



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

Einführung in das ‚Zwiedenken‘ anhand von systematischen
Verknüpfungen zwischen experimentellen Phänomenen und
bildgestützten Modellen

Ein feldexperimenteller Beitrag zur fachsprachensiblen Vermittlung chemischen
Grundlagenwissens

verfasst von / submitted by

Maximilian FRITSCHÉ

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2017 / Vienna, 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 423 412

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtstudium UF Chemie, UF Physik

Betreut von / Supervisor:

Hon.-Prof. Dr. Michael Alfred ANTON

Vorwort

Meiner Meinung nach werden die Wissenschaften in letzter Zeit in einer Weise glorifiziert, die ihr nicht gut tun. Es nimmt solche Ausmaße an, dass Menschen in beinahe dogmatischer Manier die eigentliche Intersubjektivität der Scientific Community als *objektiv* und Sachverhalte mit dem Gütesiegel „wissenschaftlich anerkannt“ als *unwiderruflich* und *universell wahr* ansehen. Daran Schuld trägt unter anderem auch die Sprache in den Wissenschaften: so gilt es beispielsweise als Qualitätsmerkmal von wissenschaftlichen Arbeiten, dass persönliche Standpunkte und Meinungen in einer Art formuliert werden, dass jedes Anzeichen an Subjektivität verschleiert wird und Sätze stattdessen einen scheinbar objektiven Charakter erhalten. Dass so formulierte Abhandlungen anschließend als Wahrheiten aufgenommen werden, ist nur eine logische Konsequenz daraus.

Aus diesem Grund will ich diese vorliegende Arbeit verstärkt personenbezogen formulieren, um offenzulegen, dass es sich um Ergebnisse und Interpretationen einzelner Menschen oder Menschengruppen handelt. Genauso ist auch die vorliegende Arbeit das Produkt eines Menschen: Sie wurde von mir, dem Autor, einem Subjekt, erstellt, ich habe subjektiv nach VordenkerInnen gesucht und sie für relevant genug gehalten, sie in meine Gedankengänge einzubauen – oder eben nicht. Darauf basierend habe ich als Subjekt eine Hypothese aufgestellt, die ich mit eigens und subjektiv erstellten Mitteln und Methoden zu überprüfen versuchte, um sie danach subjektiv zu beurteilen – natürlich in der Absicht, *möglichst* objektiv zu arbeiten und das auf einer Basis, die von meinen VorarbeiterInnen *möglichst* objektiv errichtet wurde. Aber mehr geht sich für uns Menschen nicht aus und dessen sollte man sich in den (Natur-)Wissenschaften wieder bewusster werden.

Die vorliegende Arbeit ist aber nicht nur Ergebnis meines eigenen Zutuns. Ich hatte zahlreiche helfende Hände, die mich auf unterschiedlichste Weise unterstützten. Zu allererst möchte ich mich bei meinem Betreuer, Herrn Michael Anton, bedanken, der mich in meiner Themenwahl und Arbeitsweise mehr oder weniger bedingungslos unterstützte. Ich bin mit dieser Arbeit nicht nur fachlich bzw. didaktisch gewachsen, sondern auch persönlich. Außerdem will ich

mich bei Christian Knittl-Frank bedanken, der mir half und es überhaupt ermöglichte, die Versuchsvideos in einem professionellen Ausmaß zu erstellen. Natürlich kommt mein Dank auch allen LehrerInnen zu, die mir eine Unterrichtsstunde und ihr Feedback gaben.

Ansonsten bin ich einerseits für meinen Bruder, Sebastian Fritsche, dankbar, der mir bei der Reflexion über die Methodik wertvolle Anregungen gab, und andererseits für Benjamin Andreatta und Alexander Valda, die die Korrekturlesungen für mich übernahmen.

Zuletzt gilt mein Dank noch Ramona Velasco. Sie war meine langjährige Studienkollegin auf dem universitären Weg und somit mitverantwortlich, dass es überhaupt zu dieser vorliegenden Arbeit kam. Daneben machte sie mir Mut und brachte mich in zahlreichen Diskussionen auf neue Ideen, wenn ich einmal nicht mehr weiter wusste.

Du warst meine wichtigste Begleitung in diesem Lebensabschnitt,
und ich hoffe, du bleibst mir noch länger erhalten.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung – Sprache	1
1.1.	Allgemeine Überlegungen zu Sprache	1
1.2.	Sprache im Unterricht	4
1.3.	Beispiele für Strategien zur Etablierung einer Bildungssprache	7
1.2.	Konsequenzen für den schulisch-chemischen Unterricht	9
2.	Einführung – Modelldenken	12
2.1.	Allgemeine Überlegungen zum Modelldenken	12
2.2.	Die Allgemeine Modelltheorie nach Herbert Stachowiak	15
2.3.	Konsequenzen für den allgemein-schulischen Unterricht	24
2.4.	Konsequenzen für den schulisch-chemischen Unterricht	28
3	Planung der Sequenz „Zwiedenken an Hand des Experiments zur Synthese von Natriumchlorid aus den Elementen“	33
3.1.	Hypothese	33
3.2.	Phase I: Ankommen im Kontext (~7-10 min)	34
3.3.	Phase II: Präsentation der Phänomene (~7-10 min)	35
3.4.	Phase III: Arbeitsphase (~30-35 min)	37
3.5.	Vertiefende didaktische Überlegungen	39
3.6.	Fachliche Grauzonen	42
4.	Durchführung der Sequenz „Zwiedenken an Hand des Experiments zur Synthese von Natriumchlorid aus den Elementen“	43
4.1.	Klasse 1: 18 SchülerInnen – Frau S.	44
a.)	Deskriptive Darstellung des Unterrichts	45
b.)	Ergebnisse	47
c.)	Interpretation der Ergebnisse	49
4.2.	Klasse 2: 22 SchülerInnen – Frau Z. und Herr S.	51
a.)	Deskriptive Darstellung des Unterrichts	52
b.)	Ergebnisse	53
c.)	Interpretation der Ergebnisse	56
4.3.	Klasse 3: 17 SchülerInnen – Frau Z.	58
a.)	Deskriptive Darstellung des Unterrichts	59
b.)	Ergebnisse:	61
c.)	Interpretation der Ergebnisse	63

