern (zum Beispiel durch wenige Meldungen) bemerkt, erteilt sie den Auftrag, sich zunächst noch einmal mit dem Banknachbarn auszutauschen, bevor das Gespräch im Plenum stattfindet (K8-U1-117).

Zentrale Aspekte der Kategorie IV.1 „Vorstellungen aktivieren“

- Schülervorstellungen werden aktiviert, indem sich Schüler zu einer Problemstellung sprachlich äußern; zusätzliche Zeichnungen der Schüler sorgen für Veranschaulichung und erleichtern die Interpretation
- Die Aktivierung und das Bewusstmachen der Schülervorstellungen ist Voraussetzung für das Anknüpfen an diesen Vorstellungen und deren Umdeutung. Weiterhin kann durch den Vergleich mit den Vorstellungen am Ende der Unterrichtseinheit der Lernfortschritt verdeutlicht werden.
- Die Lehrkraft vermeidet eine Beeinflussung der Schülervorstellungen, da die Umdeutung von Anfangsvorstellungen besser gelingt.
- Grundlage ist eine geeignete Problem- und Aufgabenstellung und ausreichend Zeit für das Nachdenken der Schüler.
- Bei der methodischen Umsetzung hält sich die Lehrkraft mit Äußerungen zurück und hört den Schüler bei der Meldekette zu.
- Bei Unsicherheiten der Schüler werden diese zum Austausch mit dem Banknachbarn aufgefordert.

2. Gezielte Auswahl von tragfähigen Vorstellungen

In dieser Kategorie werden zwei Umgangsweisen mit Vorstellungen beschrieben, die sehr eng zusammenhängen: die Auswahl von Vorstellungen und wenn inhaltlich möglich, das Verknüpfen im Sinne eines Zusammenführens von tragfähigen Anteilen.

Ziele	Methodische Umsetzung
Gezielt auswählen	gezeichnete Vorstellungen auswählen, Schüler erläutern lassen
WAS: Tragfähige Vorstellungen auswählen	WIE: Gezeichnete Vorstellungen sichten, Schüler zur Präsentation aufrufen und erläutern lassen
WARUM: Voraussetzung, um die typischen Vorstellungen der Jahrgangsstufe aufzugreifen; Vorbereitung, um an tragfähige Vorstellungen anzuknüpfen, diese umzudeuten oder zusammenzuführen	

Abb. 34: Auswahl von tragfähigen Vorstellungen
Quelle: Eigene Darstellung

Zunächst trifft die Lehrkraft eine bewusste Auswahl von Vorstellungen, die in den Phasen U1 (Vorstellungen entwickeln) und U2 (Lernprodukt diskutieren) vorgestellt und diskutiert werden (K8-U2-89). Die Präsentation der Vorstellungen und das Unterrichtsgespräch darüber führt (automatisch) zur einer Fokussierung (K8-U1-69). Auch die Reihenfolge der Präsentation wird von der Lehrkraft bewusst bestimmt (siehe Punkt II-0b Übergeordnete Prinzipien/Reihung der Präsentationen).

Für die Auswahl der Vorstellungen beschreibt die Lehrkraft mehrere Kriterien. Zunächst achtet die Lehrkraft darauf, typische Denkansätze, die in der jeweiligen Jahrgangsstufe vorliegen, aufzugreifen (K8-U1-40). Im Fall der Jahrgangsstufe 8 waren das die drei Vorstellungen, in denen die Goldfolie aus geladenen Teilchen aufgebaut ist (nur positive Teilchen / nur negative Teilchen / positive und negative Teilchen) und die Vorstellung, in der die Atome als Kugeln ohne Ladung gezeichnet werden. So beschreibt die Lehrkraft als Ergebnis ihrer Sichtung: „Nur eine Gruppe (in der Jahrgangsstufe) hat auf Ladungen komplett verzichtet, die habe ich natürlich genommen, das war die Gruppe (1) (...). Und alle anderen haben in irgendeiner Weise mit Ladungen operiert. Und davon habe ich die prägnanten herausgesucht“ (K8-U1-225).

Generell werden aus den individuellen Vorstellungen aller Schüler nur diejenigen ausgewählt, die nach Einschätzung der Lehrkraft lernwirksam für die ganze Jahrgangsstufe in Bezug auf die Entwicklung einer fachlich korrekten Vorstel-

lung sind (K8-U1-46; K8-U1-219). Dazu sucht sie Ansatzpunkte in den Vorstellungen, die ein Anknüpfen an die fachwissenschaftliche Vorstellung oder eine Umdeutung ermöglichen (K8-U1-79). Das können zum Beispiel ähnliche Denkkonzepte sein (K8-U1-214; K8-U1-67; K8-U1-87), wie die Lehrkraft am Beispiel der Jahrgangsstufe 8 erklärt: das gemeinsame Denkkonzept der drei Vorstellungen (nur positive Teilchen / nur negative Teilchen / positive und negative Teilchen) ist die Abstoßung gleichnamiger Ladungsträger bzw. die Anziehung ungleicher Ladungsträger. Dieses Denkkonzept der Anfangsvorstellung wird im weiteren Verlauf der Unterrichtsstunde für die Erklärung der Abstoßung zwischen positiv geladenen Alpha-Teilchen und positiv geladenem Atomkern benötigt. Eine Umdeutung erfolgt dahingehend, dass die positiven Teilchen in der Goldfolie zum positiven Kern des Atoms umgedeutet werden (K8-U1-65; K8-U1-67).

Ein weiteres Auswahlkriterium sind für die Lehrkraft Vorstellungen, bei denen noch fachliche Aspekte fehlen, um diese Lücken zum Gegenstand der Diskussion zu machen (K8-U2-11) oder sie sucht nach lernwirksamen Fehlern in den individuellen Vorstellungen: „Man muss eine Balance finden zwischen der Vielzahl der individuellen Vorstellungen und Fehler und dem Lernertrag für alle Schüler. Das mache ich, indem ich ganz gezielt typische Fehler und Vorstellungen mit Lernpotenzial auswähle. Und Dinge, die nicht so wichtig sind oder nur Randaspekte berühren oder sich sehr stark auf einzelne Schüler beziehen und nicht für alle nutzbar zu machen sind, die blende ich aus. Wenn ich alles aufgreife, dann endet es im Chaos. Und dieses Fokussieren auf lernwirksame Fehler, das Nutzbarmachen für alle Schüler, das ist die Kunst, das ist die Herausforderung (...)“ (K11-U2-142).

Am Ende der Phase U1 (Vorstellungen entwickeln) wird die Fokussierung durch die Lehrkraft präzisiert, indem sie die tragfähigen Anteile der Vorstellungen herausstellt (K8-U1-83). Sie erläutert die konkrete Umsetzung am Beispiel der Strukturierung (vgl. Punkt I.3) in der Jahrgangsstufe 8, bei der sie die Vorstellungen durch einen Strich an der Tafel in zwei Gruppen trennt und beschriftet (Film-Transkript K8-U1, min 32:24).

Die Vorstellungen (nur positive Teilchen / nur negative Teilchen / positive und negative Teilchen) werden mit „Ladungen im Atom; → Wechselwirkung mit Alpha-Teilchen“ beschriftet und zur Vorstellung, in der die Atome als Kugeln ohne Ladung gezeichnet werden, wird notiert: „Anordnung spielt eine Rolle; Atome sind wie ‚Kugeln‘“ bezeichnet. Die Lehrkraft erläutert hierzu: „Ich habe am Ende der Strukturierung auf das fokussiert, woran ich anknüpfe und was ich im Positiven umdeute. Das bleibt stehen und darauf werde ich wieder zurückgreifen“ (K8-U1-208). Im Idealfall werden somit diese unterschiedlichen, tragfähigen Anteile im weiteren Verlauf des Unterrichts entweder im Positiven umgedeutet

(Bsp. Abstoßung von gleichnamigen Teilchen wird übertragen auf Abstoßung Alpha-Teilchen und Kern) oder zu einer gemeinsamen, fachlichen Vorstellung zusammengeführt (vgl. Punkt I.2; Ko-Konstruktionsprozesse).

In Bezug auf die methodische Umsetzung wählt die Lehrkraft die lernwirksamen Vorstellungen im Unterricht aus, während die Schüler die Bilder zu ihren Vorstellungen zeichnen: „Während die Schüler arbeiten, gehe ich umher und schaue genau. Und dann muss ich mich entscheiden, welche Lernprodukte ich auswähle (...), indem ich einfach die passenden Schüler dazu aufrufe“ (K8-U1-40-41; auch K8-U2-8). Vorstellungen, die sich nicht zielführend integrieren lassen, blendet die Lehrkraft aus, indem sie diese nicht auswählt und damit nicht im Plenum thematisiert (K8-U1-220).

Zentrale Aspekte der Kategorie IV.2 „Auswahl von tragfähigen Vorstellungen“

- Tragfähige (fachlich richtige) Vorstellungen werden ausgewählt, indem die Lehrkraft Zeichnungen der Vorstellungen sichtet und in der Präsentation die entsprechenden Schüler zum Erläutern auffordert.
- Kriterien der Auswahl sind: typische Denkansätze, die in der Jahrgangsstufe vorliegen; lernwirksame Fehler; Vorstellungen, die Anknüpfen oder Umdeuten ermöglichen; Vorstellungen mit Lücken; mehrere Vorstellungen mit verschiedenen Anteilen, die zusammengeführt werden können.
- Eine Fokussierung erfolgt durch die Auswahl der Vorstellungen und das Gespräch darüber. Die Fokussierung präzisiert die Lehrkraft am Ende der Gespräche, indem sie die tragfähigen Anteile der Vorstellungen herausstellt (z.B. durch Strukturierung). Dies schafft Klarheit für die Schüler.
- Durch die gezielte Auswahl werden typische Vorstellungen der jeweiligen Jahrgangsstufe aufgegriffen und auf deren tragfähige Anteile fokussiert. Als weiteres Vorgehen wird Anknüpfen, Umdeuten oder Zusammenführen von Vorstellungen beabsichtigt.

3. Vorstellungen fokussieren und strukturieren

Unter dem vorherigen Punkt wurden die beiden Ziele bereits angesprochen, weil sie häufig bei der gezielten Auswahl von Vorstellungen zum Einsatz kommen.

So nutzt die Lehrkraft das Fokussieren, um aus der Summe an Schülerbeiträgen, die zum Beispiel in einer Meldekette geäußert werden, die weiterführenden auszuwählen. Sie beschreibt in diesem Zusammenhang die Vorteile einer Meldekette. Der Begriff „akzentuieren“ wird dabei im Sinne von „fokussieren“ verwendet.

„Über die Meldekette möchte ich zunächst einmal die breite Vielfalt bekommen. Dass die Schüler einander zuhören, dass sie sich aufeinander beziehen und ich dann aus der Summe der Beiträge die Möglichkeit habe, daraus zu akzentuieren. Und nur die wesentlichen Aspekte in den Blick zu nehmen und nicht die ganzen Details, die dann noch kommen. Mich also nicht an unwichtigen Dingen festzuhalten. Wenn ich direkt auf einen Schülerbeitrag reagieren muss, dann verzettelt man sich schnell. Wenn ich mir viele Beiträge erst mal anhöre, dann kann ich aus der ganzen Summe heraus gezielt akzentuieren“ (K8-U1-119).

Eine weitere Begründung für das Fokussieren ist die Möglichkeit, die Aufmerksamkeit der Schüler auf zielführende Vorstellungen zu lenken, wie die Lehrkraft am Beispiel der Jahrgangsstufe 11 erläutert: „Um Allen das Signal zu geben, dass hier in eine neue Richtung gedacht wird, die zielführend ist, schreibe ich den Begriff „Cluster“ an die Tafel, während Norbert das sagt. Das ist für die Anderen ein nonverbales Signal, was eine sehr hohe Wirkung hat, aber nicht zu einer Lehrerzentrierung führt, weil ich mich nicht aktiv in das Gespräch einschalte“ (K11-

Ziele	Methodische Umsetzung
Fokussieren	Nonverbal, mündliche Aufträge
<p>WAS: Aufmerksamkeit der Schüler wird auf Vorstellung gelenkt</p> <p>WARUM: Weiterentwicklung, Fehlerkorrektur, zentrale Stellen im Problemlöseprozess</p>	<p>WIE: Anschreiben zentraler Begriffe; Sprechakte wie: „Bezieht euch auf...“</p>
Strukturieren	Visualisieren, mündliche Aufträge
<p>WAS: Abstraktion der Vorstellungen</p> <p>WARUM: übergeordnete Denkansätze bewusst machen; gestuftes Vorgehen im Problemlöseprozess; Klarheit über Ziel, Verlauf und Ergebnis des Gesprächs</p>	<p>WIE: Lehrkraft wählt Zeitpunkt; Visualisierung; Formulierung von Oberbegriffen / Überschriften; Vergleich von Denkweisen; Anschreiben zentraler Begriffe / Denkweisen</p>

Abb. 35: Fokussieren und Strukturieren
Quelle: Eigene Darstellung

U2-59 und K11-U1-21). Weiterhin nutzt die Lehrkraft die Fokussierung, um die Schüler auf zentrale Stellen der Problemlösung hinzuweisen. Als Beispiel führt sie das Gespräch der Jahrgangsstufe 11 an, bei dem die Schüler über Wasserstoffbrückenbindungen im Zusammenhang mit der Volumenkontraktion diskutieren. Als sich das Schülergespräch um Frage dreht, wo und wie sich die Wasserstoffbrückenbindungen ausbilden können, fokussiert die Lehrkraft wieder auf den wesentlichen Punkt, den Ort der Wechselwirkungen (K11-U1-21), indem sie anmerkt: „(...) Die Diskussion kreist jetzt nicht darüber, ob es Wechselwirkungen gibt, sondern an welcher Stelle diese stattfinden. Da seid ihr euch noch nicht so ganz einig“ (Film K11-U1 min 17:13). Damit unterstützt die Fokussierung auch ein stringentes und zielführendes Gespräch.

Die methodische Umsetzung der Fokussierung kann durch nonverbale Signale erfolgen (z.B. zentrale Begriffe anschreiben) oder durch entsprechende sprachliche Aufträge wie: „Schauen wir nochmal kurz auf deinen (zu Marie) Ansatz: die Gasentwicklung. Bezieht euch darauf!“ (Film K11-U1 min 18:39) oder „Da seid ihr euch noch nicht so ganz einig“ (Film K11-U1 min 17:13).

Das Strukturieren basiert auf einer Fokussierung. Bei der Strukturierung kommt hinzu, dass die diskutierten Vorstellungen abstrahiert werden, um übergeordnete Denkweisen deutlich zu machen (K8-U1-160; K11-U1-113).

So bilden Überlegungen der Lehrkraft zur Strukturierung die Entscheidungsgrundlage für die weitere Bearbeitung der jeweiligen Vorstellungen. Die Bearbeitung ist abhängig vom Inhalt und vom Lernpotenzial der Vorstellungen und kann unterschiedlich erfolgen. Zum Beispiel kann die Intention eine Verstärkung durch Fokussierung oder die Korrektur eines Fehlers sein. Oder das unbewertete Stehenlassen von Vorstellungen, um im Verlauf des Unterrichts wieder darauf zurückzukommen. Die Lehrkraft erklärt ihre Überlegungen zur Strukturierung am Beispiel der Jahrgangsstufe 11 (U1, Vorstellungen entwickeln). Die Schüler erläutern in einer Meldekette ihre Vorstellungen zur Erklärung der Volumenkontraktion. „Während ich der Meldekette zuhöre, diagnostiziere ich, welche verschiedenen Denkansätze es gibt. Erstens chemische Reaktion, zweitens Kugelteilchen-Modell, drittens Wechselwirkungen (...) das sind die drei Richtungen. Dann sehe ich, dass Kugelteilchen-Modell ist sehr anschaulich und wichtig, es wird nur verstärkt und in den Horizont der Schüler gerückt (...). Der zweite wichtige Ansatz, die van-der-Waals Wechselwirkungen, bleibt neben dem Kugelteilchen-Modell stehen. Es wird keine Konkurrenz herbeigeführt, die Schüler müssen sich (in dieser Phase) nicht entscheiden (...). Doch (beim zweiten Ansatz) ist ein fachlicher Fehler passiert, das ist eine Lernchance, ich möchte die Schüler anleiten, ihr Wissen anzuwenden und zu üben (...). Und der dritte (Ansatz) ist der abstruse Fehler mit der chemischen Reaktion. Und das ist ein Irrweg, den ich an dieser Stelle in der Phase 'Vorstellungen entwickeln' beenden möchte, indem

die Schüler einsehen, dass das nicht (...) sein kann“ (K11-U1-73). Die angesprochenen Denkansätze finden sich in folgenden Filmstellen (K11-U1): Chemische Reaktion (min 3:18); Kugelteilchen-Modell (min 3:36), van-der-Waals Wechselwirkungen (min 4:05).

Weiterhin ermöglicht die Strukturierung ein gestuftes Vorgehen, das heißt, Vorstellungen werden separat diskutiert, um stufenweise an der Problemlösung zu arbeiten: „(...) ich kann eine Strukturierung am Anfang einsetzen, indem ich den Schülern zeige, wie man vorgeht, um gestuft ein Problem zu lösen. Indem man zuerst einmal Teilbereiche betrachtet. Und am Ende (einer Gesprächsphase) kann ich eine Strukturierung einsetzen, um noch einmal klarzumachen, inwiefern man durch dieses gestufte Vorgehen zu der Erkenntnis gekommen ist. Die Strukturierung ist (...) ein Hilfsmittel, um Transparenz herzustellen und um gestuft vorzugehen“ (K11-U2-89 und K8-U2-87; K11-U1-59; K11-U1-70). Eine Strukturierung schafft somit auch Klarheit für die Schüler in Bezug auf Ziele und Ergebnisse der Gesprächsphasen: „Die Aufgabe der Strukturierung hilft den Schülern, weil es Klarheit schafft: was war jetzt hier eigentlich wichtig, warum haben wir das gemacht und was kommt hier eigentlich heraus“ (K8-U1-167).

Schüler werden soweit wie möglich an der Strukturierung beteiligt. In der Regel wird dies durch einen entsprechenden Auftrag von der Lehrkraft initiiert und unterstützt, denn die (...) Schüler können nicht sehen, dass jetzt die Zeit gekommen ist, um zu strukturieren, sie können auch nicht aus eigener Kraft eine Strukturierung finden. Da helfe ich ihnen, aber sie machen mit“ (K8-U1-172). Zum Beispiel strukturiert Jonas (Jahrgangsstufe 8), indem er zum Vergleich der Vorstellungen (links: Atome sind Kugeln; rechts: nur positive Teilchen / nur negative Teilchen / positive und negative Teilchen) sagt: „Also beim linken geht es wahrscheinlich um die Position von den Atomen, also dass da welche so herausstechen, dass es so Hubbel sind. Und bei den drei rechten geht es darum, wie die (Teilchen) geladen sind“ (Film K8-U1; min 32:11). Die Lehrkraft hat dies initiiert, indem sie durch einen Strich an der Tafel eine Gruppierung vornimmt und die Schüler auffordert, die Denkrichtungen zu benennen, indem sie Überschriften für die zwei Gruppen finden (K8-U1-160). Sie initiiert das Strukturieren mit dem Auftrag: „Ich habe herausgehört, dass es zwei verschiedenen Gruppierungen gibt (zeichnet Strich an die Tafel): es gibt diese Seite und es gibt diese Seite (deutet auf Tafel). Bitte stellt noch einmal die unterschiedlichen Denkrichtungen dar!“ (Film K8-U1; min 30:53).

Die methodische Umsetzung der Strukturierung erfolgt über nonverbale Hilfen (z.B. mit einem Strich verschiedene Gruppierungen deutlich machen), der Aufforderung, für Gruppierungen Überschriften zu formulieren, mit dem Anschreiben zentraler Denkweisen oder indem die Lehrkraft im Gespräch die Vorstellun-

gen nacheinander bearbeitet und diese Vorgehensweise den Schülern transparent macht wie zum Beispiel: „Schauen wir nochmal kurz auf deinen (zu Marie) Ansatz: die Gasentwicklung“ (Film K11-U1 min 18:39).

Zentrale Aspekte der Kategorie IV.3 „Vorstellungen fokussieren und strukturieren“

- Mittels Fokussieren wählt die Lehrkraft Vorstellungen aus und lenkt die Aufmerksamkeit der Schüler auf diese.
- Bei tragfähigen Vorstellungen werden diese durch Fokussierung weiterentwickelt, bei Vorstellungen mit Fehlern kann auf diese fokussiert werden, um sie richtig zu stellen.
- Zentrale Punkte des Problemlöseprozesses werden fokussiert. Dadurch werden die Schülergespräche stringent und zielführend.
- Die methodische Umsetzung der Fokussierung erfolgt nonverbal (z.B. Anschreiben zentraler Begriffe) oder durch mündliche Aufträge für das Gespräch (z.B. „Bezieht euch darauf!“).
- Beim Strukturieren erfolgt zusätzlich zur Fokussierung eine Abstraktion der Vorstellungen. Gründe für die Strukturierung sind: übergeordnete Denkansätze bewusst machen; gestuftes Vorgehen bei den Problemlösegesprächen, indem die einzelnen Denkansätze nacheinander bearbeitet werden; Klarheit über Ziel, Verlauf und Ergebnis des Gesprächs.
- Der Zeitpunkt der Strukturierung wird von der Lehrkraft gewählt, Schüler werden zur Strukturierung aufgefordert.
- In der methodischen Umsetzung der Strukturierung werden Visualisierung, Formulieren von Oberbegriffen oder Überschriften, Vergleich von Denkweisen, Anschreiben zentraler Begriffe/Denkweisen eingesetzt.

4. An Vorstellungen anknüpfen

Ein weiteres Ziel im Rahmen der Gespräche ist, dass an geäußerte Schülerbeiträge angeknüpft wird (K8-U1-157). Ein Anknüpfen beinhaltet das Aufgreifen von Vorstellungen, indem auf Ähnlichkeiten oder Unterschiede Bezug genommen wird. Durch Zusammenführen wird die Weiterentwicklung von Vorstellungen gefördert.

Ziele	Methodische Umsetzung
Anknüpfen	Auswahl Vorstellung, Sprechakte
WAS: Aufgreifen von Vorstellungen, Vergleich, Weiterentwicklung	WIE: Lehrer wählt geeignete Vorstellungen aus; gibt Sprachvorbild für Schüler;
WARUM: Zusammenführen von Vorstellungen, Ko-Konstruktion fördern; Schülerbeiträgen für die Problemlösung nutzen, Schülerbeiträge würdigen	Bsp. für Sprechakte Lehrkraft: „Das wurde eben von ... angesprochen“; „Ich habe herausgehört, dass...“ Bsp. für Sprechakte Schüler: „Ich sehe das wie / nicht wie... und ergänze noch...“

Abb. 36: An Vorstellungen anknüpfen
Quelle: Eigene Darstellung

Die Lehrkraft zeigt an einem Beispiel, wie sie Verbindungen zwischen Vorstellungen schafft: „Es gibt auch einen Vorschlag, der positive und negative Teile vorsieht, wenn ich mich richtig erinnere. (Zu Martin:) Das war an eurem Tisch. (...) Dann zeige uns dein Trefferbild. Es wurde ja eben schon einmal angesprochen, wie es sein könnte, dass beide Ladungssorten auftreten“ (Film K8-U1 min 27:33 – 28:23). Durch diese Formulierung macht die Lehrkraft die Vorstellung von Martin zum Ausgangspunkt des nächsten Gesprächs und bringt sie in Verbindung zu den kurz zuvor geäußerten Schülerbeiträgen, die in Frage stellen, dass es nur positive oder nur negative Teilchen im Atom geben kann.