4.4.	Klasse 4: 19 SchülerInnen – Herr S.....	65
a.)	Deskriptive Darstellung des Unterrichts	67
b.)	Ergebnisse	68
c.)	Interpretation der Ergebnisse.....	70
4.5.	Klasse 5: 19 SchülerInnen – Frau L.....	73
a.)	Deskriptive Darstellung des Unterrichts	73
b.)	Ergebnisse	75
c.)	Interpretation der Ergebnisse.....	78
4.6.	Klasse 6: 24 SchülerInnen – Frau S.....	80
a.)	Deskriptive Darstellung des Unterrichts	81
b.)	Ergebnisse	83
c.)	Interpretation der Ergebnisse.....	86
4.7.	Klasse 7: 24 SchülerInnen – Herr A.	90
a.)	Deskriptive Darstellung des Unterrichts	91
b.)	Ergebnisse	93
c.)	Interpretation der Ergebnisse.....	96
4.8.	Klasse 8: 21 SchülerInnen – Herr A.	98
a.)	Deskriptive Darstellung des Unterrichts	99
b.)	Ergebnisse	101
c.)	Interpretation der Ergebnisse.....	103
5.	Darstellung und Diskussion der Ergebnisse	106
5.1.	Deskriptive Statistik.....	106
5.2.	Diskussion der Ergebnisse.....	112
a.)	Globale Ergebnisse.....	113
b.)	Vergleich nach Soll-Lernständen.....	124
5.3.	Prüfung der Hypothese und Grenzen der Methode	126
5.4.	Kritik und Ausblick.....	129
a.)	Phase I: Ankommen im Kontext.....	130
b.)	Phase II: Präsentation der Phänomene	131
c.)	Phase III: Arbeitsphase.....	132
d.)	Evaluationstechnik.....	133
5.5.	Didaktische Erkenntnisse	135
6.	Zusammenfassung.....	138

I. Literaturverzeichnis	139
II. Abbildungsverzeichnis	144
III. Tabellenverzeichnis	145
IV. Anhang	146
1. Unterrichtsmaterialien.....	i
2. Ausgearbeitete Referenzversion.....	v
3. Alternativer Versuchsaufbau	ix
4. Ergebnisse sortiert nach Klassen.....	x
5. Tabellen und Diagramme der globalen Auswertung	xii
6. Eidesstattliche Erklärung.....	ii

1. Einführung – Sprache

1.1. Allgemeine Überlegungen zu Sprache

Im Allgemeinen wird Sprache je nach Anwendungsfeld benutzt. Im Alltag erfährt man dies, wenn man beispielsweise einerseits mit einem/einer Vorgesetzten redet und andererseits mit einer eher vertrauteren Person, beispielsweise einer Freundin. Abgesehen davon, dass sich die Sprachstruktur unterscheidet, weil zum Beispiel Höflichkeitsformen benutzt werden, wird auch auf bestimmte Wörter (Schimpfwörter) verzichtet. Hierbei handelt es sich um gesellschaftliche Normen, die mehr oder weniger unabhängig von der Thematik und eher situationsbedingt sind. Die Thematik selbst liefert aber einen zusätzlichen Beitrag: Wenn Vorgesetzte im Krankenhaus auftragen, etwas sauber zu machen, dann wird diese Arbeit vermutlich anders erledigt, als bei FreundInnen zu Hause. Das liegt daran, dass die KommunikationspartnerInnen andere Auffassungen und Bedeutungen für Wörter und allgemein Gesprochenes haben, weil sich eben in einem anderen thematischen Feld bewegt wird. Saubermachen im Krankenhaus kann je nach Kontext ein Kehren mit dem Besen, ein Wischen mit dem Lappen oder ein Sterilisieren von Werkzeugen (Skalpell) sein, wobei die Intention ist, das Kontaminationsrisiko möglichst niedrig zu halten. Hygienestandards zu Hause sind meist nicht so hoch, die Intention hierbei ist eher, dass es sauber sein und/oder ordentlich aussehen soll.

Nicht anders ist es im sozialen Feld der Schule: Wenn ChemielehrerInnen „Wasser“ sagen, meinen sie mitunter etwas anderes, als etwa DeutschlehrerInnen. Im Chemieunterricht ist es manchmal wichtig, dass destilliertes Wasser in Reaktionen eingesetzt wird, da etwa Leitungswasser mit seinen chemischen Verunreinigungen das Ergebnis verfälschen könnte – um im Deutschunterricht die Tafel zu putzen, ist es jedoch unwichtig, ob das Wasser für den Schwamm destilliert wurde oder aus der Leitung kommt. Die Idee wird deutlich, wenn man betrachtet, dass im Chemieunterricht Wasser sowohl für Experimente als auch zum Tafelputzen verwendet wird – Kontext und Thematik entscheiden neben dem sozialen Feld, was unter einem Begriff, eben „Wasser“, verstanden wird bzw. werden soll.

Nun dient Sprache aber nicht nur der Kommunikation und der Vermittlung von Inhalten, sondern bildet auch das Rückgrat der Organisation von Wissen. Außerdem ist es erst durch Sprache möglich, Erfahrungen zu benennen, Erkenntnisse zu formulieren und Wissen

weiterzugeben – von der quantitativen Unterscheidung von Phänomenen noch ganz zu schweigen. Man könnte sagen, Sprache sei gar die *Grundlage* des Lernens selbst (vgl. Halliday 1993; Leisen, online¹)

Schmölzer-Eibinger (2013) bringt es mit einer Zeile sehr gut auf den Punkt:

„Texträume sind Wissensräume und Wissensräume sind Texträume“ (S. 35)

Ein weiterer Aspekt, warum auf Sprache nicht nur in den Lehr- und Lernwissenschaften ein so großer Wert gelegt werden sollte: Sprache kann einerseits ein verbindendes Phänomen sein, andererseits aber sehr wohl auch ein trennendes. Im einfachsten Fall betrachte man zwei Sprachen, die kaum miteinander zu tun haben, beispielsweise Indisch und Finnisch – die Beteiligten können sich verbal kaum bis gar nicht unterhalten. Dies gilt auch abseits von solchen Extrembeispielen, denn auch bei Englisch und Deutsch, die beide der westgermanischen Sprachfamilie angehören und es dadurch einige Überschneidungen gibt², fällt eine verbale Kommunikation bald schwer. Und selbst wenn formal die gleiche Sprache gesprochen wird, werden die Qualitäten unterschiedlich sein. Als Vorarlberger in Wien behaupte ich aus Alltagserfahrung – nur Menschen mit Deutsch als Erstsprache betrachtend:

- Sprachbarrieren existieren auf Basis des Dialekts: Das Vorarlbergische ist alemannischen Ursprungs, während Menschen aus den anderen österreichischen Bundesländern überwiegend bairische Dialekte sprechen.³ Dies äußert sich zum Beispiel in der unterschiedlichen Aussprache von Buchstaben und -kombinationen oder allgemein Lautverschiebungen.
- Sprachbarrieren existieren auf Basis der Kultur: Wörter bekommen unterschiedliche Bedeutungen, als Beispiel seien hier „heben“ oder „laufen“ genannt: Während Ersteres Standarddeutsch eine Aufwärtsbewegung beschreibt bedeutet es in Vorarlberg lediglich „halten“. Zweiteres ist in standarddeutschen Wörterbüchern zwar breiter aufgestellt, wird in Wien jedoch als schnelle Fortbewegung zu Fuß (z.B. Joggen) verstanden, während in Vorarlberg lediglich die Fortbewegung zu Fuß, unabhängig von der Geschwindigkeit, gemeint ist.