Ein Beispiel, bei dem das Anknüpfen und die Weiterentwicklung einer Vorstellung durch die Lehrkraft initiiert wird, zeigt folgender Sprechakt: „Und damit können wir nachvollziehen, wie Bastian zu dieser Zeichnung über den Aufbau des Atoms kommt. Nächster Schritt: wir gehen zurück zu Doris' Vorschlag. (Lehrkraft blendet Gruppenergebnis von Doris u.a. Schülern ein.) Wo findet sich hier Bastians Zeichnung wieder?“ (Film K8-U2 min 11:48). Damit stellt die Lehrkraft die Bedeutung von Bastians Vorstellung für den Problemlöseprozess heraus und verknüpft seine Vorstellung mit der Vorstellung der Gruppe von Diana. Mit ihrer Frage beauftragt sie die Schüler, eine Verbindung zwischen beiden Vorstellungen herzustellen. Dies fördert die Weiterentwicklung der beiden Vorstellungen und begünstigt Ko-Konstruktionsprozesse.

Mit den Sprachvorbildern möchte die Lehrkraft auch ihre Schüler anregen: „(...) Sie (die Schüler) sollen auch Beiträge der anderen Schüler wieder aufgreifen: ‚Ich sehe das jetzt nicht so...‘ oder: ‚Ich sehe das genauso wie...und ergänze noch...“

(K8-U1-154). Als positives Beispiel nennt sie die Formulierung von Norbert (Jahrgangsstufe 11), als er das Ergebnis der Gruppenarbeit präsentiert und auf seinen Vorredner Frank Bezug nimmt: (Film K11 min 42:05): „Man sieht hier (zeigt auf Arbeitsblatt), wie das Frank auch schon gesagt hat, dass sich die Wassermoleküle an den polaren Teil des Ethanols daransetzen (...).“

Zur Begründung für das Anknüpfen führt die Lehrkraft zwei Aspekte an. Zum einen geht es um die Weiterentwicklung von Vorstellungen durch das Anknüpfen und zum anderen möchte die Lehrkraft Schülerbeiträge würdigen, um „den Schülern zu verdeutlichen, dass das, was ich aufgreife, immer aus ihrem Gespräch kommt. Dass ich mit dem weiterarbeite, was Schüler sagen, dass ich ihre Beiträge zum Weiterlernen nutze.“ (K8-U1-150). Sie macht dies für Schüler transparent, indem sie Formulierungen wie „Ich habe (aus eurem Gespräch) herausgehört, dass...“ verwendet (K8-U1-158).

Die methodische Umsetzung erfolgt durch die Auswahl inhaltlich geeigneter Vorstellungen und durch die entsprechenden Formulierungen.

Zentrale Aspekte der Kategorie IV.4 „An Vorstellungen anknüpfen“

- Ein Anknüpfen beinhaltet das Aufgreifen von Vorstellungen, indem vergleichend auf Ähnlichkeiten oder Unterschiede Bezug genommen wird.
- Durch Zusammenführen von Vorstellungen wird deren Weiterentwicklung gefördert und Ko-Konstruktionsprozesse werden initiiert.
- Durch Anknüpfen wird verdeutlicht, dass (nur) die Vorstellungen der Schüler für die Problemlösung genutzt werden. Dadurch erhalten Schülerbeiträge Bedeutung und werden gewürdigt.
- Die Lehrkraft gibt ein Sprachvorbild und hält in den Gesprächen die Schüler zum Anknüpfen an Beiträge an.
- - Die methodische Umsetzung erfolgt durch die Auswahl inhaltlich geeigneter Vorstellungen und durch die entsprechenden Formulierungen.

5. Vorstellungen umwälzen

Die Lehrkraft beschreibt das Umwälzen von Vorstellungen mit der Wiedergabe einer im Gespräch verhandelten Erkenntnis (K11-U1-110; K11-U2-37; 8-U2-69; K8-U2-100). In der Regel fordert die Lehrkraft die Schüler zur Umwälzung auf.

Ziele	Methodische Umsetzung
Umwälzen	Auswahl von Vorstellung und Zeitpunkt, Sprechakte
WAS: Wiedergabe einer verhandelten Erkenntnis	WIE: Lehrer wählt Vorstellung und Zeitpunkt im Gespräch aus;
WARUM: Überprüfen von Hypothesen oder Überprüfen und Absichern des Erkenntnisstandes, Einbinden von Schülern ins Gespräch	offene Aufträge; Bsp. für Sprechakte: „Da seid ihr euch noch nicht ganz einig.“; „Wiederhole, was du gerade verstanden hast / dieser Schilderung entnommen hast.“

Abb. 37: Vorstellungen umwälzen
Quelle: Eigene Darstellung

Dies hat den Vorteil, dass die Lehrkraft stichprobenartig überprüfen kann, inwieweit die Erkenntnis auch bei leistungsschwächeren Schülern angekommen ist und es gibt ihr gleichzeitig die Gelegenheit, Schüler einzubinden, die sich bisher nicht am Gespräch beteiligt haben (K11-U1-26; K11-U1-33; K11-U2-37; K8-U2-47). Als Beispiel nennt die Lehrkraft eine Gesprächsszene (Filmausschnitt K8-U2 min 5:44-7:41), in der die Jahrgangsstufe überlegt, wie man sich den Aufbau des Atoms vorstellen kann und ob die Punkte auf ihren Arbeitsblättern den Kern oder das ganze Atom darstellen sollen. Dazu wird die Vorstellung von Bastian in Form seiner Zeichnung des Atoms (kleiner Kern, umgeben von einer großen Hülle) diskutiert. Die Lehrkraft überprüft danach, ob auch ein leistungsschwächerer Schüler diesem abstrakten Gespräch folgen konnte, indem sie bittet: „Chris, gib nochmal wieder, was du jetzt dieser Schilderung über den Aufbau des Atoms entnommen hast. In deinen eigenen Worten!“ (Film K8-U2 min 07:44).

Das Umwälzen kann auch dazu dienen, geäußerte Hypothesen auf ihre Tauglichkeit zu überprüfen. Als Beispiel führt die Lehrkraft eine Gesprächsszene aus der Jahrgangsstufe 11 (Film K11-U1, min 17:13) an. Die Schüler diskutieren bei der Erklärung der Volumenkontraktion verschiedene Vorschläge zur Frage, ob Wasserstoffbrückenbindungen auftreten und an welchen Stellen der Moleküle sich diese bilden. An der Diskussion beteiligen sich die Schüler Lara, Nico und Thomas. Die Lehrkraft fordert dann mit dem zweiten Satz zur Umwälzung auf: „Die Diskussion kreist jetzt nicht darüber, ob es Wechselwirkungen gibt, sondern an welcher Stelle die stattfinden. Da seid ihr euch noch nicht so ganz einig“ (Film K11-U1, min 17:13). Darauf meldet sich ein weiterer Schüler, Frank, und bewertet einen zuvor diskutierten Vorschlag, indem er sich für die OH-Gruppe am Ethanol als Ort von Wasserstoffbrückenbindungen ausspricht. Der Auftrag zur

Umwälzung hat somit einen weiteren Schüler am Gespräch beteiligt und eine Überprüfung der Hypothesen initiiert.

Bei längeren, detailreichen Schülerdiskussionen übernimmt unter Umständen die Lehrkraft das Umwälzen, indem sie den Erkenntnisstand selbst zusammenfasst. Dieses Absichern durch die Lehrkraft gibt allen Schülern die Sicherheit über das, was in der Diskussion wichtig und fachlich richtig war (K11-U1-28). Damit kann die Lehrkraft auch einen Gesprächsabschnitt fokussiert und zielführend abschließen. Ein Beispiel hierfür findet sich in der Jahrgangsstufe 11, als die Schüler die Volumenkontraktion durch zwischenmolekulare Wechselwirkungen erklären (statt über große/kleine kugelförmige Teilchen). Zum Abschluss fordert die Lehrkraft die Schüler auf, den Zugewinn dieser erweiterten Erklärung zu definieren. Diesen komplexen Auftrag erläutert Marie und die Lehrkraft nimmt es an dieser Stelle selbst in die Hand, „(...) das (Maries Aussage) nochmal zu bekräftigen, sofort eine positive Rückmeldung zu geben, das nicht mehr zur Diskussion zu stellen, sondern einfach nur noch deutlich zu verstärken und noch weiter zu konkretisieren“ (K11-U2-107 und Film K11-U2, min 49:08).

Bei der methodischen Umsetzung wählt die Lehrkraft die zentrale Erkenntnis und den Zeitpunkt im Gesprächsverlauf aus. Für die Aufforderung verwendet sie offene Aufträge, die sie an die Jahrgangsstufe oder einzelne Schüler richtet. Beispiele für Sprechakte sind: „Da seid ihr euch noch nicht so ganz einig.“; „Gib nochmal wieder, was du dieser Schilderung entnommen hast. In deinen eigenen Worten.“ (K11-U1-117); „Thomas, was hast du von dem verstanden, was Lara und Frank nochmal erklärt haben?“ (K11-U1-107; K11-U1-97); „Wiederhole mal, was du gerade verstanden hast.“ (K8-U1-157).

Zentrale Aspekte der Kategorie IV.5 „Vorstellungen umwälzen“

- Beim Umwälzen von Vorstellungen wird eine im Gespräch verhandelte Erkenntnis durch Schüler wiedergegeben. Dies dient der Überprüfung und Absicherung des Lernfortschritts.
- Durch das Umwälzen können auch Hypothesen auf ihre Tauglichkeit überprüft werden.
- Durch Umwälzen werden ruhige Schüler ins Gespräch eingebunden.
- Bei der methodischen Umsetzung wählt die Lehrkraft die zentrale Erkenntnis und den Zeitpunkt im Gesprächsverlauf aus und erteilt offene Aufträge.

6. Vorstellungen durch Lehrererklärung ergänzen

Generell sollen die Schüler möglichst eigenständig eine Lösung zur Problemstellung entwickeln. Demzufolge setzt die Lehrkraft eigene Ergänzungen und Erklärungen sehr überlegt ein: „Das ist immer eine Gratwanderung: ich leite die Schüler an, dass sie die Dinge selbst sehen und am Ende fehlen aber auch noch Aspekte.“

Ziele	Methodische Umsetzung
Vorstellungen ergänzen Informationen mitteilen	Anknüpfen, überformen, präzisieren zusammenfassen, ergänzen, Sprechakte
WAS: Lehrer ergänzt und erklärt; Lehrervortrag WARUM: kleinschrittiges Nachfragen vermeiden; fachliche Unsicherheit klären; Schüler beim Strukturieren unterstützen; Informationen mitteilen	WIE: Schülernamen einstreuen, Schülerbeiträge überformen und zusammenfassen, präzisieren, ergänzen; Bsp. für Sprechakte „...wie <i>Name</i> gesagt hat..“; „Und dann habt ihr überlegt...“; Lehrerklärungen sind kurz und prägnant

Abb. 38: Vorstellungen ergänzen
Quelle: Eigene Darstellung

Dann habe ich die Wahl: hake ich nochmal nach, um das auch noch von Schülern bringen zu lassen oder lasse ich es gut sein, weil ich nicht kleinschrittig werden will, und ergänze einfach auch einmal etwas selbst“ (K8-U1-184). Sind in einer Schülerdiskussion wichtige Inhalte oder Begriffe nicht aufgekommen, ergänzt die Lehrkraft diese selbst, um ein kleinschrittiges Nachfragen zu vermeiden.

Weiterhin entscheidet sich die Lehrkraft für eine Erklärung, wenn Schüler mit der Komplexität des Inhalts oder der Strukturierung (Vernetzung) von Inhalten überfordert sind (K8-U1-232; K8-U1-182) oder die Bedeutung des Inhalts für den weiteren Verlauf des Unterrichts nicht einschätzen können (K8-U1-185). Die Lehrkraft nennt als Beispiel eine Situation in der Jahrgangsstufe 8, bei der sich die Schüler in einer Meldekette zum Vergleich der Vorstellungen (Atome sind Kugel / Atom besteht aus geladenen Teilchen) geäußert haben. Die Lehrkraft fasst das Gespräch zusammen und ergänzt im letzten Satz den Bezug zu den Alphateilchen: „Das deckt sich mit dem, was Lukas gesagt hat. Hier werden Ladungen diskutiert. Entweder nur die eine Sorte, nur die andere Sorte, wobei ihr da schon ein Fragezeichen setzt und sagt: 'Eigentlich kann das nicht sein, dass die Goldfolie entweder positiv oder negativ geladen ist.' Und dann der Vorschlag, wo beide Ladungssorten vorkommen. Und ihr überlegt euch dann, wie die Alphateilchen, die positiv geladen sind, mit diesen Ladungen hier wechselwirken“ (Film K8-U1, min 32:44-32:55). Für diese Situation begründet die Lehrkraft ihre Entscheidung der Ergänzung mit dem hohen Anspruch des Vernetzens von Schülerbeiträgen: „In dieser Situation habe ich vorstrukturiert, indem ich die Gruppen angebe und die Schüler die Überschriften finden sollen. Das ist eine

sehr, sehr anspruchsvolle Aufgabe, weil es auch um Vernetzung aller Dinge geht, die bisher genannt wurden, auf einer abstrakteren Ebene. Die Schüler liefern einen Teil, aber sie liefern nicht alles und sie können es auch noch nicht so klar formulieren. Und jetzt ist der Lehrer als Erklärer gefragt: um diese Vernetzungsleistung auf den Punkt zu bringen und alles hineinzupacken, was wichtig ist“ (K8-U1-231).

Weiterhin erklärt die Lehrkraft, wenn fachliche Unsicherheiten bei den Schülern vorliegen. Zum Beispiel sind sich Schüler der Jahrgangsstufe 11 bei der Beobachtung der Volumenkontraktion nicht sicher, ob die sichtbaren Gasblasen aus Sauerstoff bestehen könnten, der sich in einer Reaktion aus Wasser bildet. Die Lehrkraft erklärt den Schülern: „Die Reaktion, die ablaufen würde, wenn ich Wasser in O_2 und H_2 zerlege, nennt man Elektrolyse. Da brauche ich eine Spannungsquelle, die ich da anschließe. All das haben wir hier nicht, das findet nicht statt“ (Film K11-U1; min 22:52).

Zuletzt spricht die Lehrkraft das Erklären im Zusammenhang mit Informationen, die die Schüler zur Lösungsfindung benötigen an. In diesem Fall werden die Informationen in einem kurzen Lehrervortrag erklärend dargestellt (an Stelle von Wissenskarten oder ähnlichen schriftlichen Materialien) (K8-U1-235).

Bei der methodischen Umsetzung achtet die Lehrkraft beim Zusammenfassen darauf, an die geäußerten Schülerbeiträge inhaltlich anzuknüpfen, indem sie Schülernamen einstreut oder Sprechakte nutzt wie „Und dann habt ihr überlegt...“ (K8-U1-182). Generell sollen die Lehrerklärungen kurz (wenige Minuten) und prägnant sein (K8-U1-235). Beispiele für die Zeitdauer der Lehrerklärungen in den untersuchten Filmsequenzen waren: 31s (Film K8-U1, min 32:24-32:55); 30s (Film K11-U1; 22:52-23:22). 31s (Film K8 min 9-12; min 9:14-9:26 und min 11:00-11:19).

Zentrale Aspekte der Kategorie IV.6 „Vorstellungen durch Lehrererklärung ergänzen“

- Die Lehrkraft ergänzt, wenn zentrale Inhalte und Begriffe fehlen oder Schüler überfordert sind, um kleinschrittiges Nachfragen zu vermeiden.
- Die Lehrkraft ergänzt, wenn Schüler mit der Zusammenfassung oder Strukturierung überfordert sind oder die Bedeutung des Inhalts für den weiteren Verlauf des Unterrichts nicht einschätzen können.
- Die Lehrkraft erklärt bei fachlichen Unsicherheiten und wenn Informationen in Form eines Lehrervortrags mitgeteilt werden sollen.
- Bei der methodischen Umsetzung achtet die Lehrkraft beim Zusammenfassen darauf, an die geäußerten Schülerbeiträge inhaltlich anzuknüpfen, indem sie Schülernamen einstreut oder Sprechakte nutzt wie „Und dann habt ihr überlegt...“ Generell sollen die Lehrerklärungen kurz und prägnant sein.

7. Rückmeldungen zu Vorstellungen geben

Die Lehrkraft nutzt im Umgang mit Schüler- vorstellungen das Element der Rückmel- dung (K8-U1-237).

Die Rückmeldung ist eine Kommentierung ei- ner Schüleräußerung o- der eines Gesprächsab- schnittes.

Ziele	Methodische Umsetzung
Rückmeldung geben	Überformen, Zusammenfassen, Spiegeln, Sprechakte
<p>WAS: Lehrer kommentiert Schülervorstellungen</p> <p>WARUM: Beiträge wertschätzen, sachbezogen loben, fachlich richtige Vorstellungen bestätigen, Fehlerkorrektur; Gespräche zielorientiert und zeitlich effizient steuern</p>	<p>WIE: Sprechakte für Lob, Richti- ges; Überformen von kleinen Feh- lern; Zusammenfassen und Spie- geln von Gesprächsprozessen</p>

Abb. 39: Rückmeldungen zu Vorstellungen geben
Quelle: Eigene Darstellung

Die Lehrkraft gibt Rückmeldungen mit unterschiedlichen Intentionen: Schülerbeiträge wertschätzen, sachbezogen loben (K8-U1-237), fachlich richtige Vor- stellungen bestätigen (K11-U1-21; K11-U1-85; K11-U2-125), Fehler positiv und konstruktiv korrigieren (K11-U1-44; K11-U2-160).

Ein Beispiel für Bestätigen zeigt sich bei der Jahrgangsstufe 11, als die Schüler die Frage der Gasbläschen gelöst haben und Marie sich der Überlegung von Norbert anschließt, dass es nur Luftverwirbelungen sind (und kein Sauerstoff), gibt die Lehrkraft eine Rückmeldung zum Beitrag von Marie: „Ja, sehr plausibel.“ (Film K11-U1; min 20:44 bzw. min 9:49).

Ein Beispiel für Fehlerkorrektur zeigt sich in der Jahrgangsstufe 8, als die Schüler Vorstellungen zum Aufbau des Atoms mit nur positiven und nur negativen Teil- chen vorgestellt haben. Bastian hat soeben kritisiert, dass es nur positive oder nur negative Teilchen wegen der gegenseitigen Abstoßung nicht geben kann und stellt Überlegungen an, ob es eine Mischung der positiven und negativen Teil- chen geben könnte. „Jeder Schüler weiß, dass hier ist ein gravierender Fehler ist (...) ich muss auf diesen gravierenden Fehler reagieren. Und ich reagiere mit Mar- tins Modellzeichnung darauf. Ich weiß, dass ein Schüler in der Jahrgangsstufe ist, das habe ich beim Umhergehen gesehen, der beides gezeichnet hat“ (K8-U1- 140). In diesem Fall nutzt die Lehrkraft als Rückmeldung eine Schülervorstel- lung.

Ein anderes Beispiel für Fehlerkorrektur zeigt sich in der Jahrgangsstufe 11 bei Thomas: er denkt zunächst, dass sich Wasserstoffbrückenbindungen am Alkyl- rest des Ethanol's ausbilden. Nach den Erklärungen seiner Mitschüler Lara und

Frank korrigiert er seine Sichtweise und verwendet dabei den Begriff „Stoff“ statt „Teilchen.“ Die Lehrkraft gibt zu seiner Fachsprache die Rückmeldung: „Okay. Und dann tauschst du den Begriff „Stoff“ durch „Molekülteil“ aus, dann passt es besser“ (Film K11-U1; min 18:39). Ihre Überlegung zu dieser Rückmeldung erklärt die Lehrkraft wie folgt: „(...) Die Aussage von Thomas ist grundsätzlich richtig, aber ich korrigiere noch einen kleinen fachsprachlichen Fehler mit: "Tausche Stoff- durch Molekülteil!". Er sprach von Wechselwirkungen von Stoffen, er muss aber auf die Teilchenebene gehen und von Molekülteilen sprechen. Daraus mache ich kein großes Problem, sondern ich überforme das einfach so nebenbei“ (K11-U1-88). Damit spricht sie auch die eine methodische Umsetzungsmöglichkeit der Rückmeldung an: die Überformung (K11-U1-92), bei der die Lehrkraft die Schülersaussage wiederholt und dabei die fehlerhaften Begriffe ersetzt. Die Lehrkraft nutzt das Überformen, wenn es um kleinere Fehler geht, die nicht das grundlegende Verständnis chemischer Sachverhalte betreffen: „(...) Ich überforme nichts Unverstandenes in etwas Richtiges, weil ich dadurch dem Schüler die Möglichkeit nehme, durch die Verhandlung, das Nachdenken und das Ringen seine Vorstellungen zu verändern. Das ist ein Prozess, den der Schüler selbst vollziehen muss. Das kann ich nicht überformen, das kann ich ihm nicht überstülpen, denn dann hätte ich dem Schüler das Denken abgenommen“ (K11-U1-92). Durch eine Überformung korrigiert sie somit geringe Fehler, damit der Fluss im Schülergespräch nicht verloren geht. Sie möchte kleine Fehler „nicht auswalzen, weil sonst der Blick für das Wesentliche wieder verloren geht. Dann verliert man sich nämlich in tausend Kleinigkeiten, tausend Fehlern und es wird immer verfranster und der rote Faden und die Lernlinie gehen dabei verloren“ (K11-U1-90).

Eine weitere methodische Umsetzung der Rückmeldung ist das Spiegeln von Gesprächsprozessen. Damit ist eine Funktion der Rückmeldung auch die Steuerung der Gespräche hinsichtlich Zielorientierung und zeitlicher Effizienz (K11-U2-67; K11-U2-70). Eine Szene in der Jahrgangsstufe 11 zeigt diese Funktion der Rückmeldung: Die Schüler treten bei der Erklärung der Volumenkontraktion auf der Stelle. Vier Schüler beteiligen sich am Gespräch und wiederholen dieselbe Idee, dass es mit Wasserstoffbrückenbindungen zusammenhängen könnte. Die Lehrkraft spiegelt den Gesprächsprozess und regt an: „Vanessa hat jetzt auch noch einmal präzisiert, dass zwei Wassermoleküle mit einem Ethanol-Molekül wechselwirken und dass hier oben (...) die Wechselwirkungen der polaren Molekülteile über Wasserstoffbrückenbindungen nicht mitgedacht wurden. Gut. Soweit klar. Wie erklärt ihr denn jetzt die Kontraktion? (...) Ihr habt Wechselwirkungen beschrieben, das haben wir geklärt. Die Kontraktion ist noch nicht klar“ (Film K11-U2; min 42:46-43:50). Auch wenn die Lehrkraft mit ihrer Rückmeldung die fachliche Richtigkeit des Denkansatzes bestätigt, dient das häufig dazu, den Schülern im Gespräch eine Zielorientierung zu geben (K11-U2-106; K11-U2-

110). Denn die Schüler „brauchen diese Rückmeldung vom Lehrer (...), weil sie sich sonst (im Gespräch) immer weiter drehen. Wenn die Schüler damit alleine in der Selbstbeschäftigung sitzen würden, dann würden sie das noch einmal auseinanderpflücken, noch einmal anzweifeln und würden wieder abdriften. Sie brauchen jemanden, der ihnen sagt: ‚So, jetzt haltet an, lasst es gut sein, macht euch das noch einmal klar, ihr habt (die Lösung) jetzt!‘“ (K11-U2-111).