¹ <http://www.sprachsensiblerfachunterricht.de/sprachlehren-und-lernen> (letzter Zugriff am: 25.6.2017)

² Man betrachte Sprachpaare wie „sehen“ – „to see“ oder „hören“ – „to hear“

³ vgl. auch Ammon (1995) S. 197

- In der Sprache der VorarlbergerInnen werden viele Diminutive (Verniedlichungen) benutzt, obwohl nicht zwingend eine niedlichere bzw. kleinere Form von etwas vorliegt. Diese Tendenz zum Diminutiv ist in Österreich aber ohnehin stärker ausgeprägt, vergleicht man etwa mit Mittel- bis Nord-Deutschland.
- Es zeigt sich, dass allgemein Studierende mit einem stark ausgeprägten Dialekt Probleme haben, beispielsweise bei einem Vortrag Standarddeutsch zu sprechen, weil es sich wie eine „Fremdsprache“ anfühle.

Darüber hinaus existieren Sprachbarrieren in Österreich auch im sozialen Gefüge – so wird Bildung, die mit einer gewissen Sprache einhergeht, wie sich in der vorliegenden Arbeit noch zeigen wird, in Österreich immer noch hauptsächlich vererbt: nur etwa 7 % jener Personen, deren Eltern höchstens einen Pflichtschulabschluss haben, erlangen einen Hochschulabschluss; hingegen erlangt etwa die Hälfte all jener Personen einen Abschluss im tertiären Bildungssektor, von denen zumindest ein Elternteil einen Hochschulabschluss hat (Statistik Austria 2017, S. 100-101).

In Zeiten der Globalisierung, in der die Welt zu einem Dorf wird und eine kulturelle Mobilität nicht nur möglich sondern auch gegeben ist, ist es umso wichtiger, Sprache als verbindendes, inkludierendes Phänomen zu benutzen. Wenn dies nicht möglich ist, sollten Alternativen in Betracht gezogen werden. Das muss nicht zwangsläufig zu einer Verdummung der Gesellschaft führen – vielmehr sollten die Startbedingungen angepasst werden, sodass gemeinsam eine Sprache entwickelt werden kann. Solche Startbedingungen könnten beispielsweise nonverbale Unterrichtsmethoden sein, bei denen Sprache eine sekundäre Rolle spielt.

Im Übrigen sollte hier noch erwähnt werden, dass Inklusion im Vergleich zur Integration kein Additum zum traditionellen Unterricht darstellen sollte, sondern vielfach *stattdessen* stattzufinden hat. Inklusiver Unterricht soll nicht nur unter dem Motto der kulturellen Toleranz eingeführt werden, er geht eher von der Grundannahme aus, dass eine gesellschaftliche Heterogenität der Norm entspricht, mit der in diesem Sinne auch umgegangen wird. So wird sich an den individuellen Bedürfnissen innerhalb der LernerInnengruppe orientiert, was vielseitige Zugänge zu einem Lerninhalt für alle zur Folge hat und dadurch reichhaltiger für jedeN ist. Dadurch wird nicht nur dem Individuum geholfen,

sondern auch der Gesellschaft als Ganzes, weil die gesellschaftliche Heterogenität bewusst gemacht wird, was uns wiederum hilft, gegenseitiges Verständnis und Akzeptanz füreinander aufzubauen. So können Missstände beseitigt, Chancengleichheit etabliert und Grundrechte, wie etwa das Recht auf Bildung, gelebt werden – egal welcher Ethnie, Kultur, Religion oder Ähnlichem man angehört oder welche körperlichen und/oder psychischen Beeinträchtigungen man hat (Hinz 2006). Im Endeffekt sind wir alle Menschen mit gleichen (Grund-)Bedürfnissen (Maslow 1943)!

1.2. Sprache im Unterricht

In den Lehr- und Lernwissenschaften (Didaktik und Mathetik) wird zwischen unterschiedlichen Sprachfeldern in der Schule unterschieden. Helmuth Feilke (2012) etwa gliedert wie in **Abbildung 1** gezeigt:

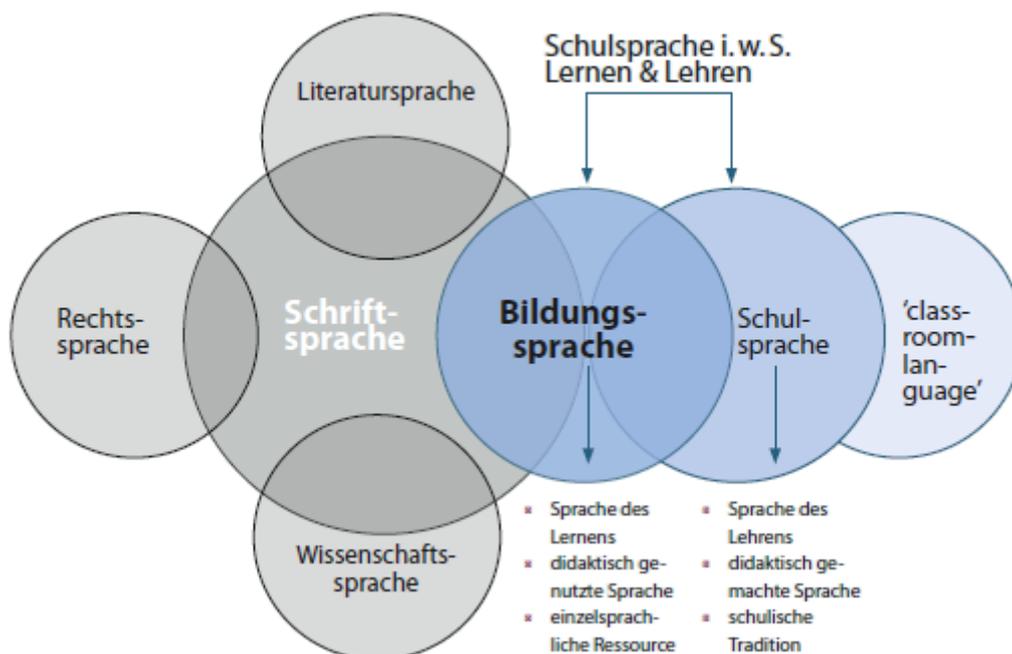


Abbildung 1: Darstellung verschiedener Sprachfelder, die sich teilweise überlappen (Quelle: Feilke 2012, S. 6)

Zunächst gibt es die Sprache innerhalb eines Klassenzimmers, wo sich eher enge Vertraute des Individuums aufhalten. Sie beschreibt, wie SchülerInnen untereinander reden. Es folgt die Schulsprache, also die *didaktisch gemachte Sprache des Lehrens*, die Sprache zwischen

SchülerIn und LehrerIn. Verwandt und überlappend damit, jedoch nicht ident, ist die Bildungssprache, die *didaktisch genutzte Sprache des Lernens*, wie sich also SchülerInnen Inhalte selbst erklären. Gemeinsam ergeben die beiden Sprachfelder die Sprache des Lernens und Lehrens. Das Wort „didaktisch“ impliziert jeweils eine Abhängigkeit vom Schulfach bzw. der Thematik. Darüber steht wiederum die Schriftsprache, die eine zentrale Rolle der Sprachfelder einnimmt, weil sie die langfristige Konservierung, die Erhaltung von gesprochenen Inhalten ermöglicht. Damit überschneiden sich in weiterer Folge andere Sprachfelder wie die Wissenschaftssprache, die Literatursprache oder die Rechtssprache, welche zwar nicht direkt etwas mit den Sprachfeldern der Schule zu tun haben, indirekt aber sehr wohl über die Schriftsprache mehr oder weniger stark mit ihr wechselwirken.