Zentrale Aspekte der Kategorie IV.7 „Rückmeldungen zu Vorstellungen geben“

- Bei einer Rückmeldung kommentiert die Lehrkraft eine Schüleräußerung oder einen Gesprächsabschnitt.
- Die Rückmeldung hat verschiedene Funktionen: Schülerbeiträge wertschätzen, sachbezogenes Lob aussprechen, richtige Vorstellungen bestätigen, kleine Fehler korrigieren, Gespräche zielführend leiten.
- Bei der methodischen Umsetzung setzt die Lehrkraft Zusammenfassungen, Überformen (z.B. bei kleinen Fehlern) und Spiegeln (z.B. bei Gesprächsprozessen) sowie Sprechakte ein.

7.4 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass im Zentrum des Vorgehens der untersuchten Lehrkraft eine Diskussion von Schülervorstellungen anhand eines chemischen Problems steht. Bei der Erklärung der Beobachtungen aus dem Streuversuch von Rutherford (Jahrgangsstufe 8) bzw. der Volumenkontraktion (Jahrgangsstufe 11) sollen sich die Lernenden durch Diskussionsphasen im Unterrichtsgespräch möglichst eigenständig die fachlichen Zusammenhänge erschließen. Der Ansatz bildet grundlegende Merkmale eines konstruktivistischen Lehr-Lernverständnisses ab, wonach Lernprozesse (unter anderem) aktiv und konstruierend sind und in der sozialen Interaktion stattfinden (vgl. Kap. 2; z.B.; Duit & Treagust, 2003; Gerstenmaier & Mandl, 1995; Riemeier, 2007). Die Lehrkraft setzt die Schülerdiskussionen bewusst ein, um durch Austausch und Verhandlung von Vorstellungen Ko-Konstruktionsprozesse zu fördern, indem in der Lernergruppe gemeinsam geteilte Vorstellungen entwickelt werden. Das Verständnis der untersuchten Lehrkraft von Ko-Konstruktion greift damit ein wesentliches Merkmal aus der Literatur auf (vgl. Kap. 2; Reusser, 2001).

Ein zentraler Befund ist der Umgang der untersuchten Lehrkraft mit der Vielfalt und Heterogenität von Schülervorstellungen. Grundlage ist eine bewusste Auswahl von Vorstellungen, die nach Einschätzung der Lehrkraft ein Anknüpfen, Umdeuten oder einen Konzeptwechsel zulassen. In der Literatur werden dazu ähnliche Vorgehensweisen diskutiert (vgl. Kap. 2.3.2; z.B. Grayson, 1996; Kattmann, 2017; Widodo & Duit, 2005). Widodo und Duit (2005, S. 132) sprechen von evolutionären Lernwegen, bei denen sich Vorstellungen durch geringe Veränderungen der wissenschaftlichen Vorstellungen annähern. Kattmann (2017) greift ebenfalls das Anknüpfen, aber auch den kontrastierenden Vergleich mit einer wissenschaftlichen Vorstellung auf. Die Lehrkraft richtet ihre Lenkung der Schülerdiskussion darauf aus, dass tragfähige (fachlich richtige) Anteile der unterschiedlichen Schülervorstellungen zu einer Vorstellung zusammengeführt werden können, die die chemische Fragestellung beantwortet. Zusätzlich nutzt die Lehrkraft Informationstexte („Wissensbausteine“), die fachliche Vorstellungen enthalten und Veränderungsprozesse bei den Schülervorstellungen anregen sollen. Dieses Vorgehen unterstützt Rekonstruktionsprozesse, indem Lernende ihre Vorstellungen mit wissenschaftlichem Wissen in Beziehung setzen können (Kattmann, 2005).

Die folgende Abbildung (40) stellt die zentralen Prinzipien der Lehrkraft im Umgang mit Vorstellungen dar und zeigt auf, dass die Lernprozesse der Schüler im Mittelpunkt stehen.

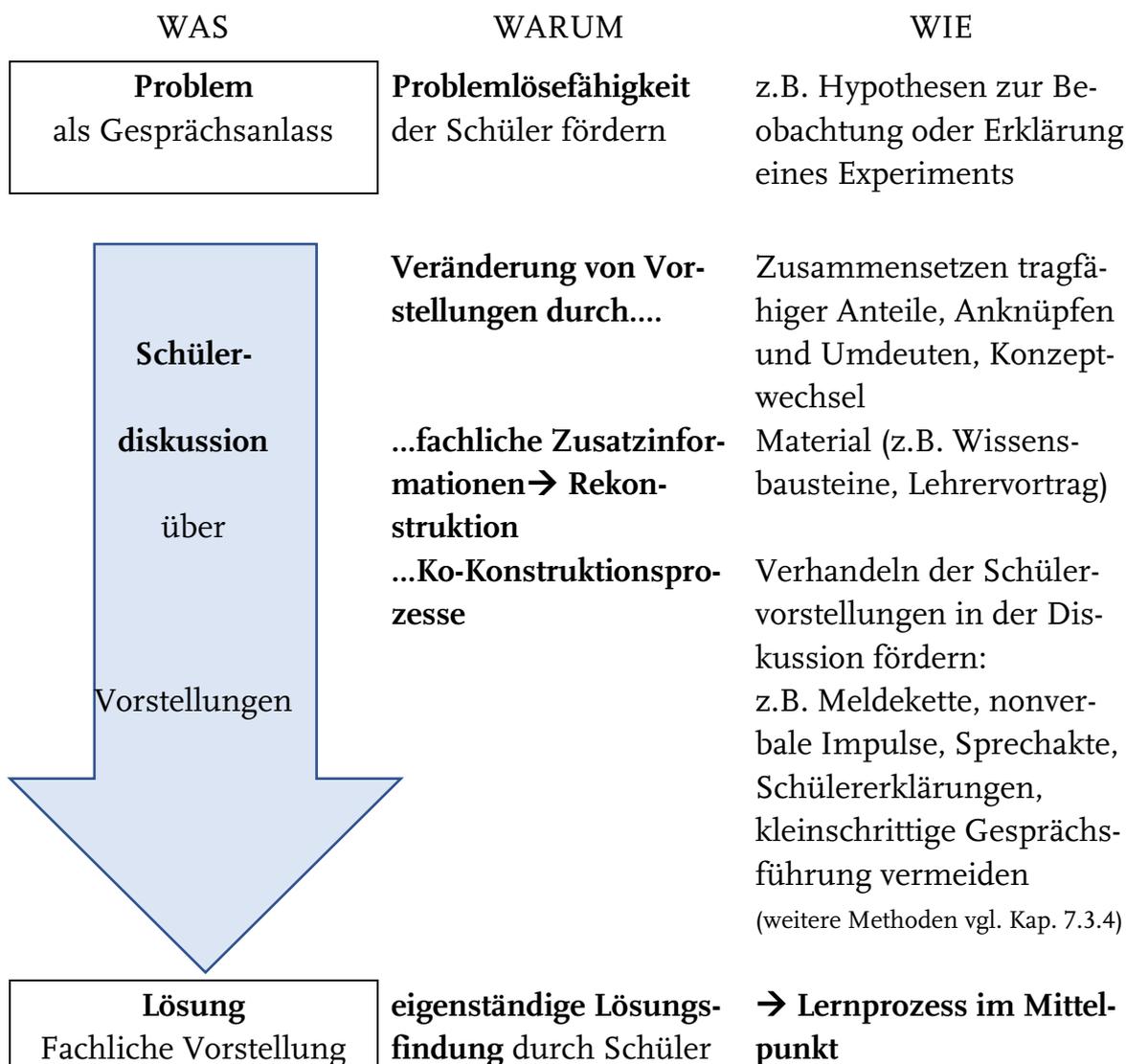


Abb. 40: Zentrale Prinzipien zum Umgang mit Schülervorstellungen
Quelle: Eigene Darstellung

Neben den zentralen Prinzipien zeigen die Ergebnisse, dass der Lehrkraft verschieden Strategien für die Diskussionsleitung (vgl. Kategorie II) und zahlreiche Methoden (vgl. Kategorie IV) zur Verfügung stehen, die sie situationsabhängig einsetzt. Es wird deutlich, dass die Lehrkraft die Schülerdiskussion an zentralen Stellen aktiv lenkt, indem sie fokussiert, strukturiert, Rückmeldung gibt und den Gesprächsstand visualisiert. Im Verlauf der Schülerdiskussion achtet die Lehrkraft auf die Balance zwischen Lösungssuche und Zielorientierung und baut einen Spannungsbogen im Gespräch auf. Auf die Bedeutung einer aktiven Lehrerlenkung wird in der Literatur an vielen Stellen verwiesen (vgl. Kap. 2; z.B. Egbers & Marohn, 2014; Felten & Stern, 2014; Lipowski, 2007). Als zentral wird eine Lehrerlenkung von hoher Qualität angesehen, die Lernprozesse durch spezifische

Kommunikationstypen (Wuttke, 2006) fördert. Kennzeichen solcher Kommunikationstypen sind zum Beispiel eine positive und konstruktive Auseinandersetzung mit verschiedenen Vorstellungen, verbunden mit logischen Schlussfolgerungen und begründeten Argumenten. Auch Reusser (2016, S. 44) stellt die dialogische Qualität von ko-konstruktiv gestalteten Gesprächen, bei denen Lehrkräfte aktiv zuhören, Schülerbeiträge aufgreifen und zur Diskussion stellen als lernförderlich heraus.

Die eben beschriebene Lenkung des Unterrichtsgesprächs stellt an Lehrkräfte große Anforderungen in der konkreten Umsetzung, weil die Schülerdiskussionen gruppenspezifisch sind und Entscheidungen bezüglich der Strategie, der Methoden zur Lenkung im laufenden Gespräch getroffen werden müssen. Grundlage ist nach den Aussagen der untersuchten Lehrkraft eine fortwährende, schnelle und sichere Diagnose, die die Vorstellungen der Lernenden überprüft und davon weitere Steuerungsaktivitäten oder inhaltliche Impulse ableitet. Die fortlaufende Diagnose, flexible Anpassung und sukzessive Rücknahme von Unterstützungsmaßnahmen werden als wichtige Scaffolding-Maßnahmen charakterisiert (vgl. Kap. 2; Möller, 2016; Puntambekar & Hubscher, 2005).

In der nachfolgenden Tabelle (16) werden die Strategien, Ziele und Methoden der Lehrkraft im Unterrichtsverlauf dargestellt. Es wird deutlich, dass eine fortlaufende Diagnose zentral ist und für die Plenumsphasen eine Strategie ausgewählt wird. Durch die aktive Lenkung der Schülerdiskussion hält die Lehrkraft die Balance zwischen Lösungssuche und Zielorientierung und damit einen Spannungsbogen im Gespräch. Die Sozialformen werden bewusst eingesetzt: die individuelle Aktivierung der Vorstellung ist die Grundlage für den späteren Vergleich, um den Lernzugewinn rückblickend zu erkennen. Die Gruppenarbeit wird für die Rekonstruktionsphase genutzt, in der Lernende ihre Vorstellungen mit den fachlichen Vorstellungen in Beziehung setzen können (Kattmann, 2007). Die Plenumsphase stellt die Vorstellungen der Schüler aus der Gruppenarbeit zur Diskussion und hat zum Ziel, Ko-Konstruktionsprozesse zu fördern.

Tab. 16: Ziele und Methoden zur Lenkung von Schülergesprächen im Unterrichtsverlauf

Unterrichtsphase	Soz.-Form	Vorgehen / Ziele der Lenkung	Lehreraktivitäten (Beispiele)
U1: Vorstellungen entwickeln	EA	Vorwissen und Vorstellungen zum Problem aktivieren	<ul style="list-style-type: none"> Visualisierung nutzen Vorstellungen sichten und auswählen Strategie planen
	P	Anfangsvorstellungen präsentieren Schülerdiskussion: Vergleich (Unterschiede und Gemeinsamkeiten) Ergebnis: Anfangsvorstellungen, tragfähige Anteile	<ul style="list-style-type: none"> Meldekette Strukturieren, Zusammenfassen -Fokussieren auf tragfähige Anteile
Fachliche Zusatzinformationen	GA	Schüler erhalten fachliche Informationen und bringen diese in Verbindung mit den Anfangsvorstellungen Ergebnis: Vorstellungen zur Lösung	<ul style="list-style-type: none"> Visualisierung nutzen Vorstellungen sichten und auswählen Strategie planen
U2: Veränderte Vorstellungen diskutieren	P	Vorstellungen zur Lösung präsentieren Mehrwertdiskussion: Verhandeln einer gemeinsam geteilten Vorstellung Ergebnis: Fachliche Vorstellung (Lösung)	<ul style="list-style-type: none"> Meldekette Visualisierung, Modelle Strukturieren, Zusammenfassen → Plateau(s) Bewerten, Bestätigen und Sichern von Vorstellungen
Lernzugewinn definieren	EA	Vergleich mit Anfangsvorstellungen	<ul style="list-style-type: none"> Lernweg wird transparent individueller Mehrwert

Legende: Lehreraktivitäten: Diagnose; Strategie umsetzen; Balance zwischen Lösungssuche und Zielorientierung; Spalte 2: EA Einzelarbeit; GA: Gruppenarbeit; P: Plenum

Quelle: Eigene Darstellung

8 Ein mehrperspektivischer Blick auf die Ergebnisse und Empfehlungen für den Unterricht

In diesem Kapitel werden im Sinne einer zusammenfassenden Diskussion die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungsaufgaben der Arbeit in Beziehung gesetzt, indem sie im Hinblick auf ausgewählte Aspekte vergleichend diskutiert werden (Punkte 8.1 bis 8.4). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion veranschaulicht dabei in Form eines Dreiecks das Vorgehen (vgl. Abb. 41 - 44). Abschließend werden aus den vorangegangenen Zusammenfassungen Empfehlungen für die Unterrichtspraxis abgeleitet (Punkt 8.5).

8.1 Ko-Konstruktive Unterrichtsgespräche unterstützen die individuelle Rekonstruktion

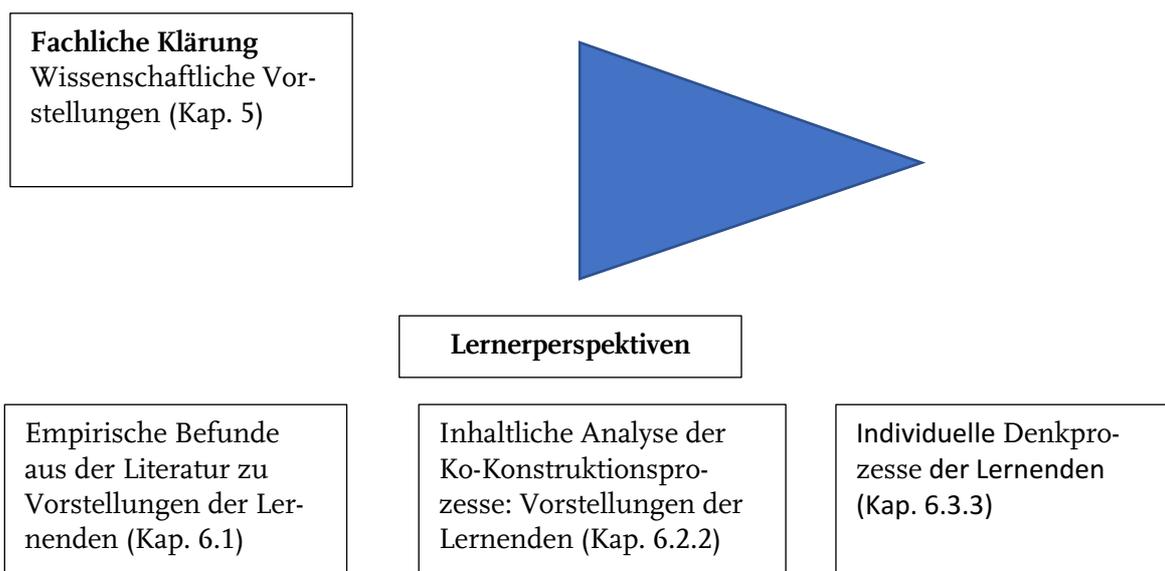


Abb. 41: Vergleich Fachliche Klärung und Lernerperspektiven
Quelle: Eigene Darstellung

Im Folgenden werden die empirischen Befunde aus der Literatur zu Vorstellungen von Lernenden und die Konzepte von Wissenschaftlern und der Vorstellungen der in dieser Arbeit untersuchten Lernenden exemplarisch verglichen. Im Anschluss sind die Zusammenhänge zu den individuellen Denkprozessen der interviewten Schüler dargestellt. Folgende Befunde werden dabei betrachtet: Lernende vergleichen ihre Vorstellungen, erkennen Zusammenhänge und ziehen Schlussfolgerungen, schätzen die fachliche Richtigkeit ab, verstehen die Erklärungen von Mitschülern besser.

Die Ergebnisse der Reanalyse zu Lernervorstellungen der untersuchten Inhalte (vgl. Kap. 6.1) zeigt kaum Übereinstimmungen mit den identifizierten Vorstellungen (vgl. Kap. 6.2.2). Es decken sich lediglich die Befunde, dass sich Lernende Atome als Kugeln vorstellen (z.B. Harrison & Treagust 1996) oder es für Schüler herausfordernd ist, sich die Wirkung von zwischenmolekularen Wechselwirkungen auf Teilchenebene vorzustellen (z.B. Tan & Treagust 1999). Ein Grund hierfür ist, dass es speziell zu den Themen „Experimente von Rutherford“ und „Volumenänderungen bei Lösungen“ nur sehr wenige Untersuchungen gibt. Teilweise ist ein Vergleich mit vorhanden Studien schwierig, weil sich das Alter der untersuchten Schüler stark unterscheidet (z.B. Studie von von Röhneck, 1982 zu Vorstellungen Schülern der Jahrgangsstufe 5 zur Volumenkontraktion einer Lösung von Ethanol und Wasser).

Bei der Analyse der Ko-Konstruktionsprozesse (Kap. 6.2.2) wurden die Lernervorstellungen und deren Veränderung untersucht. Der Vergleich mit den wissenschaftlichen Vorstellungen (vgl. Kap. 5) zeigt, dass sich in beiden Jahrgangsstufen die Vorstellungen der Lernenden, die im Gespräch geäußert wurden, den wissenschaftlichen Vorstellungen annähern und dabei Ko-Konstruktionsprozesse stattfinden (siehe Kap. 6.2.2). Ein konkretes Beispiel ist in der Jahrgangsstufe 8 die Ableitung des neuen Konzeptes „Die Elektronenhülle ist negativ geladen“ durch eine Schlussfolgerung aus den Konzepten „Der Kern von Atomen ist positiv geladen“ und „Atome sind neutral“, die von unterschiedlichen Schülern eingebracht werden. In dieser Mikrosituation sind Merkmale der Ko-Konstruktion sichtbar wie zum Beispiel die Verhandlung gemeinsam geteilter Vorstellungen (siehe Kap. 2, z.B. Reusser, 2001; Kolenda, 2010). Aus fachdidaktischer Perspektive verdeutlicht dieses Beispiel Rekonstruktionsprozesse, in denen Lernende ihre Vorstellungen mit wissenschaftlichen Vorstellungen in Beziehung setzen (vgl. Kattmann, 2007). Im konkreten Fall wurden den Lernenden die wissenschaftlichen Konzepte wie „Atome sind neutral.“ über kurze Infotexte zur Verfügung gestellt. Rekonstruktionsprozesse wurden durch Gruppenarbeitsphasen und im moderierten Klassengespräch angeregt.

Weiterhin wird am o.g. Beispiel das schlussfolgernde Denken sichtbar, das eine grundlegende Fähigkeit für naturwissenschaftliche Diskurse darstellt (vgl. Kap. 2; Osborne, 2010). Auch in den Ergebnissen der Schülerinterviews wird das schlussfolgernde Denken explizit benannt. Beispielsweise beschreibt Melanie (14 Jahre), dass sie im Verlauf der Diskussion zur Erklärung des Streuversuchs von Rutherford Schlussfolgerungen gezogen hat und dadurch am Ende des Gesprächs die richtige Lösung erkannt hat.

Ergebnisse der Naturwissenschaftsdidaktik zeigen, dass Ko-Konstruktionsprozesse und die Diskussionen mit anderen Lernenden die individuelle Rekonstruktion von Wissen unterstützen, indem Lernende ihre neuen Ideen formulieren,

vergleichen und überprüfen können (vgl. Kap. 2; Osborne, 2010). Die Ergebnisse der Schülerinterviews bestätigen, dass das Vergleichen für den individuellen Lernprozess als besonders hilfreich erachtet wird. Beispielsweise berichtet Lukas (14 Jahre), dass er durch die Präsentation und Diskussion der Vorstellungen seiner Mitschüler zum Aufbau der Goldfolie die Unterschiede zu seiner eigenen Vorstellung erkennt. Er versucht, sich in die Denkweisen der anderen hineinzuversetzen und entwickelt dadurch seine Ideen weiter. Auch das Überprüfen von Vorstellungen wird von den interviewten Schülern bestätigt. So findet das Vergleichen oft in Kombination mit dem Abschätzen der fachlichen Richtigkeit der diskutierten Vorstellungen statt. Die von den Schülern beschriebenen Prozesse finden sich in der Literatur im Zusammenhang mit dem Gesprächstypus des „exploratory talk“, bei dem zum Beispiel das Formulieren von vorläufigen Ideen und deren Evaluation genannt wird (vgl. Kap. 2; z.B. Barnes, 2008). Die lernförderliche Wirkung des „exploratory talk“ wird in der Literatur durch das Hinterfragen der eigenen Vorstellung begründet, wodurch die Veränderung von Vorstellungen angeregt wird. Die Vielfalt der Ideen erleichtert das Anknüpfen an individuelles Vorwissen und unterstützt die individuelle Rekonstruktion (vgl. Kap. 2; z.B. Egbers & Marohn, 2014; Wuttke, 2006). Weiterhin wird im „exploratory talk“ die unterstützende Funktion von Formulierungen der Mitschüler (linguistic scaffolding tools) postuliert. Dies erklärt die Schüleraussagen, dass Erklärungen von Mitschülern beim Verstehen helfen.

Zusammenfassung: Ko-Konstruktive Unterrichtsgespräche unterstützen die individuelle Rekonstruktion

Die Ergebnisse der inhaltlichen Untersuchung der Vorstellungen werden durch die Aussagen der Literatur gestützt, dass Ko-Konstruktionsprozesse lernförderlich sind. Die Verknüpfung mit der Naturwissenschaftsdidaktik zeigt, dass ko-konstruktive Gespräche die individuelle Rekonstruktion von Wissen unterstützen, indem Lernende ihre Vorstellungen formulieren, vergleichen und überprüfen.

8.2 Ausrichtung des Unterrichts an Vorstellungen der Lernenden

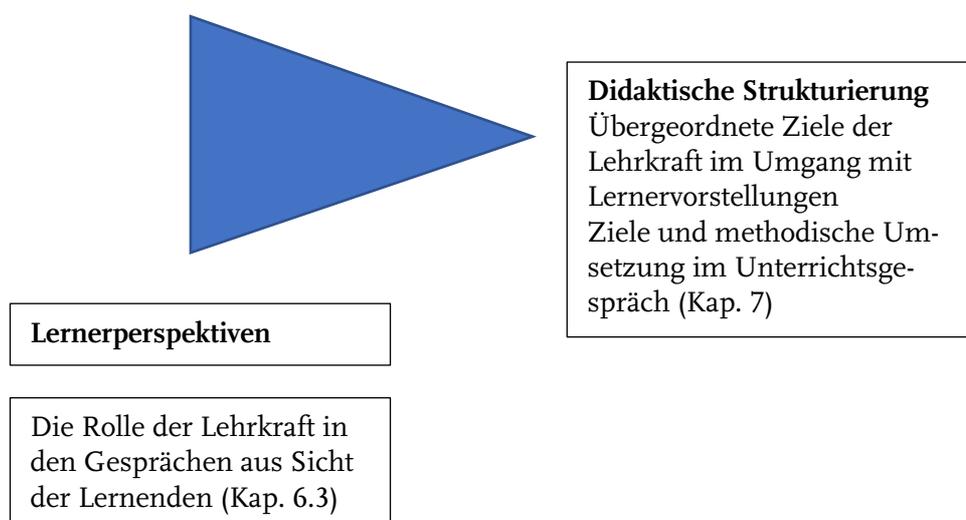


Abb. 42: Vergleich Lernerperspektiven und didaktische Strukturierung – Teil 1

Quelle: Eigene Darstellung

In den Interviews mit der Lehrkraft wurden generelle Zielsetzungen identifiziert, die sich auf den Umgang mit Lernervorstellungen, die Gesprächsführung und das lernförderliche Klima beziehen. Weiterhin gibt es eine Reihe von situationsabhängigen Zielen und Methoden, die die Lehrkraft für den Umgang mit Lernervorstellungen im Gespräch nutzt (vgl. Kap. 7). Die nachfolgende Tabelle (17) stellt die Zielsetzungen der Lehrkraft und die Aussagen der Lernenden zur Rolle der Lehrkraft in den Gesprächen vergleichend gegenüber. Die Aussagen sind zum Teil gekürzt, die expliziten Analysen befinden sich in den Kapiteln 6.3 und 7.3. Ähnliche Befunde sind gegenüberliegend einsortiert, „(...)“ bedeutet, dass nur ein Teil der entsprechenden Kategorie abgedruckt ist.

Tab. 17: Zielsetzungen der Lehrkraft und Aussagen der Lernenden

Ergebnisse (Didaktische Strukturierung) Ziele der Lehrkraft	Ergebnisse (Lernerperspektiven) Rolle der Lehrkraft in den Gesprächen
Schüler diskutieren ihre Vorstellungen, um Ko-Konstruktionsprozesse zu fördern	Die Lehrkraft fördert Schülerdiskussionen und Erklärungen durch Schüler.
Gezielte Lenkung der Diskussion mit Methoden der Gesprächsführung, Auswahl einer Strategie für die Diskussion der Vorstellungen	(...) Die Lehrkraft strukturiert, dokumentiert und fasst Gesprächsergebnisse zusammen. Sie sorgt für zeitlich effektive Gespräche.
Gesprächsklima: Wertschätzung, Sicherheit, positiver Umgang mit Fehlern	(...) wertschätzender Umgang mit Fehlern
Vorstellungen aktivieren	Die Lehrkraft lässt Vorstellungen visualisieren. (...)
Vorstellungen gezielt auswählen	
Fokussieren und Strukturieren	Die Lehrkraft gibt Denkanstöße und leitet zur Vertiefung an: z.B. Hilfestellung an entscheidenden Stellen des Denkprozesses, Anleitung zum Zusammenfassen, zur vertieften Ausarbeitung einer Idee, Nachfragen, Hinweise zum Denkansatz geben, fachliche Informationen ergänzen
An Vorstellungen anknüpfen	
Vorstellungen umwälzen	
Vorstellungen durch Lehrererklärung ergänzen	
Rückmeldung zu den Vorstellungen geben (Lob, Bestätigen, Fehlerkorrektur)	Die Lehrkraft gibt Rückmeldung zur fachlichen Richtigkeit von Vorstellungen, wertschätzender Umgang mit Fehlern

Quelle: Eigene Darstellung

In allen Kategorien zeigen sich große Übereinstimmungen zwischen den Ergebnissen der didaktischen Strukturierung und den Lernerperspektiven. Die Schüler bestätigen mit ihren Aussagen die Ziele der Lehrkraft und beschreiben an vielen Stellen Beispiele der methodischen Umsetzung. Vor dem Hintergrund, dass den befragten Schülern der Inhalt der Fragen unbekannt war, zeigen die 13- bis 17-

Jährigen eine genaue Wahrnehmung und differenzierte Beobachtungsfähigkeit. Es ist auch anzunehmen, dass die Ziele und die Methoden für die Lernenden im Unterricht sehr klar und transparent sind. Dies wird durch die Strukturierung des Unterrichts erreicht, was sich in dem gezielten, strategischen Umgang der Lehrkraft mit Lernervorstellungen abbildet. Die Ergebnisse (vgl. Kap. 7, Kategorien II.1 und II.2) zeigen eine Struktur mit definierten Abschnitten (Vorstellungen entwickeln, fachliche Zusatzinformationen, veränderte Vorstellungen diskutieren) und ein zirkuläres Vorgehen (Vorstellungen präsentieren, diskutieren, Ergebnis sichern). Die Bedeutung von Regelklarheit und Strukturierung für die Unterrichtsqualität wird auch in der Literatur beschrieben (vgl. Kap. 2; z.B. Klieme & Rakoczy, 2008). Schüleraussagen geben außerdem Hinweise darauf, dass die Lehrkraft Methoden über genaue Regeln einführt (z.B. Meldekette) und die Ziele ihres Vorgehens transparent werden. So sagt Saskia (14 Jahre), dass die Lehrkraft bei der Meldekette sehen will, wie die Schüler eigenständig an der Lösung arbeiten. Lara (16 Jahre) beschreibt Diskussionsregeln – sich kurz fassen, auf das Wichtigste beschränken und Beiträge nicht wiederholen – damit die Gespräche effektiv und zielführend werden. Fragen der Lehrkraft nach den Kernaussagen von Schülerbeiträgen fördern ihrer Meinung nach diese Regeln.

Eine weitere Dimension der Unterrichtsqualität ist das unterstützende Lernklima, das einen positiven Einfluss auf die Motivation hat (Klieme & Rakoczy, 2008). Dieser Punkt wird bei den Zielen der Lehrkraft (Gesprächsklima, positiver Umgang mit Fehlern) deutlich und durch die interviewten Schüler bestätigt. Da in den problemorientierten Gesprächen der Schüler Ko-Konstruktionsprozesse stattfinden, sind die Schüler aufgefordert neue, noch unfertige Ideen zu formulieren, die in der Diskussion überprüft und weiterentwickelt werden. Die Perspektive der Lernenden zeigt, dass in diesem Prozess die Rückmeldung der Lehrkraft zur fachlichen Richtigkeit der Ideen eine wichtige Rolle spielt. Damit Lernende ihre vorläufigen, möglicherweise noch nicht wissenschaftlich korrekte Gedanken im Klassenplenum darstellen, sind ein wertschützendes Gesprächsklima und eine positive Fehlerkultur wichtige Voraussetzungen. Die Reaktionen von der Lehrkraft und den Mitschülern auf die Erklärungsansätze und Fehler beeinflussen die Bereitschaft der Lernenden zur weiteren Diskussionsteilnahme entscheidend.

Die Lernervorstellungen stehen für die Lehrkraft im Mittelpunkt von Schülerdiskussionen, die sie mit einem großen Repertoire an Methoden gezielt lenkt. Dieses Vorgehen wird in der Literatur empfohlen (vgl. Kap. 2; z.B. Mercer & Dawes, 2008, Egbers & Marohn, 2014), da ein qualitativ hochwertiger Kommunikationstypus wie der „exploratory talk“ äußerst selten in nicht moderierten Schülergesprächen auftritt, meist kommt es zu kumulativen oder konfrontativen Kommunikationstypen. Die Steuerung durch die Lehrkraft wird demnach benötigt, um

das Argumentieren, logische Schlussfolgern und den konstruktiven Umgang mit Vorstellungen zu fördern. Die Ergebnisse zeigen beispielsweise, dass sie das Gespräch zwischen den Schülern fördert, indem sie sich selbst mit Redebeiträgen zurückhält und stattdessen eine Meldekette durchführen lässt oder indem sie Schüler zu Erklärungen auffordert. Sie vermeidet damit eine kleinschrittige Lenkung des Unterrichtsgesprächs und bietet stattdessen Raum für Ideen und Vermutungen der Schüler. Dadurch sollen die Lernenden die Gelegenheit erhalten, sich durch Diskussion mit Mitschülern möglichst eigenständig fachliche Zusammenhänge zu erschließen. Diese Ziele und Methoden der Lehrkraft wirken IRF-Mustern, bei denen isolierte Schülerbeiträge und eine ergebnisorientierte, enge Steuerung der Gespräche zu beobachten ist, entgegen (vgl. Kap. 2.5, z.B. Dawes, 2004; Pauli, 2010). Die dargestellten Ziele der Lehrkraft werden von fast allen interviewten Schülern bestätigt. So erklärt Saskia (14 Jahre), dass die Lehrkraft zur Meldekette auffordert und sich selbst zurückhält. Saskia benennt als Ziel der Lehrkraft, dass die Schüler eigenständig Lösungen für das Problem entwickeln. Dieses Beispiel zeigt eine hohe Übereinstimmung zwischen den Zielen der Lehrkraft und der Wahrnehmung durch die Lernenden. Ebenso erläutert Thomas (17 Jahre), dass die Lehrkraft großen Wert auf die Erklärungen durch Schüler legt und erst dann aktiv wird, wenn Schüler die Erklärung nicht leisten können. Er beschreibt auch den wertschätzenden Umgang der Lehrkraft bei Rückmeldungen und Korrekturen.

Zusammenfassung: Ausrichtung des Unterrichts an Vorstellungen der Lernenden

Die Ergebnisse zeigen exemplarisch die konkrete Umsetzung von zwei Dimensionen der Unterrichtsqualität. Der gezielte und strukturierte Umgang mit den Vorstellungen von Lernenden sorgt für Regelklarheit und Strukturierung, das unterstützende Lernklima wird in den identifizierten Zielen der Lehrkraft deutlich. Die Perspektiven der Lernenden bestätigen sowohl die Strukturiertheit und Klarheit als auch das positive Lernklima. Bezüglich des Umgangs mit Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch zeigen die Ergebnisse differenzierte, begründete Ziele und ein großes Repertoire an Methoden, das die Lehrkraft zur konkreten Umsetzung einsetzt. Dieses Vorgehen unterstützt den lernförderlichen Kommunikationstyp „exploratory talk“ und vermeidet IRF-Sequenzen.

8.3 Ko-Konstruktionsprozesse besitzen formale Funktionen

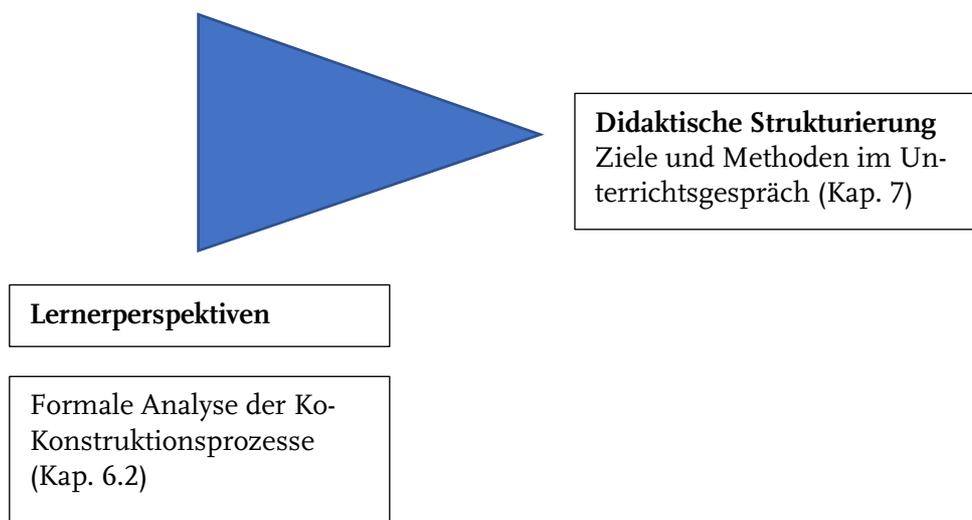


Abb. 43: Vergleich Lernerperspektiven und didaktische Strukturierung – Teil 2
Quelle: Eigene Darstellung

In diesem Abschnitt wird das Kategoriensystem zur formalen Analyse der Ko-Konstruktionsprozesse (vgl. Kap. 6.2.1) mit den Zielen und Methoden der Lehrkraft (vgl. Kap. 7) in Bezug gesetzt. In der nachfolgenden Tabelle (18) werden die formalen Kategorien von ko-konstruktiven Gesprächen mit den Zielen und Methoden der interviewten Lehrkraft verglichen. Übereinstimmende Ergebnisse sind gegenüberliegend einsortiert.

Tab. 18: Ko-Konstruktionsprozesse und didaktische Strukturierung

Kategorien der formalen Analyse der Ko-Konstruktionsprozesse Ausprägungen für die Lehrkraft	Ergebnisse (Didaktische Strukturierung) Ziele und Methoden der Lehrkraft im Umgang mit Lernervorstellungen
Initiieren Eröffnen des Gesprächs	Vorstellungen aktivieren
Fortführen Aufforderung durch die Lehrkraft, an einen Beitrag anzuknüpfen	An Vorstellungen anknüpfen
Ausarbeiten Aufforderung zum Ergänzen, Begründen, Erklären, Vergleichen von Vorstellungen	An Vorstellungen anknüpfen

Kategorien der formalen Analyse der Ko-Konstruktionsprozesse	Ergebnisse (Didaktische Strukturierung)
Ausprägungen für die Lehrkraft	Ziele und Methoden der Lehrkraft im Umgang mit Lernervorstellungen
Rederecht weitergeben Lehrkraft erklärt selbst	Vorstellungen durch Lehrererklärung ergänzen
Überprüfen Lehrkraft macht auf Widersprüche aufmerksam Lehrkraft analysiert Vorstellung durch gezieltes Nachfragen oder den Auftrag, die geäußerte Idee genauer zu erklären	Vorstellungen umwälzen
Rückmeldung Bestätigende oder falsifizierende Antwort der Lehrkraft mit weitergehenden Anmerkungen	Rückmeldung zu den Vorstellungen geben
Fokussieren und Strukturieren Einzelne Beiträge werden in den Fokus gerückt; Strukturieren von Inhalten und Denkprozessen wird angeleitet	Fokussieren und Strukturieren
Sichern Zwischenschritte im Lernprozess sichern und den Lernweg transparent machen Ergebnisse durch Schüler zusammenfassen lassen oder Lehrkraft fasst zusammen	Vorstellungen umwälzen Übergeordnete Prinzipien der Gesprächsführung

Quelle: Eigene Darstellung

Aus der Tabelle geht hervor, dass sich die im Interview ermittelten Ziele und Methoden der Lehrkraft dem Kategoriensystem aus der Literatur (formale Kriterien von Ko-Konstruktionsprozessen nach Barnes & Todd, 1995) zuordnen lassen. Durch diese wechselseitigen Bezüge konnten zwei weitere Kategorien („Fokussieren und Strukturieren“ und „Sichern“) aus den Daten abgeleitet werden.

Generell zeigen die Befunde, dass die Beiträge der Lehrkraft – ebenso wie die der Schüler – die formalen Kriterien von erfolgreichen Ko-Konstruktionsprozessen erfüllen. Ein Unterschied besteht dahingehend, dass die Lehrkraft in den meisten Fällen den Auftrag zum Ausarbeiten, zum Überprüfen oder zum Fortführen gibt und die Schülerbeiträge dann auch in Folge ausarbeitend, überprüfend oder fortführend sind und diesen Kategorien zugeordnet werden können. Das bedeutet, dass die Lehrkraft aktiv und gezielt zu Beiträgen auffordert, die erfolgreiche Ko-Konstruktionsprozesse ermöglichen. Ein weiterer Befund zeigt, dass rückmeldende Beiträge größtenteils von der Lehrkraft erfolgen. Die Rückmeldungen sind lobend oder positiv-konstruktiv bewertend und machen die Schülervorstellungen an vielen Stellen zum Ausgangspunkt des weiteren Gespräches, indem sie aufgegriffen und erweitert werden. Durch dieses „Revoicing“ erfahren Schüler, dass ihre Vorstellungen ernst genommen und wertgeschätzt werden (vgl. Kap. 2; Pauli, 2010).

Weiterhin wurden aus den Daten mit „Fokussieren und Strukturieren“ sowie „Sichern“ zwei neue Funktionen der Lehrerbeiträge ermittelt. Durch fokussierende und strukturierende Beiträge lenkt die Lehrkraft das Gespräch inhaltlich, indem sie wichtige, weiterführende Beiträge von Schülern hervorhebt und zum Anknüpfen auffordert. Durch das Fokussieren auf die zentralen Denkschritte wird auch die Struktur des Problemlöseprozesses klar. Außerdem wird deutlich, welche Vorstellungen in der Lernergruppe vorliegen und diskutiert werden sollen. So zeigt die Strukturierung der Lehrkraft in der Jahrgangsstufe 11 die anfangs vorliegenden Hypothesen zur Erklärung der Volumenkontraktion: das Teilchenmodell (große/kleine Kugel), die Möglichkeit, dass Gasblasen entweichen oder die Bildung von Wasserstoffbrückenbindungen. In der naturwissenschaftsdidaktischen Literatur werden fokussierende, strukturierende und sichernde Aktivitäten der Lehrkraft als Scaffolding beschrieben (vgl. Kap. 2; z.B. Möller, 2016). Bei den inhaltlich strukturierenden Maßnahmen wird das Hervorheben von Beiträgen der Lernenden, die weiterführend sind sowie das Zusammenfassen und Strukturieren explizit benannt. Die aus den Daten abgeleitete Funktion des „Sicherns“ findet sich in den kognitiv anregenden Scaffolding-Maßnahmen wieder (Punkt „Über Lerninhalte und -wege nachdenken“, Möller, 2016). Die Lehrkraft sichert die Zwischenschritte im Lernprozess, indem zum Beispiel Lernende den individuellen Kenntnisstand wiedergeben oder sie sorgt für Transparenz im Lernweg, indem Lernende aufgefordert werden, ihren Kenntnisstand vor und nach der Unterrichtssequenz zu vergleichen und zu formulieren. Auch für weitere formale Kriterien erfolgreicher Ko-Konstruktionsprozesse nach Barnes und Todd (1995) wie „Ausarbeiten“ und „Überprüfen“ lassen sich Entsprechungen in den kognitiv anregenden Scaffolding-Maßnahmen finden (Punkte „Kognitive Konflikte auslösen, Vorstellungen weiterentwickeln“).

Zusammenfassung: Ko-Konstruktionsprozesse besitzen formale Funktionen

Die formalen Kriterien für erfolgreiche Ko-Konstruktionsprozesse können nicht nur auf Schülerbeiträge, sondern auch auf Gesprächsbeiträge der Lehrkraft angewendet werden. Die so untersuchten Gespräche erfüllen die formalen Kriterien für erfolgreiche Ko-Konstruktionsprozesse. Die zusätzlich identifizierten formalen Funktionen „Fokussieren und Strukturieren“ sowie „Sichern“ beschreiben wichtige Scaffolding-Aktivitäten der Lehrkraft. Die Entsprechungen in den formalen Kriterien von ko-konstruktiven Gesprächen und dem Scaffolding-Konzept zeigen die Bedeutung von Ko-Konstruktionsprozessen für die Naturwissenschaftsdidaktik.

8.4 Fazit: Vorstellungen als Lernvoraussetzung und Lernmittel im Unterrichtsgespräch

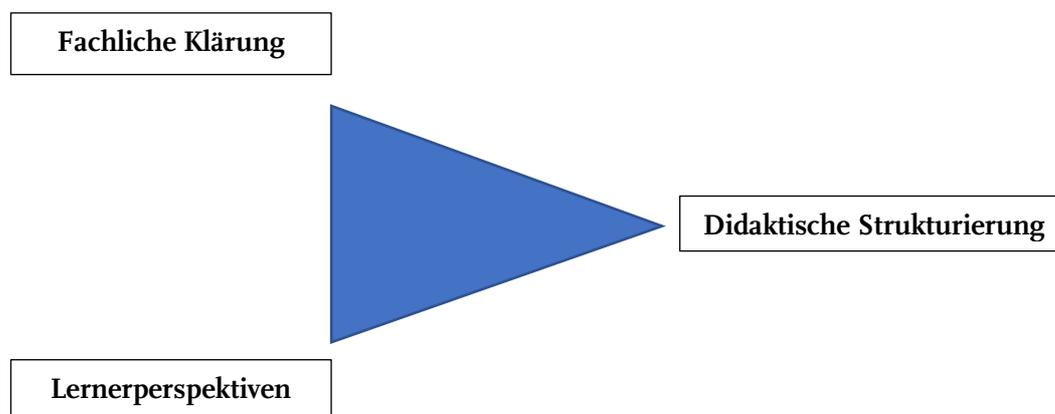


Abb. 44: Fazit aus den drei Perspektiven
Quelle: Eigene Darstellung

Unter diesem Punkt soll anhand ausgewählter Aspekte die eingangs gestellte Frage aufgegriffen werden, wie Schülervorstellungen zum Lernmittel im Unterrichtsgespräch werden können. Ausgehend von einem konstruktivistischen Verständnis nehmen Vorstellungen von Lernenden eine zentrale Stelle im Lehr-Lernprozess ein. Lernen kann nur an und mit Vorstellungen stattfinden (vgl. Kap. 2; Kattmann, 2005 und 2007). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion beschreibt die fachdidaktische Aufgabe, durch Klärung der wissenschaftlichen Aussagen und Erhebung von Vorstellungen von Lernenden die didaktische Strukturierung des Unterrichts vorzunehmen (Gropengießer & Kattmann, 2013). Für die didaktische Strukturierung ist eine sorgfältige Analyse fachlicher Begriffe und eine Betrachtung der Lernpotenziale nötig, um mögliche Lernhindernisse zu entdecken. So zeigt der untersuchte Fall in der Jahrgangsstufe 11, dass der Begriff „Cluster“ ein Lernhindernis darstellen könnte (vgl. Kap. 6.2.2). Die Volumenkontraktion wird aus fachwissenschaftlicher Sicht u.a. durch das Zerfallen der Clusterstruktur von Wasser erklärt. Bei der Auseinandersetzung der Schüler mit dem Begriff „Cluster“ wird die Herausforderung deutlich, diesen Begriff im Rahmen einer neuen Vorstellung anzuwenden. Weiterhin zeigt die Analyse der Lernervorstellungen, dass die Denkfigur „Kleine Kugeln füllen die Lücken zwischen den großen Kugeln“ äußerst stabil ist und an dieser Stelle die Aktivitäten der Lehrkraft den entscheidenden Impuls zur weiterführenden Konstruktion geben.