Das Modell bietet eine theoretische Systematisierung an, gelebter Unterricht besteht aber natürlich aus einem Zusammenspiel aller Sprachen: Leisen (2011) nennt sie die *Unterrichtssprache*. Er zeigt beispielsweise auf, dass einführende Texte in Schulbüchern oft in Alltagssprache verfasst sind, um den Einstieg in ein neues Inhaltsfeld zu erleichtern. Die *Fachsprache*, was in etwa der Schnittmenge von didaktisch genutzter Sprache und Schriftsprache von Feilke entsprechen dürfte⁴, komme oftmals bei Definitionen oder Merksätzen zum Einsatz. Leisen zeigt dabei auf, dass jene auch aus Symbol- und Bildsprache bestehen würde, die teilweise sehr abstrakt sein können (z.B. chemische Elementsymbole oder Diagramme). Er definiert die Bildungssprache als jene Sprache, „*deren Beherrschung zur Teilnahme an der Bildung erforderlich ist.*“ (S. 4) und ist seiner Auffassung nach die Schnittmenge von Unterrichtssprache und Fachsprache, was Bild- und Symbolsprache miteinbezieht.

Man könnte auch sagen, Bildungssprache bildet die Beziehung von Lernenden zum jeweiligen Lerninhalt ab. Vollmer und Thürmann (online) formulieren etwa: Bildungssprache sei „*Ausdruck jener sprachlichen bzw. kommunikativen Anforderungen in fachlichen Lernkontexten, hinter denen sich komplexe Herausforderungen in der Verwendung von Sprache als kognitivem Werkzeug verbergen.*“ (S. 4). – So kann Bildungssprache auch als Niveau der sprachlichen Kompetenz in einem fachlichen Inhaltsbereich aufgefasst werden, das den Bildungsgrad von Lernenden in Bezug zu einem Fach kennzeichnet. In weiterer Folge bedeutet dies, dass sie in Didaktik und Mathematik einen zentralen Ansatzpunkt bildet: An der

⁴ Zumindest macht Feilke einen Unterschied zwischen Fach- und Wissenschaftssprache (vgl. Feilke 2012, S. 6)

Bildungssprache der Lernenden muss sich orientiert werden, um die Unterrichtssprache zu definieren und nachhaltigen Unterricht zu gestalten. Explizit bedeutet das nicht nur, dass auf bestimmte Vokabeln und Fachbegriffe geachtet werden soll, vielmehr bilden auch fachspezifische Texte mit ihren charakteristischen Merkmalen in Wort-, Satz- und Textkonstruktion aus allgemeinsprachlicher Sicht Barrieren.

Härtig, Bernholt, Prechtl und Retelsdorf (2015) fassten von Thorsten Roelcke (2010) beschriebene Charakteristika naturwissenschaftlicher Texte zusammen. Im Folgenden findet sich ein Auszug dieser Zusammenfassung, die Beispiele wurden teilweise abgeändert, um einen **chemischen Bezug** herzustellen:

Auf der Wortebene:

- Fachtermini: Diese können unterschieden werden nach zuvor unbekanntem Wörtern (z.B. „**Elektrode**“) und bekannten Wörtern mit festgelegten, aber nicht zwingend mit alltäglicher Semantik übereinstimmenden, Definitionen (z.B. Begriff des „**chemischen Gleichgewichts**“).
- Komposita (zusammengesetzte Wörter): z.B. „**Reaktionsgeschwindigkeit**“
- Derivata (abgeleitete Wörter): z.B. „**ansäuern**“ oder „**messbar**“
- Substantivierung: z.B. „**das Umfüllen**“ oder „**beim Filtrieren**“
- Wortkürzungen: Akronyme wie „**EDTA**“ für „Ethyldiamidtetraessigsäure“ oder Abkürzungen wie „**1 M**“ für „1 mol/L“

Auf der Satzebene:

- Bevorzugung der dritten Person
- Passiv- und Reflexivkonstruktionen
- Konditional- und Finalsätze
- Attributierungen (z.B. „**mit NaCl gesättigte Lösung**“)

Auf der Textebene:

- Fachtextbaupläne (z.B. typische Struktur eines Versuchsprotokolls)
- Textbausteine wie Verweise und Fußnoten
- Nonverbale Elemente (z.B. Bilder, Diagramme, Tabellen)

Um dies dem/der LeserIn bewusst zu machen, bietet es sich an, eine beliebige Seite der vorliegenden Arbeit nach diesen Charakteristika zu untersuchen und eventuell sogar zu markieren (eine andere Farbe für jedes Charakteristikum).

Bildungssprache zu beherrschen heißt, nicht nur fachspezifische Texte *erfassen*, sondern in weiterer Folge auch *verfassen* zu können. Zur Aneignung der Bildungssprache, was wohl das Ziel der Schulen ist⁵, gibt es schon unterschiedliche Strategien, die im Folgenden zumindest kurz erläutert werden sollen.

1.3. Beispiele für Strategien zur Etablierung einer Bildungssprache

Josef Leisen (online⁶) unterscheidet in seinem Ansatz für sprachsensiblen Unterricht zwischen einem offensivem und einem defensivem Umgang mit Sprachproblemen. Am Beispiel des Lesens von Fachtexten schlägt er einerseits vor, Lesende *an den Text* anzupassen. Dazu werden etwa Lesehilfen angeboten bzw. Lesestrategien vermittelt, zusätzlich sollen vermehrt Leseübungen angeboten werden. Die andere Strategie ist, *den Text an Lesende* anzupassen, indem er sprachlich vereinfacht wird oder überhaupt ein anderer Text herangezogen wird. Dabei wird aber nicht strikt zwischen dem einen *oder* dem anderen entschieden, vielmehr ist die Strategie, nach der vorgegangen werden soll, situationsabhängig: Auf welchem (individuell-)sprachlichem Niveau befinden sich die LeserInnen, auf welchem Niveau befindet sich der zu lesende Text? Jedenfalls soll nach *drei Prinzipien für sprachsensiblen Unterricht* vorgegangen werden (Leisen, online⁷):

- Die Sprachsituationen sollen für Lesende stets authentisch und aber bewältigbar sein
- Die Sprachniveaus der LeserInnen sind individuell und die Anforderungen an sie sollen knapp über dem Sprachvermögen angesetzt sein – die Herausforderung soll „*sprachlich kalkuliert*“ sein

⁵ Dies folgert sich aus der Definition von Vollmer und Thürmann (2010), siehe oben. Es ist eine weit verbreitete Meinung, Schule müsse für das alltägliche, spätere Leben vorbereiten; Cathomas (2007) meint hingegen: „Die Schule kann und muss nicht für den Alltag vorbereiten, dafür ist der Alltag besser geeignet.“ (S. 180)

⁶ <http://www.sprachsensiblerfachunterricht.de/lesen> (letzter Zugriff am: 25.6.2017)

⁷ <http://www.sprachsensiblerfachunterricht.de/prinzipien> (letzter Zugriff am: 25.6.2017)

- Die LernerInnen sollen durch verschiedene Methodenwerkzeuge so viele Sprachhilfen erhalten, dass die Sprachsituation bewältigt werden kann

Die **Lesekompetenz** zu fördern ist auch laut Josef Leisen ein zentraler Bildungsauftrag von Schulen. Die grundsätzliche Idee dahinter ist, dass Lesen eben nicht nur ein „*rein rezeptiver Vorgang*“, sondern ein „*individueller Konstruktionsprozess*“ ist: Es wird Vorwissen aktiviert und auf frühere Leseerfahrungen zurückgegriffen, das Leseverstehen wird von Gedankenspielen, Erinnerungen, Hypothesen und Gefühlen beeinflusst (vgl. Josef Leisen, online⁸). Um diese Lesekompetenz zu fördern, entwickelte er einen eigenen Ansatz für die Lesedidaktik: Seine *sechs Leseprinzipien* bilden den Anfang und definieren, wie Lesesituationen im Unterricht aussehen sollten. Es wird bei Lesenden von (i) *Verstehensinseln* im Text ausgegangen, die in (ii) *eigenständiger Auseinandersetzung* erweitert und verbunden werden, woraus ein (iii) *Leseprodukt* entsteht. (iv) *Zyklische Bearbeitung* und (v) *anschließende und begleitende Kommunikation* sind von der Lehrperson zu forcieren, sodass es bei den SchülerInnen zur (vi) *Metakognition und Reflexion* über das Gelesene kommt. Weiters unterscheidet er zwischen fünf Lesestilen (z.B. „*orientierendes Lesen*“ oder „*suchendes Lesen*“) und zehn Lesestrategien (z.B. „*Fragen zum Text beantworten*“, „*Fragen an den Text stellen*“ oder „*Den Text in eine andere Darstellungsform übertragen*“) (vgl. auch Leisen 2010).

Daneben berücksichtigt Leisen auch die **Schreibkompetenz**. Er berichtet von Lehrkräften, die den Mut verloren hätten, Schreibübungen mit ihren SchülerInnen zu machen, da man schließlich keinen Deutschunterricht halte. Er kontert darauf (Josef Leisen online⁹):

„Schreibkompetenz ist eine grundlegende Form des kommunikativen Umgangs mit der Welt. Dieser ‚kommunikative Umgang mit der Welt‘ in Form des Schreibens kann aber nur fächerübergreifend erfolgen; die Förderung der Schreibkompetenz ist somit zwangsläufig eine Aufgabe aller Fächer.“

Zu beachten beim Verfassen von Texten sei jedoch, dass sich Schreiben auf zwei Ebenen abspiele: fachliches und sprachliches Lernen werden zusammengeführt, das Fach wird

⁸ <http://www.sprachsensiblerfachunterricht.de/lesen> (letzter Zugriff am: 25.6.2017)

⁹ <http://www.sprachsensiblerfachunterricht.de/schreiben> (letzter Zugriff am: 25.6.2017)

nämlich *in* der Sprache und *mit* der Sprache gelernt. Auch hier gilt es, eine kalkulierte Herausforderung zu schaffen – Möglichkeiten für Schreibübungen böten sich genug: So könne das Schreiben beispielsweise zur Wiederholung von Inhalten genutzt werden, zur Vorbereitung auf ein Gespräch oder eine Diskussion, zur Beschreibung von Bildern, Diagrammen, anderen Grafiken oder Experimenten, oder zur Unterrichtsreflexion. Je nach Anforderung, Aufgabe und didaktischer Absicht würden andere Schreibstrategien angewandt, als Beispiele seien hier das „*Schreiben nach einem Mustertext*“, das „*Darstellungsformen Vertexten*“ oder die Bearbeitung bzw. Anpassung von Texten genannt.

Das hohe Potenzial von Schreibübungen ergibt sich wohl daraus, dass die SchülerInnen darüber nachdenken müssen, *was* sie *wie* verfassen. Es wird nicht nur *effektiv*, wie etwa bei der gesprochenen Sprache sondern auch *reflexiv* formuliert.¹⁰ Außerdem kann Fachunterricht etwas aufgelockert werden, indem beispielsweise für das Fach „untypische“ Textsorten in Betracht gezogen werden: Keys (1999) schlägt etwa Gedichte, Comics oder Theaterstücke vor, Schmölder-Eibinger und Langer (2010) erweitern die Liste mit Zeitungsartikeln, Science-Fiction-Erzählungen und Kriminalgeschichten und zeigen bei ihrer Arbeit auch an Beispielen, wie das Ergebnis aussehen könnte. Hand, Gunel und Ulu (2009, S. 238) schlagen auch vor, Texte für verschiedene Zielgruppen, etwa SchülerInnen aus niedrigeren Schulstufen, verfassen zu lassen.

1.2. Konsequenzen für den schulisch-chemischen Unterricht

Was sind überhaupt Ziel und Zweck von Chemieunterricht? Von staatlicher Seite wird diese Frage etwa durch Lehrpläne des Bundesministeriums für Bildung (bmb 2016¹¹) und die Bildungsstandards des Bundesinstituts für Bildungsforschung, Innovation und Entwicklung (bifie 2011¹²) festgelegt. Anton (2005) formuliert es so, dass SchülerInnen fähig gemacht werden sollen, Fragen zu stellen, dazu vorläufige Antworten bzw. Hypothesen zu formulieren

¹⁰ Gesprochene Sprache weist oftmals grammatikalische Fehler auf, ist wiederholend und unklar formuliert. In einem Gespräch entsteht inhärent eine Textkohäsion, während sie beim Schreiben explizit mit Wörtern geschaffen werden muss – ein (Ab-)Satz muss zuerst zu Ende gedacht werden, bevor er zu Papier gebracht wird. Somit können sich Schreibende Zeit nehmen, um anschließend Wissen zu ordnen und Vorstellungen zu reflektieren. (vgl. Nieswandt 2010, S. 252)

¹¹ https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_abs.html (letzter Zugriff am: 25.6.2017)

¹² <https://www.bifie.at/bildungsstandards> (letzter Zugriff am: 25.6.2017)

und diese auch auf die Probe stellen zu können; natürlich soll dies anschließend auch sprachlich vermittelt werden können. Hier wird neben inhaltlichen Ansprüchen außerdem ersichtlich, dass Sprache – selbst wenn man den Lehr- und Lernaspekt außer Betracht lässt – eine maßgebliche Rolle bei dieser Form von Mündigkeit spielt. Laut Lück (2008) existiere in SchülerInnen ohnehin schon ein gewisses Bedürfnis, sich über Phänomene sprachlich ausdrücken zu wollen.¹³ Dabei ist nicht unbedingt die Rede vom wissenschaftlichen Verbalisieren im Sinne eines Protokolls, sondern davon, dass Erlebtes mit FreundInnen oder der Familie geteilt werden will. Dies ist insofern nützlich, dass es die Präsenz von Gelerntem erhöht und eine Perspektivenerweiterung bewirkt, weil Wissen aus dem Unterricht nicht mehr nur zu *Prüfungswissen* degradiert werde, sondern mitunter zu Alltagswissen avanciert. Damit SchülerInnen Erkenntnisse aus dem Unterricht hinaustragen können, müssen sie üblicherweise Bildungssprache in Alltagssprache übersetzen können, was ein nochmaliges Durchdenken des Inhalts voraussetzt. Selbiges gilt auch, wenn wie von Hand et al. (2009) vorgeschlagen, SchülerInnen Inhalte für eine andere Zielgruppe aufbereiten sollen (siehe oben).