In Bezug auf die didaktische Strukturierung zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit exemplarisch, wie Lernervorstellungen als Lernmittel im Unterrichtsgespräch ge-

nutzt werden können. Es wurden hierzu konkrete Ziele und eine Vielzahl an Methoden zur Umsetzung ermittelt (vgl. Kap. 7). Darüber hinaus wurde bei der Analyse der Unterrichtsvideographien und der Lehrerinterviews auch eine unterrichtliche Abfolge zum Umgang mit Schülervorstellungen herausgearbeitet. Ähnlich wie die in der Literatur beschriebenen Verläufe für Lehr-Lernsequenzen, die Schülervorstellungen in den Mittelpunkt stellen (vgl. Kap. 2, Widodo & Duit, 2005; Leisen, 2011), zeigen die Ergebnisse in den untersuchten Unterrichtssequenzen bestimmte Phasen, in denen die Bedeutung von Schülervorstellungen als Lernmittel deutlich wird. Aufgrund der Fokussierung auf Unterrichtsgespräche zeigt die nachfolgende Abbildung (45) keine vollständige unterrichtliche Abfolge, sondern die Phasen, in denen der Umgang mit Schülervorstellungen im Gespräch besonders deutlich wird. So fehlen beispielsweise typische Abschnitte wie der Einstieg in ein Thema oder Phasen mit Zielsetzungen wie Anwenden, Vertiefen, Üben.

Phasen	Vorgehen im unterrichtlichen Verlauf
Vorstellungen aktivieren	Individuelles Vorwissen und Vorstellungen zum Problem aktivieren
	Ausgewählte Anfangsvorstellungen präsentieren
	Diskussion: Vergleich der unterschiedlichen Vorstellungen
	Ergebnis: Anfangsvorstellungen, tragfähige Anteile
Fachliche Zusatzinformationen	Lernende erhalten fachliche Informationen und bringen diese in Verbindung mit den Anfangsvorstellungen
	Ergebnis: Vorstellungen zur Lösung
Veränderte Vorstellungen diskutieren	Ausgewählte Vorstellungen zur Lösung präsentieren
	Diskussion: Verhandeln einer gemeinsam geteilten Vorstellung
	Ergebnis: Fachliche Vorstellung (Lösung)
Lernzugewinn definieren	Individueller Vergleich mit Anfangsvorstellungen

Abb. 45: Umgang mit Lernervorstellungen im Unterrichtsgespräch
Quelle: Eigene Darstellung

Der Vergleich mit der Literatur (vgl. Kap. 2; Widodo & Duit, 2005; Leisen, 2011) zeigt, dass die Erhebung, das Erkunden und das Umstrukturieren von Schülervorstellungen in den Phasen „Vorstellungen aktivieren“ und „Veränderte Vorstellungen diskutieren“ stattfindet. Zu erkennen ist auch die explizite Anlage einer Rekonstruktionsphase: indem die Lernenden fachliche Zusatzinformationen über kurze Texte erhalten, setzen sie ihre Anfangsvorstellungen mit diesen in Bezug (vgl. Kap. 2; Kattmann, 2007). Die Diskussionsphasen, die in zwei Phasen stattfinden und in den untersuchten Fällen zeitlich bis zu 15 min umfassten, zeigen die Gewichtung des Unterrichtsgesprächs in der didaktischen Strukturierung. Weiterhin wird ein zyklisches Vorgehen der Lehrkraft deutlich: die farbigen

Hervorhebungen zeigen, dass sich das Vorgehen „Ausgewählte Vorstellungen präsentieren“ – „Vorstellungen diskutieren“ – „Ergebnis“ wiederholt. Unterschiede bestehen im Ergebnis der Phasen: zunächst werden die tragfähigen Anteile der Anfangsvorstellungen herausgearbeitet und nach der zweiten Diskussion ermöglichen die veränderten, rekonstruierten Vorstellungen die Lösung des Problems. Beide Gesprächsphasen dienen der Weiterentwicklung von Vorstellungen, wobei von der Lehrkraft in der Literatur beschriebene Möglichkeiten wie Anknüpfen an Vorstellungen oder kognitive Konflikte verwendet werden (vgl. Kap. 2; z.B. Kattmann 2017; Widodo & Duit, 2005). Das Ziel der ersten Diskussionsphase ist der Vergleich von ausgewählten Anfangsvorstellungen und die Fokussierung auf deren fachlich weiterführenden (tragfähigen) Anteile und in der Mehrwertdiskussion ist das Ziel, im Sinne einer Ko-Konstruktion eine gemeinsam geteilte Vorstellung zur Lösung im Gespräch zu entwickeln (zum Begriff „Mehrwertdiskussion“ vgl. Kap. 7.2, Punkt II.1).

In der konkreten Umsetzung der Didaktischen Strukturierung werden auch die Anforderungen an die Lehrkraft deutlich. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass ein bewusstes, begründetes Vorgehen im Umgang mit Schülervorstellungen und ein vielfältiges Methodenrepertoire, das flexibel angewendet werden kann, wichtige Voraussetzungen sind. Für eine adaptive Lehrerintervention (vgl. Kap. 2; Pauli & Reusser, 2000) zur Förderung der Ko-Konstruktionsprozesse benötigt die Lehrkraft eine ausgeprägte Diagnosefähigkeit, um während dem Unterrichtsgeschehen die geäußerten Vorstellungen fachwissenschaftlich und fachdidaktisch einzuordnen. Daraus leitet sie eine übergeordnete Strategie für den Umgang mit den Vorstellungen ab und wählt geeignete Methoden für die Gesprächsführung aus, die zum passenden Zeitpunkt eingesetzt werden. Die Fähigkeit des begründeten, situationsabhängigen Entscheidens (konditionales Wissen) und das prozedurale Wissen über konkrete Umsetzungsmöglichkeiten sind wichtige Dimensionen des Professionswissens naturwissenschaftlicher Lehrkräfte (z.B. Tepner et al., 2012).

8.5 Empfehlungen für den Unterricht

In der Studie wurden fallbasiert die Ziele und Methoden einer Lehrkraft im Umgang mit Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch vor dem Hintergrund von Ko-Konstruktionsprozessen im Chemieunterricht untersucht. Die Ergebnisse zeigen an einem konkreten Fall, wie Schüler im Chemieunterricht an und mit ihren Vorstellungen lernen können (vgl. Kap. 2.3.3; z.B. Kattmann, 2005). Dabei wurde die lernförderliche Wirkung von ko-konstruktiven Schülerdiskussionen und die Bedeutung einer gezielten Lenkung der Gespräche durch die Lehr-

kraft deutlich. Die fachdidaktische Perspektive zeigt, dass ko-konstruktive Gespräche die individuelle Rekonstruktion von Wissen unterstützen, indem Lernende ihre Vorstellungen formulieren, vergleichen und überprüfen (vgl. Kap. 2.5, 2.4 und 8.4; z.B. Osborne, 2010; Pauli, 2010).

Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass der strukturierte Umgang mit Schülervorstellungen die Grundlage für Regelklarheit und Strukturierung des Unterrichts bildet (vgl. Kap. 2.3.1 und 8.2; z.B. Klieme & Rakoczy, 2008). Hierzu ist eine gezielte Lenkung des Unterrichtsgesprächs durch die Lehrkraft nötig, die ein Repertoire an Methoden und Strategien kennt und dieses flexibel und situationsabhängig einsetzen kann (vgl. Kap. 7). Die Ziele im kommunikativen Handeln der befragten Lehrkraft (vgl. Kap. 7) unterstützen den lernförderlichen Kommunikationstyp „exploratory talk“ und vermeiden IRF-Sequenzen (vgl. Punkt 8.2; z.B. Mercer & Dawes, 2008). Eine ausgeprägte Fähigkeit zur fachlichen und fachdidaktischen Diagnose bildet die Grundlage für adaptive Lehrerinterventionen und Scaffolding-Maßnahmen (vgl. Kap. 8.3; z.B. Möller, 2016; Pauli & Reusser, 2000). Weiterhin zeigt die Untersuchung der didaktischen Strukturierung, dass die Unterrichtsphasen konsequent an den Vorstellungen der Lernenden ausgerichtet und Möglichkeiten der Rekonstruktion und Ko-Konstruktion eröffnet werden (vgl. Kap. 2.3 und 7; z.B. Widodo & Duit, 2005).

Da in den ko-konstruktiven Schülerdiskussionen die geäußerten Vorstellungen in hohem Maße Veränderungsprozessen unterliegen und oft ad hoc entstehen (vgl. Gropengießer, 2007), ist der positive und konstruktive Umgang mit Fehlern und Vorstellungen, die noch nicht den wissenschaftlichen Vorstellungen entsprechen, zentral für den Lernprozess (Seidel et al, 2006). Dies wirkt sich auch positiv auf das Lernklima aus, was im untersuchten Fall vor allem im Umgang der Lehrkraft mit Fehlern deutlich wird (vgl. Kap. 7; Klieme & Rakoczy, 2008). In dieser Studie bestätigen die Perspektiven der Lernenden sowohl die Strukturiertheit und Klarheit des Unterrichts durch effektiven Methodeneinsatz als auch das positive Lernklima (vgl. Kap. 6.3).

Demnach lassen sich aus der Studie folgende zentrale Leitlinien für den Unterricht ableiten:

- a) Lernervorstellungen werden im Unterrichtsgespräch zum Lernmittel, indem sie im Mittelpunkt eines Ko-Konstruktionsprozesses stehen. Die individuelle Rekonstruktion von Wissen wird unterstützt, wenn Lernende ihre Vorstellungen im Gespräch formulieren, vergleichen und überprüfen können.
- b) Eine aktive und gezielte Lenkung der Schülerdiskussion durch die Lehrkraft unterstützt den Lernprozess. Hierfür benötigt die Lehrkraft übergeordnete Strategien und ein Repertoire an Methoden für die Gesprächsführung.

- c) Die Voraussetzung für eine adaptive Lehrerintervention und Scaffolding-Maßnahmen ist eine fachliche und fachdidaktische Diagnosefähigkeit im laufenden Gespräch.
- d) Der konstruktive Umgang mit Fehlern und Vorstellungen, die noch nicht den wissenschaftlichen Vorstellungen entsprechen, trägt zu einem positiven Lernklima bei und ist für den Lernprozess förderlich.
- e) Ziel- und Methodenentscheidungen innerhalb der didaktischen Strukturierung spiegeln die Ausrichtung des Unterrichts an Schülervorstellungen in klaren Phasen wider.

Anregungen zur Weiterentwicklung des kommunikativen Lehrerhandelns

Die Relevanz der Ergebnisse für den Unterricht und die Lehreraus- und weiterbildung zeigt sich auch in der Frage, wie Lehrkräfte die Qualität ihrer Gesprächsführung im Hinblick auf den lernförderlichen Umgang mit Schülervorstellungen weiterentwickeln können. Die folgenden Stichpunkte greifen hierzu Aspekte aus den Ergebnissen der Studie auf (vgl. Zusammenfassungen in den Kapiteln 6.2, 6.3 und 7) und sind als Reflexionsimpulse für Lehrkräfte zu verstehen. Sie können der individuellen Reflexion von Lehrkräften dienen oder Diskussionsanlass in Fachsitzungen sein. Weiterhin kann die Liste als Grundlage für eine kollegiale Hospitation oder als Anregung für Personen, die in der Lehramtsausbildung tätig sind, genutzt werden.

Hinweise zum Umgang mit Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch

- Eine positive Fehlerkultur und ein wertschätzendes Gesprächsklima sind Grundvoraussetzungen für die Gespräche.
- Die Diskussion von fehlerhaften Ideen der Schüler führt nicht zwangsläufig zum Verfestigen dieser Vorstellungen. Eine angeleitete Schülerdiskussion bietet vielfältige Gelegenheiten für die Entwicklung von Vorstellungen der Lernenden in Richtung der fachwissenschaftlichen Vorstellungen. Fehler sind Lernchancen.
- Fehler analysieren (z.B. gravierend / lernwirksam / unbedeutend oder Flüchtigkeitsfehler) und entsprechend differenziert behandeln (z.B. aufgreifen und klären / überformen und zum Weiterlernen nutzen / nicht thematisieren)
- Der Redeanteil der Lernenden nimmt zeitlich einen deutlich größeren Raum ein als der Redeanteil der Lehrkraft. Diese lenkt an den entscheidenden Stellen durch gezielte, kurze Impulse das Gespräch.
- Im Mittelpunkt steht der Lernprozess der Schüler und nicht eine Abfolge von vorausgedachten Lernschritten aus Sicht der Lehrkraft. Daraus ergibt sich die Einstellung zur Gesprächsführung: „Der Lehrer denkt den Schülern hinterher und nicht umgekehrt, d.h. die Moderation darf nicht so geführt (werden),

dass die Lerner zu „erraten“ versuchen, worauf der Lehrer hin(aus) will“ (Leisen, 2014, S. 177).

Empfehlungen zum Vorgehen

- Geeignete Anlässe für die Diskussion von Schülervorstellungen planen, z.B. eine herausfordernde Problemstellung vorgeben, die unterschiedliche Ideen (Hypothesen) zulässt oder Material anbieten, das zu Diskussionen auffordert.
- In Abhängigkeit von den vorhandenen Vorstellungen eine Strategie (vergleichende oder gestufte Präsentation) für die Diskussionen wählen. Die Vorstellungen, die Lernenden und die Reihenfolge der Präsentation festlegen.
- Die Anfangsvorstellungen der Lernenden aktivieren, erheben und positiv diskutieren. Dabei keine Bewertung (richtig /falsch) von plausiblen Ideen vornehmen, sondern auf tragfähige (fachlich korrekte) Anteile der Vorstellungen fokussieren, die im weiteren Verlauf zusammengeführt werden können.
- Die Auseinandersetzung der Lernenden mit neuen fachwissenschaftlichen Informationen ermöglichen und damit Rekonstruktion der Vorstellungen fördern.
- Die Vorstellungen nach der Rekonstruktionsphase erneut diskutieren. Ziel ist die Entwicklung einer gemeinsam geteilten Problemlösung durch Ko-Konstruktion. Die Lernenden sollen möglichst eigenständig die Lösung im Gespräch entwickeln. Bei der Gesprächsführung auf die Balance zwischen Lösungssuche und Zielorientierung achten.
- Durch Strukturierung, Zusammenfassung oder Visualisierung für die Sicherung und Transparenz der entscheidenden Denkschritte (Plateaus) sorgen.
- Den individuellen Vergleich der Anfangsvorstellung und der Vorstellung am Ende der Unterrichtseinheit anleiten, damit Schülern ihr Lernzugewinn und ihre Denkwege bewusst werden.

Empfehlungen zur Gesprächsführung

- Methoden flexibel und situationsgerecht auswählen
- Vorstellungen aktivieren und erheben: z.B. Zeichnungen, Meldekette
- Auf Vorstellungen fokussieren und Vorstellungen strukturieren: Vorstellungen aufgreifen, akzentuieren, zum Ausgangspunkt des weiteren Gesprächs machen (Revoicing), z.B. visualisieren, Kategorien bilden, Anschreiben zentraler Begriffe, Sprechakte („Bezieht euch auf...!“)
- An Vorstellungen anknüpfen: z.B. Aufgreifen durch Vergleich, Zusammenführen oder Fortführen von Vorstellungen, Sprechakte („Das wurde eben von....angesprochen und...“; Schüler: „Ich sehe das wie... und denke, dass...“)
- Vorstellungen umwälzen: Nachfragen (Deep-Reasoning Fragen), Aufforderung, in eigenen Worten zusammenzufassen, Sprechakte („Fass in deinen

eigenen Worten zusammen, was du gerade der Schilderung von ... entnommen hast“, „Erkläre es noch einmal, damit sich die anderen auch einbringen können“)

- Vorstellungen durch Erklärung ergänzen: zuerst Schüler zum Erklären auffordern, ggf. kurze und prägnante Lehrererklärung geben (anknüpfen, überformen, präzisieren, zusammenfassen, fachsprachliche Begriffe ergänzen)
- Rückmeldung zu Vorstellungen geben: Schülerbeiträge wertschätzen, loben, fachliche Richtigkeit bestätigen, konstruktive Fehlerkorrektur

Hinweise zu Ko-Konstruktionsprozessen in Gesprächen

- Ko-Konstruktion fördert individuelle Lernprozesse. Auch durch Zuhören ist eine Teilnahme am Denk- und Lernprozess möglich.
- Die Beiträge erfolgreicher Ko-Konstruktionsprozesse erfüllen formale Kriterien und sind durch eine inhaltliche Weiterentwicklung in Richtung der fachwissenschaftlichen Vorstellungen gekennzeichnet.
- Ziele der Diskussion sind das Verhandeln einer gemeinsam akzeptierten Beantwortung der Fragestellung, die Deutung oder Problemlösung im kollektiven Diskurs und das Herstellen einer Anschlussfähigkeit der Vorstellungen durch inhaltliche Bezüge und Zusammenhänge zwischen den Beiträgen der Lernenden.

Empfehlungen zur Förderung von Ko-Konstruktion in Gesprächsphasen

- Den Gesprächstyp „exploratory talk“ durch Moderation der Schülergespräche fördern (logisches Schlussfolgern, begründetes Argumentieren, kritisch-konstruktive Diskussion von Vorstellungen/Ideen)
- Lernende zu initiiierenden, fortführenden, ausarbeitenden, überprüfenden und rückmeldenden Gesprächsbeiträgen auffordern. Zusätzliche Funktionen von Lehrerbeiträgen sind: Fokussieren und Strukturieren, Rückmelden und Sichern
- Längere Gespräche zwischen den Schülern fördern:
 1. Geeignetes Material, Problemstellung generieren
 2. Sich referierend auf Schülerbeiträge beziehen und deutlich machen, dass die Beiträge der Lernenden für den Lernprozess genutzt werden, z.B. durch Nennung der Schülernamen „(Name) hat eben aufgezeigt, dass ...“, „Wie (Name) eben überlegt hat....“, „Und dann habt ihr erklärt, dass...“)
 3. Mehrere Vorstellungen sammeln, eine Abfolge von Schülerbeiträgen fördern (z.B. durch Meldekette, dadurch IRF-Muster vermeiden)
- Methoden der Gesprächsführung gezielt einsetzen (vgl. Empfehlungen zur Gesprächsführung)

9 Reflexion

In diesem Kapitel erfolgt eine kritische Betrachtung des theoretischen Rahmens (Punkt 9.1) und des methodischen Vorgehens (Punkt 9.2). Anknüpfend an die Methoden werden die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse diskutiert und gegebenenfalls weiterführende Fragestellungen abgeleitet (Punkt 9.2). Vor diesem Hintergrund werden die Ergebnisse im Hinblick auf ihre Relevanz für die fachdidaktische Forschung betrachtet (Punkt 9.3).

9.1 Reflexion des theoretischen Rahmens

Es wird rückblickend dargestellt, inwiefern die gewählten Theorieansätze zur Beantwortung der Fragestellungen beitragen konnten. Ausgehend von der konstruktivistischen Sichtweise des Lernens zeigt der Theorierahmen die Konsequenzen für die Gestaltung von konstruktivistischen Lernumgebungen und die Bedeutung von Vorstellungen der Lernenden für die Unterrichtsplanung auf. Theoretische Beschreibungen von Ko-Konstruktion und empirische Ergebnisse begründen deren Beitrag zum Lernprozess. In empirischen Studien wurden Kriterien für erfolgreiche ko-konstruktive Gespräche identifiziert und Bedingungen von lernförderlichen Gesprächstypen. Daran anknüpfend werden Herausforderungen im Unterrichtsgespräch diskutiert und Möglichkeiten aufgezeigt, wie eine Lehrkraft ko-konstruktive Gespräche und lernförderliche Kommunikationsformen aktiv unterstützen kann.

Die Fragestellungen konzentrieren sich im Sinne des Konstruktivismus auf die Prozesse der Wissenskonstruktion (Gerstenmaier & Mandl, 1995; Reinmann & Mandl, 2006) und greifen vor allem aktive, konstruktive und soziale Merkmale des Lernprozesses auf. Die Sichtweise, dass die Konstruktion der Lernenden durch Instruktion gefördert wird (Möller, 2012), unterstützt die Beantwortung der Fragen nach dem Beitrag der Lehrkraft. Zur Interpretation der identifizierten Aktivitäten der Lehrkraft konnte das Scaffolding herangezogen werden. Zentral sind dabei kognitiv anregende und inhaltlich strukturierende Unterstützungsmaßnahmen, eine fortlaufende Diagnose der Lernprozesse und eine entsprechend flexible Anpassung und sukzessive Rücknahme der Unterstützung (Möller, 2016; Puntambekar & Hubscher, 2005). Die Rolle der sozialen Interaktion in konstruktivistischen Lernumgebungen wird in der fachdidaktischen Forschung vielfach untersucht (z.B. Duit & Treagust, 2003) und es ist Konsens, dass soziale Interaktion die Konstruktion von geteiltem Wissen unterstützt. Ko-Konstruktion kann als eine kollaborative Tätigkeit verstanden werden, durch die es mittels gemeinsam geteilter Vorstellungen zu einer Übereinstimmung von Meinungen in

einer Gruppe kommt (Reusser, 2001). Demnach sind Ko-Konstruktionsprozesse eine Form der sozialen Interaktion, die aus konstruktivistischer Sicht Lernprozesse unterstützt. Ein weiterer Aspekt der Ko-Konstruktion ist die Diskursivität, die das gemeinsame Verstehen komplexer Sachverhalte fördert. Damit wird aus der Theorie die Annahme abgeleitet, dass in Unterrichtsgesprächen mit moderierten Schülerdiskussionen Ko-Konstruktion stattfindet. Die Untersuchung dieser Ko-Konstruktionsprozesse kann mit Ergebnissen aus der Literatur begründet und diskutiert werden. Aus fachdidaktischer Perspektive ist die Frage nach einer Differenzierung von Ko-Konstruktion in Gruppen und der individuellen Rekonstruktion von Vorstellungen zu stellen. Dabei ist kritisch zu bedenken, dass Vorstellungen immer ein individuelles Konstrukt sind und die Untersuchung von gemeinsam geteilten Vorstellungen bei Ko-Konstruktionsprozessen keine Aussage über individuelle Rekonstruktionsprozesse zulässt. Der Theorierahmen zeigt auf, dass über den kollektiven Diskurs individuelle Lernprozesse ausgelöst werden, indem kollektive Lösungen für ein gemeinsames Problem entwickelt werden (Brandt & Höck, 2011; Miller, 1986). Vor diesem Hintergrund konzentriert sich die Fragestellung auf die gemeinsam geteilten Vorstellungen im Unterrichtsgespräch. Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen Befunde aus der Literatur, beispielsweise, dass Vorstellungen der Lernenden im Ko-Konstruktionsprozess oft ad hoc entstehen und in einem hohen Maße Veränderungsprozessen ausgesetzt sind (Gropengießer, 2007). So äußern Lernende häufig neue Ideen, erste Annahmen oder Hypothesen, die im Verlauf des Gespräches überprüft und hinterfragt werden (Osborne, 2010).

Aus fachdidaktischer Sicht ist weiterhin kritisch nachzufragen, wie sich die Vorstellungen zu fachübergreifenden Methoden der Gesprächsführung in einer fachdidaktischen Fragestellung verorten lassen. Hier kann angeführt werden, dass in der didaktischen Strukturierung (Kattmann, et al., 1997) die Ziele und Methoden einer naturwissenschaftlichen Unterrichtssequenz Berücksichtigung finden. Insofern sind die Vorstellungen der befragten Lehrkraft zu adäquaten Methoden auch von fachdidaktischem Interesse. Der fachdidaktische Bezug wird durch die Zielsetzung und die Inhalte konkretisiert. So untersucht diese Studie das Ergebnis einer didaktischen Strukturierung einer Lehrkraft an Beispielen aus dem Chemieunterricht (Aufbau des Atoms und zwischenmolekulare Wechselwirkungen). Innerhalb der didaktischen Strukturierung wird auf den Umgang mit Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch fokussiert. Der Theorierahmen zeigt die Bedeutung von Lernervorstellungen aus konstruktivistischer Sicht auf und knüpft an die Forderung der Fachdidaktik an, dass Schülervorstellungen zum Lernmittel werden sollen (Kattmann, 2007). Dadurch können die ermittelten Ziele und Methoden aus der didaktischen Strukturierung der Lehrkraft mit Hilfe der Befunde und den Empfehlungen aus der Literatur abgeglichen und interpretiert werden.