Ein Problem stellt dabei die sprachliche Vielschichtigkeit des Fachunterrichts dar: Leisen (2011) zählt (i) die nonverbale, gegenständliche Sprache, (ii) die Bildsprache, (iii) die textlich-verbale Sprache, (iv) die Symbolsprache und (v) die Formalsprache auf. Aufsteigend in dieser Reihenfolge geschieht auch immer eine größere Abstraktion des eigentlichen Phänomens. Er weist darauf hin, dass gerade bei sprachschwachen Lernenden häufige Wechsel zwischen diesen Sprachebenen zu Sprach- und Verstehensproblemen führen würden. Deshalb sei es umso wichtiger, für die jeweilige Unterrichtssituation die passende Abstraktionsebene zu wählen.

Anton schlägt in diesem Sinne sein Modell der „*Kleinschrittigkeit*“ (Anton 2010) vor. Die Idee dahinter ist, „*kleinstmögliche unterscheidbare Denk-, Argumentations-, Erfolgs- und Fixierungsschritte bei der Entwicklung einer Verstehensstrategie*“ (Anton 2016, S 162) einer Thematik auszumachen und danach im Unterricht vorzugehen. Ein Beispiel aus dem Bereich der Elektrochemie dafür wäre der in vier Einzelschritte geteilten Weg vom Daniell-Element ($Zn|ZnSO_4|CuSO_4|Cu$) zum Leclanché-Element ($Zn|NH_4Cl|MnO_2$). Auf der Ebene der

¹³ Diese Tatsache kommt einem großen Vorteil des naturwissenschaftlichen Unterrichts gegenüber anderen Schulfächern entgegen: Mit Versuchen und Experimenten ist es möglich, solche Phänomene künstlich zu erschaffen!

Bildsprache wird jeweils eine Komponente des vorangegangenen Versuchsaufbaus durch eine neue ersetzt bzw. ergänzt. Vorteile dieser Vorgehensweise wären einerseits, dass das zu bearbeitende Inhaltsfeld von einer von der Lehrperson definierten Stelle aus betreten wird und eine definierte Sachlogik besitzt, andererseits dass Vorwissen dezidiert aktiviert werde (Anton 2010). Wie sich mit dieser Methodik die unterschiedlichen Abstraktionsebenen verbinden lassen, soll in **Abschnitt 2.4.** erörtert werden.

Weiters bilden natürlich auch die Fachtermini Schwierigkeiten im Chemieunterricht. Wie schon erwähnt ist zu unterscheiden zwischen neuen Vokabeln (etwa „Sublimation“) und Begriffen, die bereits durch Alltagserfahrungen vordefiniert bzw. „*semantisch anders belegt*“ (Leisen 2011, S 11) sein könnten (z.B. „Säure“); Letztere bergen nämlich die Gefahr, dass es schon mehr oder weniger gefestigte Präkonzepte dazu gibt (etwa „Säuren sind gefährlich.“). Die chemischen Fachbegriffe können aber auch noch fortgeschrittenen LernerInnen einige Schwierigkeiten bereiten, so deutet eine „Oxidation“ auf sprachlicher Ebene an, dass Sauerstoff an der Reaktion beteiligt ist; wenn man im Anfangsunterricht der organischen Chemie gelernt hat, dass Verbindungen, die auf „-ol“ enden, der Klasse der Alkohole zuzuordnen sind, wird man bei „Benzol“ überrascht sein, wohingegen „Glycerin“ gar keine Dreifachbindung besitzt oder für ein Protein steht.

Zugegebenermaßen birgt die chemische Sprache einige Schwierigkeiten. Sie bietet aber andererseits auch den Vorteil, komplexe Vorgänge und Sachverhalte detailliert und prägnant wiederzugeben und ist mehr oder weniger international gebräuchlich. Damit die SchülerInnen eine Motivation erhalten, diese Sprache zu lernen und vor allem zu gebrauchen, ist es umso wichtiger, ihnen diese Vorteile bewusst zu machen.

So sollte die vorangegangene Definition von Ziel und Zweck guten Chemieunterrichts von Anton (2005) noch insofern erweitert werden, dass guter Chemieunterricht dann erfolgt, wenn Chemie in dem Sinn verstanden wird, dass Beziehungen zwischen Fakten, als auch zwischen Phänomen und abstrakten Erklärungen hergestellt werden können.

All diese vorangegangenen Überlegungen blieben beim Erstellen der vorliegenden Arbeit stets im Hinterkopf, im Vordergrund stand jedoch das speziell im naturwissenschaftlichen Unterricht gelebte Modelldenken.

2. Einführung – Modelldenken

2.1. Allgemeine Überlegungen zum Modelldenken

Eine zusätzliche Hürde zur Sprache bildet im Chemieunterricht das Modelldenken. Modelle sind jedoch in keiner Weise nur Phänomene der Wissenschaften, sie sind allgegenwärtig: ArchitektInnen erstellen Modelle von Häusern zur Illustration, als Kinder hatten die meisten von uns Kuscheltiere, haben die Welt am Globus erkundet oder mit Miniaturautos und Puppen gespielt. Außerdem können viele Kunstwerke und Kulturgüter als Modelle verstanden werden (zum Beispiel die „Venus von Willendorf“). Modelle können somit der Unterhaltung, aber auch der Vorstellung, der Erklärung und der (wissenschaftlichen) Kommunikation dienen.

Hinter den meisten Begriffen, auch im alltäglichen Erleben des Menschen, stehen eine Idee („Intension“, auch „Begriffsinhalt“) und eine Vorstellung bzw. ein Modell dazu („Extension“, auch „Begriffsumfang“). Betrachtet man etwa „Haus“, so lässt sich die Idee in einem Satz mittels eines Wörterbuches klären: „Gebäude, das Menschen zum Wohnen dient“ (Duden online¹⁴) – wobei ein Wort natürlich mehrere Intensionen haben kann. Ein Modell zu diesem Begriff „Haus“ wird ersichtlich, wenn man sich diesen Begriff bildlich vorstellt bzw. darstellt: beispielsweise ergibt sich ein Rechteck, mit einer Haustür, zwei Fenstern und einem Dach mit Kamin; jemand anderes würde sich mitunter nur ein Fenster oder gar drei vorstellen. Es existieren also unterschiedliche Modelle für denselben Begriff und die Extension steht für die Gesamtheit ebenjener Vielfalt. Und obwohl es nur ein zweidimensionales Abbild eines dreidimensionalen Objekts ist, das optisch wahrscheinlich auf die meisten Häuser nicht einmal zutrifft, erkennen die meisten Menschen ein Haus – ob gezeichnet oder aus der Realität – mitsamt der dahinterstehenden Idee wieder. Es ist eben ein Modell, auch wenn es nicht bewusst als solches behandelt wird.

Im Chemieunterricht bzw. den Naturwissenschaften ist es prinzipiell nicht anders: Es gibt verschiedene Wörter, hinter denen eine Idee und eine Vorstellung stehen. Allerdings gibt es maßgebliche Unterschiede zu alltäglichen Modellen:

- Chemische Modelle sind im Alltag stark unterrepräsentiert, entsprechend nicht „eingeübt“

¹⁴ <http://www.duden.de/rechtschreibung/Haus> (letzter Zugriff am: 25.6.2017)

- Dadurch ist auch die Intension hinter einem Begriff nicht unmittelbar zugänglich
- Es handelt sich oftmals um Modelle von unsichtbar-kleinen Dingen (wenn es sich überhaupt um Dinge handelt, vgl. „chemisches Gleichgewicht“)
- Dadurch besteht die Gefahr, ein Modell nicht als Vorstellung, sondern als Gegebenheit zu betrachten (*bewusstes nicht-Modell* im Gegensatz zum *nicht-bewussten Modell*)
- Der Informationsgehalt kann deutlich größer sein

Als exemplarisches Beispiel für den Informationsgehalt soll hier das weiter oben genannte „EDTA“ dienen: „EDTA“ steht für „Ethylen-Diamin-Tetra-Essigsäure“ – im Englischen „actic acid“ für „Essigsäure“.¹⁵ Die Internationalität kann dabei schon mal ein Stolperstein sein, ist allerdings noch nicht ausschlaggebend: „Ethylen“ an sich ist ein Derivat von „Ethan“, und „Ethan“ steht für die Komposition von zwei Kohlenstoffatomen und sechs Wasserstoffatomen, die einer bestimmten Ordnung unterliegen (Jedes Kohlenstoffatom bindet je ein Kohlenstoffatom und drei Wasserstoffatome). Das grammatikalische Derivat steht für ein chemisches Derivat, das anstelle von drei nur zwei Wasserstoffatome an jedem Kohlenstoffatom hat – dafür kann es zwei „chemische Reste“ oder etwa eine Doppelbindung besitzen. Ein Kohlenstoff- bzw. Wasserstoffatom steht wiederum im gängigen Standardmodell für eine bestimmte Anzahl an Protonen, Neutronen und Elektronen in einer gewissen Anordnung, wobei die beiden ersten wiederum aus Quarks aufgebaut sind. Und bis hierhin haben wir lediglich das „E“ von „EDTA“ abgehandelt! Dazu kommt, dass noch keine Idee dahinter (z.B. Reaktionsmöglichkeiten, Anwendungsmöglichkeiten, Rolle im Alltag) erörtert wurde. Zugegebenermaßen handelt es sich hier um ein eher spezielles Modell, dennoch macht es die Thematik deutlich. Außerdem ist gut ersichtlich, dass Modelle oftmals zusammengesetzt aus kleineren Modellen sind: bei „Ethan“ die Elementarteilchen, bei „Haus“ z.B. das Modell eines Fensters, das wiederum aus Scheibe und Rahmen zusammengesetzt ist usw.

Die kleinste Modelleinheit mit einer relevanten Häufigkeit in der Chemie ist wohl das einzelne Atom bzw. Ion¹⁶. Dafür existieren verschiedene Modelle, die teilweise historisch begründet

¹⁵ Gelegentlich wird im Deutschen auch „Acetat“ statt „Essigsäure“ benutzt, hier sei aber angemerkt, dass Acetat für das Essigsäureanion, also eigentlich eine andere Verbindung, steht!

¹⁶ das Elektron wird hier bewusst nicht genannt, da es meist nur eine Rolle der Rechtfertigung für Reaktionen (Übertrag von Elektronen) darstellt und selten isoliert betrachtet wird.

sind und in der Gegenwart aber oftmals immer noch eine Rolle spielen.¹⁷ So wird beispielsweise zur übersichtlichen Darstellung eines isolierten Atoms gerne das Schalenmodell von Niels Bohr herangezogen. In ihm wird ersichtlich, dass es einen Kern mit positiver Ladung gibt und äußere Orbits, in denen sich negative Ladungsträger befinden. Damit lässt sich auch die ionische Bindung einfach darstellen – ein Atom verliert ein oder mehrere Elektronen aus dem äußersten Orbit, ein anderes nimmt sie auf. Andere Bindungstypen lassen sich auch darstellen, allerdings nicht ganz so widerspruchsfrei. Für kovalente Bindungen wird zum Beispiel stattdessen eher das Orbitalmodell herangezogen: zwei separate Aufenthaltswahrscheinlichkeiten für Elektronen verbinden sich zu einer Gemeinsamen und je nachdem, welche Orbitale beteiligt sind, ergeben sich Sigma- oder Pi-Bindungen. Ab einer gewissen Anzahl an Bindungspartnern wird wiederum das Molekülorbitalmodell herangezogen, um etwa Verhaltensweisen von organischen Molekülen zu beschreiben und vorherzusagen.

So hat jedes Modell seinen Gültigkeitsbereich, in dem es sinnvoll ist, es einzusetzen oder eben nicht. Da Modelle nur Abbilder der Realität sind, *können* sie gar keinen Vollständigkeitsanspruch besitzen. Dies macht man sich aber wiederum insofern zu Nutze, dass bewusst Dinge hervorgehoben oder weggelassen werden, um eine Übersichtlichkeit zu gewährleisten; auch die Größenverhältnisse müssen nicht der Realität entsprechen, solange nicht speziell diese veranschaulicht werden sollen. Das Bohrsche Atommodell zum Beispiel wird meist zweidimensional dargestellt und die Elektronen gleichgroß wie – wenn nicht gar größer als – die Protonen. Zusätzlich wird fast immer der Abstand zwischen den Schalen und dem Kern verfälscht: eine übersichtliche *und* maßstabsgetreue Zeichnung geht sich auf einem A4-Blatt Papier gar nicht aus, der Unterschied in der Größenordnung beträgt bis zu fünf Zehnerpotenzen¹⁸. Bei einer Landkarte ist es hingegen essenziell, dass die Proportionen zueinander stimmen.

Ein weiterer Faktor ist die prinzipielle Darstellungsgröße eines Modells. Mit Modellen wird Großes wie beispielsweise das Sonnensystem klein dargestellt, oder wie schon beschrieben

¹⁷ Modelle können nicht als *richtig* oder *falsch* gewertet werden, sondern eher als *gültig* oder *nicht gültig* unter bestimmten Voraussetzungen; andere Bezeichnungen wären „gute Näherung“ oder „schlechte Näherung“ (an die Realität). Dieser Sachverhalt soll aber noch im folgenden **Abschnitt 2.2.** genauer beleuchtet werden.

¹⁸ Wenn der Kern 1 mm groß dargestellt werden würde, hätten die Schalen bei einer maßstabsgetreuen Darstellung einen Durchmesser von 100 m!

Kleines groß. Im Folgenden wird die Darstellungsgröße vereinfacht „Modellmaßstab“ genannt, ohne einer Maßstabstreue gehorchen zu müssen.