Der Conceptual-Change Ansatz (Strike & Posner, 1992) zeigt die Bedingungen für Lernprozesse durch Veränderung von Vorstellungen auf. Dies bildet die Grundlage für die inhaltliche Untersuchung der geäußerten Vorstellungen in den Unterrichtsgesprächen (vgl. Punkt 9.2) und die Möglichkeit der Interpretation der Ergebnisse, zum Beispiel um die Persistenz des Kugelteilchenmodells bei der Erklärung der Volumenkontraktion zu interpretieren. Kritikpunkte am Conceptual-Change Ansatz beziehen sich beispielsweise auf die fehlenden motivationalen, situierten und kontextbezogenen Aspekte des Lernens und die postulierte umfassende Veränderung von Vorstellungen durch kognitive Konflikte (Krüger, 2007). Die Befunde dieser Studie zeigen die Persistenz des Kugelteilchenmodells trotz eines kognitiven Konflikts und unterstützen damit die Annahme, dass sich Vorstellungen auch graduell verändern können.

Neben den fachinhaltlichen Aspekten werden die Aussagen der Schüler im Hinblick auf ihre formale Funktion in den Gesprächen untersucht, um festzustellen, ob die Kriterien für erfolgreiche ko-konstruktive Gespräche erfüllt werden. Die Kriterien werden aus empirischen Befunden abgeleitet (Barnes & Todd, 1995) und bilden die Grundlage für die Auswertungsmethode (vgl. Punkt 9.2).

9.2 Reflexion des methodischen Rahmens

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion bietet als Forschungsrahmen klar definierte Untersuchungsfelder und ein strukturiertes, methodisch kontrolliertes Vorgehen (Gropengießer & Kattmann, 2013). Zudem erlauben die drei Untersuchungsaufgaben (fachliche Klärung, Lernerperspektiven, didaktische Strukturierung) eine mehrperspektivische Betrachtung des Forschungsgegenstandes und unterstützen im Sinne einer Triangulation die Studiengüte.

In der fachlichen Klärung wurden die Vorstellungen der Wissenschaftler im Hinblick auf die Vermittlung untersucht und analysiert. Dabei wurde die qualitative Inhaltsanalyse nach Gropengießer (2005) genutzt. Dieses für fachdidaktische Fragestellungen adaptiertes Vorgehen wurde auch für die inhaltliche Analyse der Lernervorstellungen angewendet, um die Ergebnisse auch auf derselben Ebene (Konzepte) vergleichen zu können. Beim methodischen Vorgehen ist zu beachten, dass beim Thema Volumenkontraktion und zwischenmolekulare Wechselwirkungen aufgrund der Spezifität und Verteilung in verschiedensten Lehrbüchern zunächst eine Zusammenfassung aus vielen verschiedenen Quellen erfolgen musste. Grundlage der Explikation war somit eine Zusammenfassung mehrerer originaler Quellen. Aufgrund der Fülle an fachlichen Zusammenhängen wurden für die Strukturierung nur die Konzepte und Denkfiguren abgeleitet, die den untersuchten Gesprächsausschnitt betreffen.

Die Untersuchung der Lernerperspektiven wurde sehr breit angelegt und subsummiert eine Reanalyse empirische Befunde zu Lernervorstellungen, die Entwicklung der Lernervorstellungen innerhalb der Ko-Konstruktionsprozesse und die Befragung einzelner Schüler zum individuellen Lernprozess und zur Rolle der Lehrkraft. Für die letzten beiden Punkte wurde die qualitative Inhaltsanalyse nach Gropengießer (2005) und nach Mayring (2015) mit induktiver und deduktiver Kategorienbildung angewendet.

Die Reanalyse empirischer Befunde zu Lernervorstellungen (nach Klauer, 2006) fasst etliche Befunde zum Aussehen und Aufbau der Atome, zur Form und Geometrie von Molekülen sowie zu zwischenmolekularen Kräften zusammen. Studien zu Lernervorstellungen zur Erklärung der Beobachtungen zum Streuverfahren von Rutherford wurden bei der Recherche nicht gefunden. Auch zu den Lernervorstellungen zur Volumenkontraktion bei der Lösung von Ethanol und Wasser wurde nur eine Untersuchung (mit 11-Jährigen) in der Reanalyse erfasst. Aufgrund der geringen Passung der Probanden und der Inhalte konnten zu den identifizierten Lernervorstellungen in dieser Studie nur wenige Bezüge hergestellt werden. Ergiebiger war die Zusammenfassung von Diskussionen und Empfehlungen zu Vermittlungsprozessen der untersuchten Inhalte. Hier zeigt die Reanalyse einige Aspekte, welche die Befunde in dieser Studie stützen. Beispielsweise die kontroverse Diskussion um den Einsatz des Kugelteilchenmodells zur Erklärung der Volumenkontraktion.

Bei der inhaltlichen Analyse der Gespräche wurden die Vorstellungen der Lernenden ernst genommen und dem konstruktivistischen Verständnis folgend den Vorstellungen der Wissenschaftler als gleichberechtigt gegenübergestellt. Die Strukturierung der Vorstellungen führt auf dieselbe Ebene (Konzepte) und ist Bedingung für deren Vergleich und Ableitungen zur inhaltlichen Veränderung der Lernervorstellungen. Für diese Untersuchungsaufgabe wurde deshalb dieselbe Methode (qualitative Inhaltsanalyse nach Gropengießer, 2005) genutzt. Zu beachten ist hier, dass zur Auswertung größtenteils einzelne Aussagen verschiedener Lerner vorlagen. Diese wurden als gemeinsam geteilte Vorstellungen im Sinne eines Ko-Konstruktionsprozesses verstanden. Da in der Fragestellung der Ko-Konstruktionsprozess in einer moderierten Schülerdiskussion untersucht wird, wurden die geäußerten Vorstellungen innerhalb der Gesprächsausschnitte für die Analyse genutzt.

Die formale Analyse der Gespräche wurde mit der qualitativen Inhaltsanalyse (nach Mayring, 2015) durchgeführt, um zu untersuchen, ob Kriterien erfolgreicher Ko-Konstruktion vorliegen. Aus der Literatur wurde ein Kategoriensystem verwendet, mit dem die Beiträge der Schüler auf die Merkmale hin überprüft werden konnten. Aufgrund der Frage nach der Funktion der Lehrerbeiträge in den moderierten Schülerdiskussionen wurde das Kategoriensystem auch auf

Lehrerbeiträge angewendet und um zwei neue Kategorien ergänzt, die aus den eigenen Daten abgeleitet wurden. Das differenzierte Kategoriensystem ließ eine genaue Analyse der Gespräche zu und es konnten auch Gesprächsmuster, im Sinne von Häufungen und Verteilungen von Beiträgen identifiziert und hinsichtlich der Wirkung interpretiert werden.

Ein induktives Vorgehen (qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring, 2015) wurde bei der Auswertung von leitfadengestützten Interviews mit Schülern zum individuellen Lernprozess und zur Rolle der Lehrkraft in den Gesprächen genutzt. Da der Lernprozess und die Wahrnehmungen zur Lehrkraft individuell und zunächst unbekannt sind, wurden die Kategorien induktiv aus den Datenmaterial abgeleitet. Der Fokus lag dabei auf dem Beitrag der Schülerdiskussionen zum individuellen Lernprozess. Die Ergebnisse der retrospektiven Befragung zeigen förderliche Bedingungen für den Lernprozess und wie Schüler die Rolle der Lehrkraft bei der Moderation der Gespräche wahrnehmen. Da die Interviews unmittelbar nach dem Unterricht stattfanden, konnten sich die Schüler leicht erinnern. Die Angabe von drei Schülern, keine Wahrnehmung zur Rolle der Lehrkraft formulieren zu können, kann als Hinweis für aufrichtige Antworten, im Sinne, dass Schüler nichts „erfinden“, gewertet werden. Es könnte auch daran liegen, dass es für Schüler ungewohnt ist, auf die Aktivitäten der Lehrkraft zu achten oder dass es für die Schüler zu schwer war, eine Metaebene einzunehmen. Generell gilt für die Ergebnisse der Interviews, dass trotz einer offenen und problemzentrierten Interviewtechnik bei einer retrospektiven Befragung Effekte einer sozialen Erwünschtheit oder ein Hawthorne-Effekt nicht völlig auszuschließen sind (Paul et al., 2016). Für die Güte der Schüleraussagen spricht die hohe Übereinstimmung mit den Zielen und Methoden der Lehrkraft, was der Vergleich von Lernerperspektiven und didaktischer Strukturierung zeigt (vgl. Kap. 8.3).

Die qualitative Inhaltsanalyse (nach Mayring, 2015) hat sich auch bei der Auswertung der Interviews mit der Lehrkraft bewährt. Bei dem induktiven Vorgehen konnten großen Materialmengen mit Hilfe einer QDA-Software strukturiert bearbeitet werden und ein begründetes und differenziertes Vorgehen im Umgang mit Schülervorstellungen am untersuchten Fall aufzeigen.

Abschließend soll die Frage nach der Verallgemeinerbarkeit der Daten kritisch betrachtet werden. Generell ist die Einzelfallorientierung ein typisches Merkmal qualitativer Forschung (Mayring, 2015, S. 20). Daher muss die Gültigkeit der Ergebnisse aufgezeigt und deren Grenzen diskutiert werden. Vorgehensweisen, um die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen, sind beispielsweise sehr detaillierte, dichte Beschreibungen einer Fallstudie oder der Einsatz von kontrastierenden Fällen (Steinke, 2007). Kuckartz (2014, S. 169) nennt weitere Strategien, die die Verallgemeinerbarkeit der Befunde erhöhen. Der Austausch

mit kompetenten Personen außerhalb des Forschungsprojektes, die kommunikative Validierung, längere und wiederholte Aufenthalte im Feld und ein mehrperspektivischer Blick auf den Forschungsgegenstand im Sinne einer Triangulation. Die zuletzt genannten Strategien haben in dieser Studie Anwendung gefunden (vgl. Kap. 4, Punkt 10), dennoch ist zu berücksichtigen, dass mit der Lehrkraft ein Einzelfall untersucht wurde und die Anzahl der befragten Schüler (n = 13) gering ist.

Die Ergebnisse der Lehrerinterviews bilden Erfahrungen aus der Praxis der Lehramtsausbildung ab, da für die fachdidaktische Forschung Lehrende die „primären Quellen für die Erkenntnis über Vermittlungsprozesse“ sind (Kattmann, 2007, S. 102). Die ausgewählte Lehrkraft setzt die Ziele, Strategien und Methoden zum Umgang mit Schülervorstellungen seit vielen Jahren selbst ein und vermittelt diese in der Ausbildung von Studienreferendaren. Auf Grundlage eines konstruktivistischen Lehr-Lernverständnis orientiert sich die Unterrichtsplanung an einem kompetenzorientierten Planungsinstrument (Koblenzer Lehr-Lern-Modell; Leisen, 2011). Da die Ergebnisse dieser Studie an vielen Stellen den Empfehlungen der fachdidaktischen Literatur folgen (vgl. Kap. 2 und 6.1), unterstützt dies eine mögliche Verallgemeinerbarkeit im Hinblick auf ein konkretes Vorgehen in der Unterrichtspraxis, wie Schülervorstellungen zum Lernmittel werden können. Hinzu kommt, dass durch die Erfahrungen in der Lehramtsausbildung die befragte Lehrkraft ihr Vorgehen ausgehend von einer konkreten Unterrichtsszene auch in einer allgemeinen Form schilderte. Die ermittelten Vorgehensweisen und Methoden der befragten Lehrkraft können im Sinne von best-practice-Erfahrungen in allgemeine Empfehlungen für die Unterrichtspraxis münden (vgl. Punkt 8.5).

Darüber hinaus können aus den Ergebnissen der Lehrerinterviews weitere Forschungsfragen abgeleitet werden. Die ermittelten Kategorien können beispielsweise für quantitative Studien genutzt werden oder es kann qualitativ untersucht werden, ob bei anderen Ausbildern das Kategoriensystem ebenso bestätigt werden kann.

Die untersuchten Ko-Konstruktionsprozesse, insbesondere der spezifische Ablauf der Gespräche, die Lehreraktivitäten und Schülerbeiträge in den Diskussionen sind Einzelfälle, die exemplarisch aufzeigen, wie Schülervorstellungen zum Gegenstand von Ko-Konstruktion im Unterrichtsgespräch werden können. Die Ergebnisse aus der formalen Analyse (Gesprächsmuster) können Ausgangspunkt für weiterführende Fragestellungen sein. Zum Beispiel indem untersucht wird, ob solche Muster in anderen unterrichtlichen Kontexten ebenso auftreten und welche Auswirkungen zu beobachten sind.

In Bezug auf die inhaltliche Analyse der Lernerperspektiven argumentiert Gropengießer (2007, S. 148), dass eine Verallgemeinerung der Ergebnisse aus leitfadenzentrierten Interviews durch die Kategorienbildung und die Strukturierung der Vorstellungen in Konzepte vorgenommen werden kann. Diese Voraussetzungen liegen aufgrund des Forschungsgegenstandes in dieser Studie nur bedingt vor, da in den videographierten Gesprächen größtenteils einzelne Aussagen verschiedener Lerner zur Verfügung standen. Diese wurden als gemeinsam geteilte Vorstellungen im Sinne eines Ko-Konstruktionsprozesses verstanden (siehe Punkt 9.2).

Die Verallgemeinerbarkeit der Aussagen der interviewten Schüler zum eigenen Lernprozess und zur Rolle der Lehrkraft muss vorsichtig bewertet werden. Das Kategoriensystem zum Lernprozess müsste mit größeren Stichproben oder in einer quantitativen Studie untersucht werden, um die Ergebnisse verallgemeinern zu können. Die Beschreibungen der Schüler zur Rolle der Lehrkraft in den Gesprächen decken sich an vielen Stellen mit den Ergebnissen der Lehrerinterviews. Dies unterstützt zwar eine Verallgemeinerbarkeit der Befunde, dennoch müssten weitere Belege in Anschlussstudien ermittelt werden.

9.3 Relevanz der Studie für die fachdidaktische Forschung

In der Studie konnte das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als Forschungsrahmen und Evaluationsinstrument genutzt werden. Im Zentrum stand die Frage nach dem lernförderlichen Umgang mit Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch. Hier knüpft die Studie an das etablierte Feld der Forschungen zu Schülervorstellungen an und nutzt Lehrende als Quelle für die Untersuchung von Vermittlungsprozessen. Gleichzeitig verknüpft die Studie Forschung und Unterrichtspraxis, indem sie der Frage nachgeht, wie mit Schülervorstellungen im Chemieunterricht konkret gearbeitet werden kann, das heißt, wie Schülervorstellungen zum Lernmittel werden können. Die Fokussierung der Fragestellung auf das Unterrichtsgespräch greift einen bislang noch wenig untersuchten Aspekt in der Forschung zu Schülervorstellungen auf. Dadurch wird die soziale Interaktion im Sinne von Ko-Konstruktionsprozessen in den Vordergrund gerückt. Hier kann die Studie Impulse geben, die Rolle von Ko-Konstruktion in der fachdidaktischen Forschung, zum Beispiel ihre Bedeutung bei der Rekonstruktion von Vorstellungen zu diskutieren.

Die Befunde stellen ein differenziertes Kategoriensystem zur Verfügung, welches das Ergebnis einer didaktischen Strukturierung der befragten Lehrkraft in übergeordneten Strategien, Zielen und Methoden im Umgang mit Schülervorstellungen abbildet. Aus vorliegenden Kriterien zur Ko-Konstruktion wurde ein Evaluationsinstrument entwickelt, mit dem in Folgestudien Gesprächsbeiträge

von weiteren Schülern und Lehrkräften hinsichtlich ihres Beitrags zu Ko-Konstruktion untersucht werden könnten. Die mehrperspektivische Betrachtung und Nutzung verschiedener Datenquellen zeigt am Beispiel des Chemieunterrichts das komplexe Zusammenspiel von Lehrer- und Schülerbeiträgen in Ko-Konstruktionsprozessen und stellt die Bedeutung einer aktiven Lehrersteuerung von Unterrichtsgesprächen heraus. Aus den Ergebnissen können konkrete Empfehlungen für den Umgang mit Schülervorstellungen im ko-konstruktiven Unterrichtsgesprächen abgeleitet werden (vgl. Punkt 8.5).

10 Zusammenfassung

Ausgehend von dem Bedarf in der Lehreraus- und weiterbildung zum Umgang mit Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch hat sich diese Studie zum Ziel gesetzt, am Beispiel des Chemieunterrichts das komplexe Zusammenwirken von Lehrer- und Schülerbeiträgen vor dem Hintergrund ko-konstruktiver Lernprozesse zu untersuchen.

Es wurde ein Theorierahmen gewählt (Kap. 2), der Lernprozesse auf der Grundlage des moderaten Konstruktivismus erklärt und über die soziale Interaktion die Verbindung zu Ko-Konstruktionsprozessen herstellt. Der Conceptual Change-Ansatz begreift Lernen als Veränderung von Vorstellungen und beschreibt förderliche Bedingungen für Lernprozesse. Daraus werden Folgerungen wie Kennzeichen von konstruktivistischen Lernumgebungen und die Bedeutung von Schülervorstellungen als Lernmittel aufgezeigt. Der Begriff der Ko-Konstruktion wird für diese Arbeit definiert und auf Lernprozesse in Gruppen angewendet. Kennzeichen von ko-konstruktiven Gesprächen greifen den Umgang von Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch auf und leiten zur Bedeutung der Gesprächsführung durch die Lehrkraft über.

Die Fragestellungen (Kap. 3) greifen die Komplexität des Forschungsgegenstandes auf, indem sie mehrere Ebenen betrachten. Auf der Ebene der Gespräche werden zum einen die Inhalte der Lehrer- und Schülerbeiträge und zum anderen die Funktion der Beiträge im Ko-Konstruktionsprozess untersucht. Die Ebene der Lernenden zeigt individuelle Lernprozesse und die Wahrnehmung zur Rolle der Lehrkraft in den Gesprächen. Die Ebene der Lehrkraft bildet den Schwerpunkt der Untersuchung. Ihre Ziele und Methodenentscheidungen sind Gegenstand der Fragen zur didaktischen Strukturierung. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion wurde als Forschungsrahmen gewählt (Kap. 4), da es durch das Triplet von fachlicher Klärung, Lernerperspektiven und didaktischer Strukturierung die Fragestellungen mehrperspektivisch erfassen kann. Die Datenerhebung und -auswertung erfolgte mit verschiedenen Varianten der qualitativen Inhaltsanalyse.

Auf Grundlage der fachlichen Klärung (Kap. 5) konnten die Lernerperspektiven (Kap. 6) untersucht werden. Die inhaltliche Analyse der Gespräche zeigte, dass Lernprozesse stattfinden und dass die Schüler fachwissenschaftliche Erklärungen für die chemischen Fragestellungen entwickeln. Die formale Analyse zeigte auf, dass die Beiträge von Schülern und der Lehrkraft die Kriterien von erfolgreichen, ko-konstruktiven Gesprächen erfüllen. Identifizierte Gesprächsmuster und Detailanalysen von Lehrer- und Schülerbeiträgen zeigen exemplarisch förderliche Bedingungen für Ko-Konstruktionsprozesse auf.

Die retrospektive Untersuchung der didaktischen Strukturierung der Lehrkraft (Kap. 7) stellt den Umgang mit Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch in den Fokus. Es konnte ein differenziertes Vorgehen mit konkreten Strategien, Prinzipien, Zielen und Methoden ermittelt werden. Dabei wurde die Bedeutung einer aktiven Lehrerlenkung in ko-konstruktiven Gesprächen deutlich. Grundlage für die Qualität der Lenkung ist eine ausgeprägte Fähigkeit zur Diagnose und zum Scaffolding sowie die flexible, situationsgerechte Anwendung eines Methodenrepertoires zur Gesprächsführung.

Mit dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion wurden die Ergebnisse der verschiedenen Perspektiven abschließend in Beziehung gesetzt und vergleichend diskutiert (Kap. 8). Die Aussagen der Lernenden zu ihren individuellen Lernprozessen und zur Rolle der Lehrkraft spiegeln an vielen Stellen die Ziele der Lehrkraft wieder. Es wird weiterhin deutlich, dass Ko-Konstruktionsprozesse durch gelenkte Schülerdiskussionen gezielt gefördert werden können. Dabei steht das Verhandeln von verschiedenen Vorstellungen im Mittelpunkt, die auf diese Weise zum Lernmittel für die gesamte Gruppe werden können.

Anhang

Die Dokumente zur Datenerhebung und -auswertung können bei der Autorin unter der Mailadresse anja.fendt@uni-bamberg.de angefragt werden.

Literatur

- AAAS. (2001). Atlas of scientific literacy. Washington DC: American Association for the Advancement of Science (AAAS).
- Albanese, A., & Vicentini, M. (1997). Why do we believe that an atom is colourless? Reflections about the teaching of the particle model. *Science & Education*, 6(3), 251–261. Unter: <http://doi.org/10.1023/A:1017933500475> (Abruf 7.7.18)
- Alexander, R. (2012). *Culture, Dialogue and Learning: Note on an Emerging Pedagogy*. Los Angeles: Sage Publications.
- Ames, G. J., & Murray, F. B. (1982). When two wrongs make a right: Promoting cognitive change by social conflict. *Developmental Psychology*, 18(6), 894.
- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations. *Studies in Science Education*, 18, 53–85.
- Andrade, E. N. da C. (1965). *Rutherford und das Atom*. München: Kurt Desch Verlag.
- Anton, M. A. (2008). *Kompendium Chemiedidaktik*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt Verlag.
- Arnold, J., Kremer, K., & Mayer, J. (2013). Wissenschaftliches Denken beim Experimentieren–Kompetenzdiagnose in der Sekundarstufe II. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 11, 7–20.
- Arnold, J., Kremer, K., & Mayer, J. (2016). Scaffolding beim Forschenden Lernen. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*. Unter: <http://doi.org/10.1007/s40573-016-0053-0> (Abruf 7.7.18)
- Asselborn, W., Jäckel, M., & Risch, Karl, T. (2012). *Chemie heute Bayern 8*. Braunschweig: Schroedel Verlag.
- Atkins, P. W. (2001). *Physikalische Chemie (3. Auflage)*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH.
- Baars, G., & Christen, H.-R. (1995). Die Teilchenvorstellung - ein Unmodell? *Chemie in Der Schule*, 3, 113–114.
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik - Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin: Springer-Verlag.
- Barke, H.-D., & Harsch, G. (2011). *Chemiedidaktik kompakt*. In *Chemiedidaktik kompakt*. Springer.

- Barnes, D. (2008). Exploratory Talk for Learning. In N. Mercer & S. Hodgkinson (Hrsg.), *Exploring Talk in Schools*, 1–16, Los Angeles: Sage Publications.
- Barnes, D., & Todd, F. (1995). *Communication and Learning Revisited - Making Meaning through talk*. Portsmouth: Boyton/Cook Publishers.
- Bauersfeld, H. (1978). Fallstudien und Analysen zum Mathematikunterricht: Festschrift für Walter Breidenbach zum 85. Geburtstag. Schroedel.
- Baumbach, E. (1995). Zu "Was erklärt der Modellversuch zur Volumenkontraktion wirklich?" Untersuchungen mit einer Schülergruppe. *Chemie in Der Schule*, 4, 158–159.
- Bayer, H. J. (1985). Schülervorstellungen über das Atom in der Sekundarstufe II. In H. Mikelskis (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie*, 266–267, Alsbach.
- Becker-Mrotzek, M. (2012). Unterrichtskommunikation als Mittel der Kompetenzentwicklung. In M. Becker-Mrotzek (Hrsg.), *Mündliche Kommunikation und Gesprächsdidaktik*, 2. Auflage, 103–115, Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Beinbrech, C., Kleickmann, T., Tröbst, S., & Möller, K. (2009). Wissenschaftliches Begründen durch Schülerinnen und Schüler und die Rolle der Lehrkraft. *Zeitschrift Für Grundschulforschung*, 2(2), 139–155.
- Berland, L. K., & Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*, 93(1), 26–55.
- Bethge, K., & Gruber, G. (1990). *Physik der Atome und Moleküle*. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft mbH.
- Bethge, T. (1992). Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Begriffen der Atomphysik. In H. Fischler (Hrsg.), *Quantenphysik in der Schule*, 215–233, IPN.
- Bibliographisches Institut GmbH. (2016). Duden. Unter: www.duden.de (Abruf 7.7.18)
- Bindernagel, J. A., & Eilks, I. (2009). Lehr(er)wege zu Teilchen und Atomen. *Unterricht Chemie*, 20(114), 9–14.
- Bittner, S. (2006). *Das Unterrichtsgespräch*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt Verlag.
- Boer, H. De. (2015). Lernprozesse in Unterrichtsgesprächen. In *Gespräche über Lernen - Lernen im Gespräch* (pp. 17–36). Wiesbaden: Springer Verlag. Unter: <http://doi.org/10.1007/978-3-658-09696-0> (Abruf 7.7.18)

- Brandt, B. (2015). Partizipation in Unterrichtsgesprächen. In Lernprozesse in Unterrichtsgesprächen, 37–60, Wiesbaden: Springer Verlag.
- Brandt, B., & Höck, G. (2011). Ko-Konstruktion in mathematischen Problemlöseprozessen–partizipationstheoretische Überlegungen. In: Die Projekte erStMaL und MaKreKi. Mathematikdidaktische Forschung am „center for individual development and adaptive education “(IDeA), 245–284.
- Bruner, J. S. (1975). From communication to language—a psychological perspective. *Cognition*, 3(3), 255–287.
- Buck, P. (1985). Symptomatische Halbwahrheiten IV; Kohäsion. *Chimica Didactica*, 11(1985), 125–132.
- Buck, P. (1994). Die Teilchenvorstellung - ein “Unmodell.” *Chemie in der Schule*, 11, 412–416.
- Chan, C. K. K. (2001). Peer collaboration and discourse patterns in learning from incompatible information. *Instructional Science*, 29, 443–479.
- Chaplin, M. F. (2000). A proposal for the structuring of water. *Biophysical Chemistry*, 83(3), 211–221.
- Chen, H.-W., & Tu, C.-H. (2005). No Title. *Chem.Eng.Data*, 50(4), 1262–1269.
- Chi, M. H. T. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery. In R. N. Giere (Ed.), *Cognitive models of science*, 129–186, Mineapolis: University of Minnesota Press.
- Chittleborough, G., & Treagust, D. F. (2007). The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 274. Unter : <http://doi.org/10.1039/b6rp90035f> (Abruf 7.7.18)
- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1988). Cognitive apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing and mathematics. *Thinking: The Journal of Philosophy for Children*, 8(1), 2–10.
- Crowther, J. G. (1974). *The Cavendish Laboratory, 1874-1974*. Science History Publications.
- Damşa, C. I., & Ludvigsen, S. (2016). Learning trough interaction and co-construction of knowledge objects in teacher education. *Learning, Culture and Social Interaction*, 11, 1–18.
- Dawes, L. (2004). Talk and learning in classroom science. *International Journal of Science Education*, 26(6), 677–695.

- De Jong, T., & Van Joolingen, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179–201. Unter : <http://doi.org/10.3102/00346543068002179> (Abruf 7.7.18)
- De Vos, W., & Verdonk, A. H. (1996). The particulate nature of matter in science education and in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), 657–664.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift Für Pädagogik*. Unter: <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004> (Abruf 7.7.18)
- Deißenberger, H. (2007). *Natürlich! Chemie 8 NTG*. (Deißenberger Horst, Hrsg.). Bamberg: Buchners Verlag.
- Dierks, W. (1990). An approach to the educational problem of introducing the discontinuum concept in secondary chemistry teaching and an attempted solution. In P. L. Lijnse, P. Licht, W. de Vos, & A. J. Waarlo (Hrsg.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*, 177–182, Utrecht.
- Dixit, S., Crain, J., Poon, W. C. K., Finney, J. L., & Soper, A. K. (2002). Molecular segregation observed in a concentrated alcohol–water solution. *Nature*, 416(6883), 829–832.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Scott, P., & Mortimer, E. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5–12.
- Duit, R. (1992). Teilchen- und Atomvorstellungen. In H. Fischler (Hrsg.), *Quantenphysik in der Schul*, 201–214, Kiel: IPN.
- Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(5), 905–923.
- Duit, R. (2015). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In *Physikdidaktik*, 657–680, Springer.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Learning in Science - From Behaviourism Towards Social Constructivism and Beyond. *International Handbook of Science Education*, 1, 3–25.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003a). Conceptual change - A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688.

- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003b). Learning in Science - From Behaviourism Towards Social Constructivism and Beyond. *International Handbook of Science Education*, 1, 3–25.
- Egbers, M., & Marohn, A. (2014). Schülervorstellungen verändern. Lernaufgaben Entwickeln, Bearbeiten und Überprüfen: Ergebnisse und Perspektiven fachdidaktischer Forschung, 120.
- Eilks, I. (2001). Ein etwas anderer Weg zum Streuversuch von Rutherford. *Praxis der Naturwissenschaften-Chemie in der Schule*, 50(3), 14–16.
- Eilks, I., & Moellering, J. (2001). Neue Wege zu einem fächerübergreifenden Verständnis des Teilchenkonzepts. *Der Mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 54, 421–427.
- Felten, M., & Stern, E. (2014). *Lernwirksam unterrichten*. Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (2011). *Six easy pieces: Essentials of physics explained by its most brilliant teacher*. Basic Books.
- Fischler, H., & Lichtfeldt, M. (1997). Teilchen und Atome. *Unterricht Physik*, 8(Nr. 41), 4–8.
- Fischler, H., & Reiners, C. (2006). Teilchenmodelle im Physik- und Chemieunterricht. In H. Fischler & C. S. Reinders (Hrsg.), *Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht*, 5–25, Berlin: Logos Verlag.
- Flick, U. (1987). Methodenangemessene Gütekriterien in der qualitativ-interpretativen Sozialforschung. In J. B. Bergold & U. Flick (Hrsg.), *Ein-Sichten*, S. 247–262, Tübingen: dtgv.
- Flick, U. (2007). *Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung*. Reinbeck bei Hamburg: Rowolt Verlag.
- Flick, U. (2009). *Sozialforschung. Methoden und Anwendungen. Ein Überblick für die BA-Studiengänge*. Reinbeck bei Hamburg: Rowolt Verlag.
- Friedrich, G. (2002). Gesprächsführung - Ausbildungsziel der Lehrerqualifikation. In G. Brünner, R. Fiehler, & W. Kindt (Hrsg.), *Angewandte Diskursforschung* (Vol. 2, pp. 126–147). Radolfzell: Verlag für Gesprächsforschung. Unter: <http://www.verlag-gespraechsforschung.de/2002/diskursforschung/2-126-147.pdf> (Abruf: 7.7.18)
- Fthenakis, Wassilios, E. (2009). Ko-Konstruktion: Lernen durch Zusammenarbeit. *Kinderzeit*, 3, 8–13.
- Geiseler, G. (1977). *Die Wasserstoffbrückenbindung*. Berlin: Akademie-Verlag.

- Gerstenmaier, J., & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift Für Pädagogik*, 41(6), 867–888.
- GESTIS Stoffdatenbank. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (Hrsg.). Unter: <http://www.dguv.de/ifa%3B/GESTIS/GESTIS-Stoffdatenbank/index.jsp> (Abruf 7.7.18)
- Glaserfeld, E. von. (1981). Einführung in den radikalen Konstruktivismus. Die Erfundene Wirklichkeit. München, 13–38.
- Grayson, D. J. (1996). Concept substitution: A strategy for promoting conceptual change. *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*, 152–161.
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 611–628.
- Gropengießer, H. (1997). Didaktische Rekonstruktion des Sehens: wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung. Didaktisches Zentrum, Carl-von-Ossietzky-Univ.
- Gropengießer, H. (2005). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In P. Mayring & M. Glaeser-Zikuda (Hrsg.), *Die Praxis der qualitativen Inhaltsanalyse*, 172–189, Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Gropengießer, H. (2007). *Didaktische Rekonstruktion des Sehens* (2. Auflage). Oldenburg: Didaktisches Zentrum, Carl-von-Ossietzky-Univ.
- Gropengießer, H., & Kattmann, U. (2013). Didaktische Rekonstruktion. In H. Gropengießer (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie*, 16–23, Hallbergmoos: Aulis Verlag.
- Groß, J. (2004). Lebensweltliche Vorstellungen als Hindernis und Chance bei Vermittlungsprozessen. In H. Gropengießer, A. Janßen-Bartels, & E. Sander (Hrsg.), *Didaktische Rekonstruktion in der Biologie*, 119–130, Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Groß, J. (2007). *Biologie verstehen: Wirkungen außerschulischer Lernangebote*. Didaktisches Zentrum, Carl-von-Ossietzky-Universität
- Groß, J., & Gropengießer, H. (2003). Erfassung von Lernprozessen mittels retrospektiver Befragung in Natur- und Erlebniswelten. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 91–102.
- Habelitz-Tkotz, W. (2006). Alles Teilchen - oder was? *Unterricht Chemie*, 17(Nr. 94/96), 20–25.

- Hadenfeldt, J. C., & Neumann, K. (2011). Materie verstehen - aber wie? *Naturwissenschaften Im Unterricht Chemie*, 22(Nr. 124/125), 87–91.
- Hadenfeldt, J. C., & Neumann, K. (2012). Die Entwicklung von Verständnis im Umgang mit dem Materiekonzept. Unter: http://www.ipn.uni-kiel.de/de/forschung/projekte/komp_entw_materie/Modell_Homepage.pdf (Abruf 7.7.18)
- Haken, H., & Wolf, C. (1990). *Atom- und Quantenphysik*. Berlin: Springer Verlag.
- Hardman, F. (2008). The Guided Co-construction of Knowledge. In *Encyclopedia of language and education*, 253–263, New York: Springer US.
- Harms, U., & Kattmann, U. (2013). Sprache. In H. Gropengießer, U. Harms, & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie*, 378–389, Hallbergmoos: Aulis Verlag.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), 509–534. Unter : [http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199609\)80:5<509::AID-SCE2>3.0.CO;2-F](http://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199609)80:5<509::AID-SCE2>3.0.CO;2-F) (Abruf 7.7.18)
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2002). The particulate nature of matter: Challenges in understanding the submicroscopic world. In J. Gilbert, J. van Driel, O. de Jong, R. Justi, & D. F. Treagust (Eds.), *Chemical education: Towards research-based practice*, 189–212, Dordrecht: Kluwer.
- Haupt, P. (1990). Atome – mit Rucksack, Hut und Wanderstock. Über die Veranschaulichung mit Modellen. *Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie*, 4/1, 26–30.
- Helmke, A., & Schrader, F.-W. (2008). Merkmale der Unterrichtsqualität: Potenzial, Reichweite und Grenzen. *Seminar*, (3), 69–108.
- Hewson, P. W., & A'Beckett Hewson, M. (1984). The Role of Conceptual Conflict in Conceptual Change and the Design of Science Instruction. *Instructional Science*, 13(1), 1–13.
- Höck, G. (2015). *Ko-Konstruktive Problemlösegespräche im Mathematikunterricht*. Münster: Waxmann Verlag.
- Hock, K., Rauch, B., & Anton, M. A. (2008). Teilchenmodell im Fach "Natur und Technik." *Chemie in Der Schule*, 8(57), 34–38.
- Holleman, A. E., & Wiberg, N. (2007). *Lehrbuch der anorganischen Chemie*. Berlin: de Gruyter.

- Hört, M., & Buck, P. (2003). Wie führen Chemielehrer an Realschulen in Baden-Württemberg Teilchen- und Atomvorstellungen im Chemieunterricht ein. *Chimica Didactica*, 29(92), 137–164.
- Howe, C. (2009). Collaborative group work in middle childhood: Human Development, 52(4), 215–239. Unter: <http://doi.org/10.1159/000215072> (Abruf 7.7.18)
- Huheey, J., Keiter, E., & Keiter, R. (2014). *Anorganische Chemie*. Berlin: de Gruyter.
- Hüttner, R. (1996). Sind die Volumenkontraktionsversuche geeignete Stationen auf dem Weg zur Teilchenvorstellung? *Chemie in der Schule*, 11, 398–403.
- Huwendiek, V. (2014). Gesprächsformen. In G. Bovet & V. Huwendiek (Hrsg.), *Leitfaden Schulpraxis - Pädagogik und Psychologie für den Lehrberuf*, 86–92.
- IUPAC, Compendium of Chemical Terminology. Unter: <http://goldbook.iupac.org> (Abruf 7.7.18)
- Jahnke-Klein, S. (1998). Der fragend-entwickelnde Unterricht - nichts für Mädchen? Zentrum Für Pädagogische Berufspraxis, 1998, 40–47. Unter: <http://www.staff.uni-oldenburg.de/sylvia.jahnke.klein/download/Fragend-entwickelnderUnterricht.pdf> (Abruf 7.7.18)
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry - logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 9–15.
- Justi, R., & Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of “the atom.” *International Journal of Science Education*, 22(9), 993–1009. Unter : <http://doi.org/10.1080/095006900416875> (Abruf 7.7.18)
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessel, T. M. (2000). *Principles of neural science*. New York: McGraw-Hill.
- Kattmann, U. (2005). Lernen mit anthropomorphen Vorstellungen - Ergebnisse von Untersuchungen zur Didaktischen Rekonstruktion in der Biologie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 165–174. Unter: ftp://ftp.ipn.uni-kiel.de/pub/zfdn/2005/11.Kattmann_165-174.pdf (Abruf 7.7.18)
- Kattmann, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion - eine praktische Theorie. In *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*, 93–103, Berlin: Springer.
- Kattmann, U. (2015). *Schüler besser verstehen*. Hallbergmoos: Aulis Verlag.

- Kattmann, U. (2017). Die Bedeutung von Alltagsvorstellungen für den Biologieunterricht. In U. Kattmann (Hrsg.), *Biologie unterrichten mit Alltagsvorstellungen*, 6–13, Seelze: Klett Kallmeyer.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3–18.
- Kircher, E. (1986). Vorstellungen über Atome. *Naturwissenschaften Im Unterricht Chemie / Physik*, 34(13), 34–37.
- Kirchhoff, H.-W. (2001). *Vorstellung vom Atom 1800-1934, von Dalton bis Heisenberg: zur Geschichte und Didaktik*. Köln: Aulis-Verlag Deubner.
- Kirchhoff, T. (2012). Was ist Naturphilosophie? Unter: www.naturphilosophie.org (Abruf 7.7.18)
- Klauer, K. J. (2006). Forschungsmethoden der Pädagogischen Psychologie. In *Pädagogische Psychologie*, 75–97, Weinheim: Beltz Verlag.
- Kleickmann, T., Vehmeyer, J., & Möller, K. (2010). Zusammenhänge zwischen Lehrervorstellungen und kognitiven Strukturieren im Unterricht am Beispiel von Scaffolding-Maßnahmen. *Unterrichtswissenschaft*, 38, 210–228. Unter: http://www.uni-ms.de/imperia/md/content/didaktik_des_sachunterrichts/dokumente/literaturmoeller/kleickmann_vehmeyer_m__ller_2010_.pdf (Abruf 7.7.18)
- Klieme, E., & Rakoczy, K. (2008). Empirische Unterrichtsforschung und Fachdidaktik. Outcome-orientierte Messung und Prozessqualität des Unterrichts. *Zeitschrift für Pädagogik*, 54(2), 222–237.
- Klieme, E., Avenarius, H., Blum, W., Döbrich, P., Gruber, H., Prenzel, M., Tenorth, H.-E. (2003). *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Eine Expertise*. BMBF.
- KMK. (2005). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, Hrsg.). München, Neuwied.
- Knorr-Cetina, K. D. (1981). *The manufacture of knowledge: An essay on the constructivist and contextual nature of science*. Oxford: Pergamon Press.
- Knote, H. (1975). Zur Atomvorstellung bei Dreizehn-bis Fünfzehnjährigen. *Der Physikunterricht*, 4, 86–96.

- Kobarg, M., Prenzel, M., & Schwindt, K. (2009). Stand der empirischen Unterrichtsforschung zum Unterrichtsgespräch im naturwissenschaftlichen Unterricht. In Michael Becker-Mrotzek (Hrsg.): *Mündliche Kommunikation und Gesprächsdidaktik*. Baltmannsweiler: Schneider-Verlag Hohengehren, 408–426.
- Kolenda, S. (2010). *Unterricht als bildendes Gespräch*. Michigan: Opladen und Farmington Hills.
- Krippendorff, K. (1980). Validity in content analysis.
- Krüger, D. (2007). Die Conceptual Change-Theorie. In *Theorien in der biologie-didaktischen Forschung*, 81–90.
- Kuckartz, U. (2014). *Qualitativ Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Weinheim und Basel: Beltz Juventa.
- Kullmann, K. (1994). Was erklärt der „Modellversuch zur Volumenkontraktion“ wirklich? *Chemie in der Schule*, 12, 470–471.
- Kumpulainen, K., & Kaartinen, S. (2000). Situational mechanisms of peer group interaction in collaborative meaning-making: Processes and conditions for learning. *European Journal of Psychology of Education*, 15(4), 431–454.
- Kunter, M., Klusmann, U., Baumert, J., Richter, D., Voss, T., & Hachfeld, A. (2013). Professional competence of teachers: Effects on instructional quality and student development. *Journal of Educational Psychology*, 105(3), 805–820. Untetr : <http://doi.org/10.1037/a0032583> (Abruf 7.7.18)
- Labudde, P. (2000). *Konstruktivismus im Physikunterricht der Sekundarstufe II*. Haupt.
- Law, L.-C., & Wong, K.-M. P. (1996). Expertise und instructional Design. In *Expertiseforschung*, 115–147, Springer.
- Lazarou, D., Sutherland, R., & Erduran, S. (2016). Argumentation in science education as a systemic activity: An activity-theoretical perspective. *International Journal of Educational Research*, 79, 150–166.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of Science : Past, Present, and Future. *Handbook of Research on Science Education*, 831–879. Unter : <http://doi.org/> Mahwah, NJ (Abruf 7.7.18)
- Leisen, J. (2011). Kompetenzorientiert unterrichten. In *Unterricht Physik (Vol. 123/124)*. Seelze: Friedrich Verlag.
- Leisen, J. (2014). Ein guter Lehrer kann beides: Lernprozesse material und personal steuern. In G. Höhle (Hrsg.), *Was sind gute Lehrerinnen und Lehrer? Zu den professionsbezogenen Gelingensbedingungen von Unterricht*, 168–183, Magdeburg: Prolog.

- Leisen, J. (2017). Steuerung der Lernprozesse durch Moderation. Unter: <http://www.lehr-lern-modell.de/moderation> (Abruf 7.7.18)
- Lipowsky, F. (2007). Was wissen wir über guten Unterricht ? Friedrich Jahresheft, 26–29.
- Lipowsky, F. (2015). Unterricht. In E. Wild & K. Möller (Hrsg.) Pädagogische Psychologie, 69–105. Berlin: Springer.
- Liu, Y., Luo, X., Shen, Z., Lu, J., & Ni, X. (2006). Studies on molecular structure of ethanol-water clusters by fluorescence spectroscopy. *Optical Review*, 13(5), 303–307.
- Loska, R. (1995). Lehren ohne Belehrung. Leonard Nelsons Neosokratische Methode Der Gesprächsführung. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Lüders, M. (2003). Unterricht als Sprachspiel: eine systematische und empirische Studie zum Unterrichtsbegriff und zur Unterrichtssprache. Julius Klinkhardt.
- Ludwig, R. (2001). Water: from clusters to the bulk. *Angewandte Chemie International Edition*, 40(10), 1808–1827.
- Lumpe, A. T. (1995). Peer Collaboration and Concept Development: Learning about Photosynthesis. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 71–98.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*, 177–186, Berlin: Springer.
- Mayer-Kuckuk, T. (1994). *Atomphysik*. Stuttgart: Teubner Verlag.
- Mayring, P. (2002). *Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zu qualitativem Denken*. Weinheim: Beltz Verlag.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Mehan, H. (1979). *Learning lessons*. Harvard University Press Cambridge, MA.
- Mejia, S. M., Mills, J. L. M., Shaik, M. S., Mondragon, F., & Popelier, P. L. A. (2011). The dynamic behavior of a liquid ethanol–water mixture: a perspective from quantum chemical topology. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 13, 7821–7833.
- Menzel, R. (2001). Neuronale Plastizität. Lernen und Gedächtnis. In *Neurowissenschaft*, 487–526, Springer.
- Mercer, N., & Dawes, L. (2008). The value of Exploratory Talk. In N. Mercer & S. Hodgkinson (Hrsg.), *Exploring Talk in Schools*, 55–71, Los Angeles: Sage Publications.

- Mercer, N., & Hodgkinson, S. (2012). *Exploring Talk in School*. Los Angeles: Sage Publications.
- Meschede, D. (2002). *Gerthsen Physik*. Berlin: Springer Verlag.
- Meschede, N., Steffensky, M., Wolters, M., & Möller, K. (2015). Professionelle Wahrnehmung der Lernunterstützung im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht – Theoretische Beschreibung und empirische Erfassung. *Unterrichtswissenschaft*, 43(4), 317–335.
- Mikelskis-Seifert, S., & Fischler, H. (2003). Die Bedeutung des Denkens in Modellen bei der Entwicklung von Teilchenvorstellungen – Empirische Untersuchung zur Wirksamkeit der Unterrichtskonzeption. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 9, 89–103.
- Miller, M. (1986). *Kollektive Lernprozesse*. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag.
- Möller, K. (2012). Konstruktion vs. Instruktion oder Konstruktion durch Instruktion? In H. Giest, E. Heran-Dörr, & C. Archie (Hrsg.), *Lernen und Lehren im Sachunterricht - Zum Verhältnis von Konstruktion und Instruktion* (pp. 37–50). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Möller, K. (2016). Bedingungen und Effekte qualitätvollen Unterrichts – ein Beitrag aus fachdidaktischer Perspektive. In N. McElvany, W. Bos, H. G. Holtappels, M. M. Gebauer, & F. Schwabe (Hrsg.), *Bedingungen und Effekte guten Unterrichts*, 43–64, Münster: Waxmann Verlag.
- Mortimer, Eduardo, F., & Scott, Philip, H. (2003). *Meaning Making in Secondary Science Classrooms*. Maidenhead, Philadelphia: Open University Press.
- Müller, M. (1995). Der “Modellversuch zur Volumenkontraktion” - ein untaugliches Hilfsmittel. *Chemie in Der Schule*, 3, 115–116.
- Nachtigall, D. (1986). Vorstellungen im Bereich der Mechanik. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie*, 34(13), 114–118.
- Naumer, H. (1976). Die Genese der Atommodelle und deren Einführung im Unterricht. In Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (Hrsg.), *Atommodelle im naturwissenschaftlichen Unterricht*, 85–107, Weinheim: Beltz Verlag.
- Neber, H., & Anton, M. A. (2008). Förderung präexperimenteller epistemischer Aktivitäten im Chemieunterricht. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 22(2), 143–150.

- Niaz, M. (1998). From cathode rays to alpha particles to quantum of action: A rational reconstruction of structure of the atom and its implications for chemistry textbooks. *Science Education*, 82(5), 527–552. Unter : [http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199809\)82:5<527::AID-SCE1>3.0.CO;2-B](http://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199809)82:5<527::AID-SCE1>3.0.CO;2-B) (Abruf 7.7.18)
- Niebert, K., & Gropengießer, H. (2014). Leitfadengestützte Interviews. In D. Krüger (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*, 121–132, Heidelberg: Springer.
- Obst, H. (2001). *Natur und Technik Chemie 8 I*. Berlin: Cornelsen Verlag.
- Ohle, A., & McElvany, N. (2016). Erfassung von Unterrichtsqualität in der Grundschule - Kognitiver Anspruch, Strukturierung und Motivierungsqualität. In N. McElvany, W. Bos, H. G. Holtappels, M. M. Gebauer, & F. Schwabe (Hrsg.), *Bedingungen und Effekte guten Unterrichts*, 117–134, Münster: Waxmann Verlag.
- Okamiya, J. (1982). Volumenänderungen bei Mischungen und Lösungen. *Chimica Didacta*, 8(33), 33–41.
- Osborne, J. (2010). Arguing to learn in science: the role of collaborative, critical discourse. *Science (New York, N.Y.)*, 328(5977), 463–466. Unter: <http://doi.org/10.1126/science.1183944> (Abruf 7.7.18)
- Paavola, S., Lakkala, M., Muukkonen, H., Kosonen, K., & Karlgren, K. (2011). The roles and uses of design principles for developing the dialogical approach on learning. *Research in Learning Technology*, 19(3), 233–246. Unter: <http://doi.org/10.1080/21567069.2011.624171> (Abruf 7.7.18)
- Parchmann, I., Lienau, C., Klüner, T., Drögemüller, S., & Al-Shamery, K. (2010). „Kann man Atome sehen?“ - Eine Reflexion aus Sicht verschiedener Wissenschaften. “Can You See Atoms?” - A Reflection from Different Scientific Perspectives. *Chemkon*, 17(2), 59–65.
- Paul, J., Schanze, S., & Groß, J. (2016). Lernwege zum Experimentieren beim Wettbewerb Jugend forscht. *CHEMKON*, 23(4), 170–180.
- Pauli, C. (2006). Klassengespräch. Dokumentation der Erhebungs- und Auswertungsinstrumente zur schweizerisch-deutschen Videostudie “Unterrichtsqualität, Lernverhalten und mathematisches Verständnis”. *Materialien Zur Bildungsforschung*, 3, 124–147.
- Pauli, C. (2010). Klassengespräche–Eingeführung des Denkens oder gemeinsame Wissenskonstruktion selbstbestimmt lernender Schülerinnen und Schüler. *Selbstbestimmung Und Classroom Management. Empirische Befunde und Entwicklungsstrategien zum guten Unterricht*, Klinkhardt, Bad Heilbrunn, 145–161.

- Pauli, C., & Reusser, K. (2000). Zur Rolle der Lehrperson beim kooperativen Lernen. *Schweizerische Zeitschrift Für Bildungswissenschaften*, 22(3), 421–442.
- Petermann, K., Friedrich, J., & Oetken, M. (2009). Schwierigkeiten auf dem Weg ins Diskontinuum - Eine an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtseinheit zur Einführung des Kugelteilchenmodells. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 7, 22–30.
- Peterson, R. F., & Treagust, D. F. (1989). Grade-12 Students' Misconceptions of Covalent Bonding and Structure. *Journal of Chemical Education*, 66(6), 459–460. Unter: <http://doi.org/10.1021/ed066p459> (Abruf 7.7.18)
- Pfundt, H. (1981). Das Atom-letztes Teilungsstück oder erster Aufbaustein. *Chimica Didactica*, 7, 75–94.
- Pitton, A. (1997). Sprachliche Kommunikation im Chemieunterricht. In A. Gramm, N. Just, K. Möller, M. Soostmeyer, H.-J. Schlichting, & E. Sumfleth (Eds.), *Naturwissenschaften und Technik - Didaktik im Gespräch*. Münster: LIT Verlag.
- Plehn, M. (2012). Das "problematische" Erbsen-Senfkörner-Modell. *Praxis Der Naturwissenschaften Chemie in Der Schule*, 5, 36–40.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of a Scientific Condeption: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), 211–227.
- Puntambekar, S., & Hubscher, R. (2005). Tools for scaffolding students in a complex learning environment: What have we gained and what have we missed? *Educational Psychologist*, 40(1), 1–12.
- Rehm, M., & Parchmann, I. (2009). Die Welt der Atome - eine Frage ohne eindeutige Antwort. *Unterricht Chemie*, 20(114), 2–4.
- Reichspfarr, F. (1976). Das Atommodell von Rutherford. Seine didaktische Rechtfertigung und die Methodik seiner Vermittlung. *Atommodelle im naturwissenschaftlichen Unterricht*, 1, 117–141.
- Reiners, C. S. (2003). Die chemische Bindung—Lernhindernisse und mögliche Lernhilfen. *CHEMKON*, 10(1), 17–22.
- Reiners, C. S. (2017). *Chemie vermitteln*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Reinmann, G., & Mandl, H. (2006). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie*, 613–656, Beltz Weinheim.

- Reiser, B. J. (2004). Scaffolding Complex Learning: The Mechanisms of Structuring and Problematizing Student Work. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 273–304. Unter : http://doi.org/10.1207/s15327809_jls1303_2 (Abruf 7.7.18)
- Resnick, L. B. (1991). Shared cognition: Thinking as social practice.
- Reusser, K. (2001). Co-constructivism in Educational Theory and Practice. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2058–2062. Unter: <http://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.92026-9> (Abruf 7.7.18)
- Reusser, K. (2016). Jenseits der Beliebigkeit—«Konstruktivistische Didaktik» auf dem Prüfstand der empirischen Unterrichtsforschung. *Journal für Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, (2), 40–49.
- Richert, P. (2005). Typische Sprachmuster der Lehrer-Schüler-Interaktion: empirische Untersuchung zur Feedbackkomponente in der unterrichtlichen Interaktion. Julius Klinkhardt.
- Richmond, G., & Striley, J. (1996). Making meaning in classrooms: Social processes in small-group discourse and scientific knowledge building. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(8), 839–858.
- Riedel, E., & Meyer, H.-J. (2013). *Allgemeine und anorganische Chemie*. Berlin: de Gruyter.
- Riemeier, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In D. Krüger & H. Vogt (Eds.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*, 69–78.
- Riemeier, T., von Aufschnaiter, C., Fleischhauer, J., & Rogge, C. (2012). Argumentationen von Schülern prozessbasiert analysieren: Ansatz, Vorgehen, Befunde und Implikationen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 141–180.
- Röhneck von, C. (1982). Schüleräußerungen zum Problem der Volumenverminderung beim Mischen von Spiritus und Wasser. *Der Physikunterricht*, 1, 66–76.
- Römpp, H. (1995). *Römpp-Chemie-Lexikon*. Thieme, Stuttgart.
- Rossa, E. (Ed.). (2005). *Chemiedidaktik*. Cornelsen Verlag Scriptor, Berlin
- Roth, G. (1997). *Das Gehirn und seine Wirklichkeit*. Suhrkamp, Frankfurt
- Rutherford, E. (1911). The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom. *Philosophical Magazine Series 6 (1901-1926)*, 669–688. Unter : <http://doi.org/10.1080/14786435.2011.617037> (Abruf 7.7.18)

- Rutherford, E. (1912). The origin of β and γ rays from radioactive substances. *Philosophical Magazine Series 6*, 24(142), 453–462. Unter: <http://doi.org/10.1080/14786441008637351> (Abruf 7.7.18)
- Saborowsky, J. (2017). Modelle. In C. S. Reiners (Ed.), *Chemie vermitteln*, 111–120. Berlin: Springer-Verlag.
- Sampson, V., & Clark, D. (2009). The impact of collaboration on the outcomes of scientific argumentation. *Science Education*, 93(3), 448–484.
- Saye, J., & Brush, T. (2002). Scaffolding critical reasoning about history and social issues in multimedia-supported learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 50(3), 77–96.
- Schedemann, A. (2013). Weiterentwicklung von thermodynamischen Vorhersagemethoden als Grundlage für die Lösungsmittelauswahl bei Flüssig-Flüssig-Extraktion und der Absorption. Dissertation Universität Oldenburg 2013. Unter: <http://oops.uni-oldenburg.de/1618/1/schwei13.pdf> (Abruf 7.7.18)
- Schmidt, S. (2010). Didaktische Rekonstruktion des Basiskonzepts 'Stoff-Teilchen' für den Anfangsunterricht nach Chemie im Kontext. Dissertation Universität Oldenburg 2010. Unter: <http://oops.uni-oldenburg.de/1133/1/schdid10.pdf> (Abruf 7.7.18)
- Schrader, B., & Radmacher, P. (2009). *Kurzes Lehrbuch der Organischen Chemie*. Berlin/New York: de Gruyter.
- Seidel, T., Dalehefte, I. M., & Meyer, L. (2003). Aufzeichnen von Physikunterricht. In *Technischer Bericht zur Videostudie „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht*, 47–76, Kiel: Leibnitz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).
- Seidel, T., Prenzel, M., Rimmele, R., Dalehefte, I. M., Herweg, C., Kobarg, M., & Schwindt, K. (2006b). Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(6), 799–821.
- Seidel, T., Prenzel, M., Rimmele, R., Dalehefte, I., Herweg, C., Kobarg, M., & Schwindt, K. (2006a). Blicke auf den Physikunterricht. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(6), 799–821.
- Seidel, T., Rimmele, R., & Prenzel, M. (2003). Gelegenheitsstrukturen beim Klassengespräch und ihre Bedeutung für die Lernmotivation. *Unterrichtswissenschaft*, 31(2), 142–165.
- Sorsana, C. (2008). Introduction: Developmental co-construction of cognition. *European Journal of Developmental Psychology*, 5(5), 537–543.

- Stark, R. (2003). Conceptual change: Kognitiv oder situiert? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17(2), 133–144. Unter: <http://doi.org/10.1024//1010-0652.17.2.133> (Abruf 7.7.18)
- Steinke, I. (2007). Qualitätssicherung in der qualitativen Forschung. In *Qualitative Datenanalyse: computergestützt*, 176–187, Springer.
- Stokols, D., Hall, K. L., Taylor, B. K., & Moser, R. P. (2008). The science of team science: overview of the field and introduction to the supplement. *American Journal of Preventive Medicine*, 35(2), S77–S89.
- Strike, K. A., & Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice*, 147–176.
- Stroppe, H. (2005). *Physik für Studenten der Natur- und Ingenieurwissenschaften*. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co-KG.
- Studienseminar Koblenz. (Hrsg.). (2016). *Guter Unterricht schafft Lerngelegenheiten. Ein Lehr-Lern-Modell für die Lehrerbildung und das Lehrercoaching*. Norderstedt: Books on Demand.
- Taber, K. S. (2001). Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations From Educational Research. *Chemistry Education Research and Practice*, 2(2), 123–158. <http://doi.org/10.1039/b1rp90014e>
- Taber, K. S. (2002). *Chemical misconceptions: Prevention, diagnosis and cure*. Royal Society of Chemistry.
- Tan, K. D., & Treagust, D. F. (1999). Evaluating students' understanding of chemical bonding. *School Science Review*, 81(294), 75–84.
- Tang, K.-T., & Toennies, J. P. (2010). Johannes Diderik van der Waals: Pionier der Molekularwissenschaften und Nobelpreisträger von 1910. In *Angewandte Chemie* (Vol. 122, 9768–9774). Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Tatsis, K., & Koleza, E. (2006). The effect of students' roles on the establishment of shared knowledge during collaborative problem solving: A case study from the field of mathematics. *Social Psychology of Education*, 9(4), 443–460. Unter : <http://doi.org/10.1007/s11218-006-9005-8> (Abruf 7.7.18)
- Taylor, P. C., Fraser, B. J., & Fisher, D. L. (1997). Monitoring Constructivist Classroom Management Environments. *International Journal of Educational Research*, 27(4), 293–302.
- Tenenbaum, G., Naidu, S., Jegede, O., & Austin, J. (2001). Constructivist pedagogy in conventional on-campus and distance learning practice: An exploratory investigation. *Learning and Instruction*, 11(2), 87–111.

- Tepner, O., Borowski, A., Dollny, S., Fischer, H. E., Jüttner, M., Kirschner, S., Sumfleth, E. (2012). Modell zur Entwicklung von Testitems zur Erfassung des Professionswissens von Lehrkräften in den Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 7–28.
- Treagust, D. F., Chandrasegaran, A. L., Halim, L., Ong, E.-T., Zain, A. N. M., & Karpudewan, M. (2013). Understanding of Basic Particle Nature of Matter Concepts by Secondary School Students Following an Intervention Programme. In G. Tsapalis & H. Sevian (Hrsg.), *Concepts of Matter in Science Education* (Vol. 19, pp. 125–141). Netherlands: Springer. Unter: <http://doi.org/10.1007/978-94-007-5914-5> (Abruf 7.7.18)
- Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 16, 41–57.
- van Vondel, S., Steenbeek, H., van Dijk, M., & van Geert, P. (2017). Ask, don't tell; A complex dynamic systems approach to improving science education by focusing on the co-construction of scientific understanding. *Teaching and Teacher Education*, 63, 243–253.
- Vollhardt, K. P. C. (2011). *Organische Chemie*. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft mbH.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535–585.
- Vygotskij, L. S. (1978). *Mind and Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge.
- Vygotskij, L. S. (2002). *Denken und Sprechen*. Weinheim: Beltz Verlag.
- Wakisaka, A., & Matsuura, K. (2006). Microheterogeneity of ethanol–water binary mixtures observed at the cluster level. *Journal of Molecular Liquids*, 129(1), 25–32.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on Alternative Conceptions in Science. *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, 177–210.
- Wedler, G., & Freund, H.-J. (2012). *Lehrbuch der Physikalischen Chemie*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag.
- Weninger, J. (1976). Didaktische und semantische Probleme bei der Einführung der Atomhypothese und der Kern-Elektron-Hypothese. In Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (Hrsg.), *Atommodelle im naturwissenschaftlichen Unterricht* (pp. 35–56). Weinheim: Beltz Verlag.
- Weninger, J. (1982). Das Denken im Kontinuum und im Diskontinuum. Teil 2. *MNU*, 5, 268–273.

- Widodo, A., & Duit, R. (2004). Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 233–255.
- Widodo, A., & Duit, R. (2005). Konstruktivistische Lehr-Lern-Sequenzen und die Praxis des Physikunterrichts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 233–255. Unter: ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/zfdn/2005/9.Widodo_Duit_131-146.pdf (Abruf 7.7.18)
- Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The Role of Tutoring in Problem Solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89–100. Unter: <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x> (Abruf 7.7.18)
- Wright, P. G. (1981). Evidence and non-evidence for the existence of atoms and molecules. *Education in Chemistry*, 1, 74–75.
- Wulfange, J. (1975). Das Atommodell von Rutherford. Seine Leistung für die Wissenschaft und seine Grenzen. In Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (Hrsg.), *Atommodelle im naturwissenschaftlichen Unterricht*, 108–116, Weinheim: Beltz Verlag.
- Wulfange, J. (1976). Das Atommodell von Rutherford. Seine Leistung für die Wissenschaft und seine Grenzen. *Atommodelle Im Naturwissenschaftlichen Unterricht*, 1, 108–116.
- Wuttke, E. (2006). Die Qualität der Lehrerbeteiligung an Argumentationssequenzen erfolgreicher und weniger erfolgreicher Lerngruppen. In P. Gonon, F. Klauser, & R. Nickolaus (Hrsg.), *Bedingungen beruflicher Moralentwicklung und beruflichen Lernens*, 127–138, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Wechsel zwischen Instruktion und Konstruktion;	14
Abb. 2:	Konstruktion durch Instruktion	15
Abb. 3:	Wirkung der Dimensionen der Unterrichtsqualität	20
Abb. 4:	Nutzung von Schülervorstellungen.....	29
Abb. 5:	Fachdidaktisches Triplet	58
Abb. 6:	Untersuchungsdesign und Methoden	60
Abb. 7:	Experimentelle Anordnung zur Untersuchung des Streuverhaltens von Alpha-Strahlen.....	82
Abb. 8:	Hyperbelbahnen von Alpha-Teilchen	84
Abb. 9:	Partielle Volumina des Systems Ethanol/Wasser	95
Abb. 10:	Lösungsmittelzugängliche Oberfläche von Wasser und Ethanol. ...	101
Abb. 11:	Skelettformeln, Siedepunkte und Dichten von iso-Octan und n-Octan	103
Abb. 12:	Lösungsmittelzugängliche Oberfläche von Ethanol und iso- Octan.....	103
Abb. 13:	Exzessvolumen des Systems Ethanol / iso-Octan	104
Abb. 14:	Versuch zur Volumenkontraktion.....	117
Abb. 15:	Dialogische Feinstruktur K8-U2.....	136
Abb. 16:	Dialogische Feinstruktur K11-U2.....	136
Abb. 17:	Anzahl und Verteilung formaler Funktionen K8-U2.....	137
Abb. 18:	Anzahl und Verteilung formaler Funktionen K11-U2.....	137
Abb. 19:	Gesprächsmuster K8-U2	143
Abb. 20:	Gesprächsmuster K11-U2	143
Abb. 21:	Wissensbausteine zum Streuversuch von Rutherford.....	146
Abb. 22:	Bild der Gruppe 1	147
Abb. 23:	Bild der Gruppe 2	148

Abb. 24:	Von Konzepten zur Denkfigur.....	153
Abb. 25:	Vorstellung der Gruppe 2: Flugbahnen der Alphateilchen.....	154
Abb. 26:	Schülervorstellung von einem Atom	156
Abb. 27:	Lehrerbeiträge fördern Ko-Konstruktion.....	157
Abb. 28:	Wissensbausteine zu Volumenänderungen	160
Abb. 29:	Ergebnis der Gruppe 1 zur Teilchenebene in der Mischung von Ethanol und Wasser	161
Abb. 30:	Abbildung auf dem Arbeitsblatt.....	163
Abb. 31:	Vorlage zum Überblick.....	193
Abb. 32:	Strategien für die Schülerpräsentationen und -diskussionen	213
Abb. 33:	Vorstellungen aktivieren und bewusst machen.....	220
Abb. 34:	Auswahl von tragfähigen Vorstellungen	223
Abb. 35:	Fokussieren und Strukturieren.....	226
Abb. 36:	An Vorstellungen anknüpfen.....	230
Abb. 37:	Vorstellungen umwälzen.....	232
Abb. 38:	Vorstellungen ergänzen.....	234
Abb. 39:	Rückmeldungen zu Vorstellungen geben.....	237
Abb. 40:	Zentrale Prinzipien zum Umgang mit Schülervorstellungen	241
Abb. 41:	Vergleich Fachliche Klärung und Lernerperspektiven.....	245
Abb. 42:	Vergleich Lernerperspektiven und didaktische Strukturierung – Teil 1.....	248
Abb. 43:	Vergleich Lernerperspektiven und didaktische Strukturierung – Teil 2.....	252
Abb. 44:	Fazit aus den drei Perspektiven	256
Abb. 45:	Umgang mit Lernervorstellungen im Unterrichtsgespräch.....	257

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Merkmale des Scaffolding.....	16
Tab. 2:	Kognitiv anregende und strukturierende Maßnahmen im Scaffolding.....	18
Tab. 3:	Ebenen von Vorstellungen	25
Tab. 4:	Formen des Unterrichtsgespräches	36
Tab. 5:	Gesprächstypen und Merkmale.....	49
Tab. 6:	Übersicht Datenerhebung und -aufbereitung	68
Tab. 7:	Vorstellungen von Wissenschaftlern	94
Tab. 8:	Wechselwirkungen zwischen Teilchen.....	98
Tab. 9:	Unterrichtliche Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der Modelle zum Atombau	114
Tab. 10:	Modell der Verständniseentwicklung von Materie	120
Tab. 11:	Schülervorstellungen zum Aufbau der Atome, zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen und zur Erklärung der Volumenkontraktion	129
Tab. 12:	Vorstellungen von Lernenden und Wissenschaftlern – Streuversuch von Rutherford.....	150
Tab. 13:	Vorstellungen von Lernenden und Wissenschaftlern – Volumenkontraktion	165
Tab. 14:	Lernerperspektiven zum individuellen Lernprozess und zur Rolle der Lehrkraft.....	172
Tab. 15:	Ziele im Umgang mit Schülervorstellungen und methodische Umsetzung.....	192
Tab. 16:	Ziele und Methoden zur Lenkung von Schülergesprächen im Unterrichtsverlauf.....	243
Tab. 17:	Zielsetzungen der Lehrkraft und Aussagen der Lernenden	249
Tab. 18:	Ko-Konstruktionsprozesse und didaktische Strukturierung	252



University
of Bamberg
Press

Die Studie untersucht am Beispiel des Chemieunterrichts das komplexe Zusammenwirken von Lehrer- und Schülerbeiträgen im Unterrichtsgespräch vor dem Hintergrund ko-konstruktiver Lernprozesse.

Der Theorierahmen erläutert Lernprozesse auf Grundlage des moderaten Konstruktivismus und greift über die soziale Interaktion die Bedeutung von Ko-Konstruktionsprozessen auf.

Die Fragestellungen betrachten drei Ebenen. Die Gesprächsbeiträge werden inhaltlich und hinsichtlich ihrer Funktion im Ko-Konstruktionsprozess untersucht. Die Ebene der Lernenden zeigt individuelle Lernprozesse und die Wahrnehmung zur Rolle der Lehrkraft in den Gesprächen. Die Ziele und Methodenentscheidungen der Lehrkraft im Umgang mit Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch bilden den Schwerpunkt der Untersuchung. Die Datenerhebung und -auswertung erfolgt mit der qualitativen Inhaltsanalyse.

Die Ergebnisse zeigen, dass Schüler im Lernprozess gemeinsam fachwissenschaftliche Erklärungen für die chemischen Fragestellungen entwickeln und die Gesprächsbeiträge die Kriterien von erfolgreichen, ko-konstruktiven Gesprächen erfüllen. Gesprächsmuster zeigen exemplarisch förderliche Bedingungen für Ko-Konstruktionsprozesse auf. Es wurden konkrete Ziele, Strategien und Methoden der Lehrkraft identifiziert. Dabei wird die Bedeutung einer aktiven Lehrerlenkung, die Fähigkeit zur Diagnose und zum Scaffolding sowie die flexible, situationsgerechte Anwendung eines Methodenrepertoires zur Gesprächsführung deutlich.

Fazit: Ko-Konstruktionsprozesse können durch gelenkte Schülerdiskussionen gezielt gefördert werden. Dabei steht das Verhandeln von verschiedenen Vorstellungen im Mittelpunkt, die auf diese Weise zum Lernmittel für die gesamte Gruppe werden.

eISBN 978-3-86309-636-6



9 783863 096366

www.uni-bamberg.de/ubp/