In den vorangegangenen Absätzen wurden fast nur optisch-perzeptive Modelle behandelt. Der Vollständigkeit halber soll hier erwähnt werden, dass Modelle auch andere Sinne betreffen können, beispielsweise kann eine Feuerwehrsirene stellvertretend für ein Feuerwehrauto stehen. Auch den inklusiven Unterricht betreffend wurde auf dieser Ebene auch schon gearbeitet, sodass Atommodelle aus Holzkugeln in unterschiedlichen Größen mit unterschiedlichen Oberflächen für sehbehinderte Menschen taktil-erfahrbar und unterscheidbar sind (vgl. Anton 2016).

Radikal formuliert kann das ganze Konstrukt Sprache als Modell bzw. Abstraktion von Erlebtem, Möglichem und auch Unmöglichem betrachtet werden. Das Thema „Modelle“ bringt ganz klar eine Infragestellung der Realität mit sich; was Realität ist, ob es überhaupt eine universelle und objektive Realität gibt oder ob Realität vielmehr von jedem Subjekt geschaffen wird, soll an dieser Stelle anderen PhilosophInnen überlassen werden.

2.2. Die Allgemeine Modelltheorie nach Herbert Stachowiak

Als Standardwerk im Bereich der Modelle gilt auch heute noch Herbert Stachowiaks Werk „Allgemeine Modelltheorie“ (Stachowiak 1973), auf das sich auch die vorliegende Arbeit maßgeblich stützt.

Wörtlich zitiert charakterisiert er Modelle durch drei Hauptmerkmale:

- *Abbildungsmerkmal: „Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können.“ (S. 131)*
- *Verkürzungsmerkmal: „Modelle erfassen im Allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und/oder Modellbenutzern relevant scheinen.“ (S. 132)*
- *Pragmatisches Merkmal: „Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion*

- a.) für bestimmte – erkennende und/oder handelnde, modellbenutzende – Subjekte
- b.) innerhalb bestimmter Zeitintervalle
- c.) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen.“ (S. 132)

Bezüglich des **Abbildungsmerkmals** sei es ohne Belang, wie das Modell zustande kam, ob auf natürliche Weise oder technisch hergestellt. Das Wort „Abbildung“ suggeriert alltagssprachlich verstanden eine optisch-darstellende Dimension, der Ausdruck sei aber vielmehr der mathematischen Abbildung zugehörig: So kann es sich bei einem Modell genauso um Symbole, Vorstellungen, physische Objekte oder Ähnliches handeln, in weiterer Folge sind damit auch Vorgänge (vgl. „chemisches Gleichgewicht“) oder räumliche Konfigurationen (z.B. Koordinatensysteme) gemeint.

Die Auswahl der Attribute, die nicht erfasst werden, könne beim **Verkürzungsmerkmal** einerseits regellos, andererseits aber auch nach strenger Zweckbestimmtheit erfolgen. Dies deutet schon auf einen anfänglichen Pragmatismus hin, er fällt allerdings nicht so spezifisch wie im dritten Hauptmerkmal aus. Stachowiak zitiert in diesem Zusammenhang Klaus (1963), der „die Tätigkeit der Abstraktion“ nicht im „Weglassen von Merkmalen, sondern im Variabelmachen von Merkmalen“ sieht. Als Beispiel diene der Übergang vom rechtwinklig-gleichschenkligen Dreieck zum Oberbegriff, dem gleichschenkligen Dreieck: Die Konstanz des ursprünglich rechten Winkels würde lediglich ersetzt durch eine Variable, die das Intervall von 0 bis π durchläuft.

Das **pragmatische Merkmal** unterliege einem „vierdimensionalen basalen pragmatikategorialen Bezugssystem“ (Stachowiak 1973, S. 133): Es genüge nicht die Frage, (i) wovon ein Modell das Abbild ist, es sei auch stets für (ii) jemanden, für (iii) ein bestimmtes Zeitintervall und zu (iv) einem bestimmten Zweck.

Modelle treten in unterschiedlichster Weise auf, es folgt eine von Stachowiak vorgeschlagene Kategorisierung:

Die wohl primitivsten Formen bildet die Klasse der **Bildmodelle**, also die zweidimensionale Darstellung von zwei- oder dreidimensionalen Originalen. Darüber hinaus können aber

natürlich auch andere Bereiche als Vorlage dienen, genannt werden etwa die Wahrnehmung, die Vorstellung und auch andere gedankliche Operationen. Stachowiak unterscheidet zwischen drei Formen: Da wären einerseits die naturalistischen Modelle, zu denen etwa Fotografien oder Gemälde zählen – wichtig ist, dass sie überwiegend ikonischen¹⁹ Charakter besitzen. Es geht weiter über teilschematische Modelle, die häufig in Biologie oder Medizin vorkommen (z.B. Zeichnungen von Organen), hin zu den vollschematischen Darstellungen, wie chemischen Strukturformeln oder elektronischen Schaltskizzen mit überwiegend symbolischem Charakter.

Darstellungsmodelle sollen hingegen weniger Strukturen sondern eher Funktionen bzw. Relationen der Elemente zueinander aufzeigen – als wichtiger Vertreter sei hier das Diagramm genannt, das etwa in der Physik die Beziehung zwischen Weg und Zeit oder in der Chemie zwischen Reaktionsfortschritt und Energiegehalt des Systems aufzeigt. Eine klare Trennlinie für den Übergang zu den Bildmodellen sei oftmals schwierig zu ziehen, als Beispiel hierzu dient die Schaltskizze: Während in der achten Schulstufe in Physik Schaltskizzen eher in Form von „Blockschaltbildern“ (z.B. ein Block für einen Gleichrichter in einem Stromkreis) bearbeitet werden, wird selbiges Gerät etwa in einer Höheren Technischen Lehranstalt (9.-13. Schulstufe) als Ensemble seiner einzelnen Bauelemente wie Widerständen, Dioden etc. dargestellt – vormals mag eine Relation zwischen den Geräten zwar auch zu einem gewissen Teil wichtig gewesen sein (serielle Schaltung im Gegensatz zur parallelen Schaltung), sie rückt aber durch die sowohl andere Darstellungsform als auch -ebene (einzelne Bauelemente) in einen größeren Fokus.

Im Allgemeinen werden zweidimensionale Modelle konventionell selten Modelle genannt, es existieren eine Reihe anderer (teilweise spezifische) Wörter: Abbildung, Darstellung, Schaubild, Flussdiagramm, Querschnitt, Schaltplan usw.

Die physikotechnischen Modelle bilden eine heterogene Gruppe, die dreidimensionale und gar virtuelle Modelle beinhaltet. Die primitivsten Modelle dieser Art sind wohl die **statisch-mechanischen Modelle**, zu denen Globen und Reliefs, aber auch chemische Gittermodelle zählen. Sie können räumlich dilatiert oder kontrahiert sein, bleiben aber zeitlich invariant. Im Gegensatz dazu stehen die **dynamisch-mechanischen Modelle**, wie etwa Modelle des

¹⁹ Während einem Symbol eine bestimmte Bedeutung zugeschrieben wird, steht ein Ikon unmittelbar für seine eigene Bedeutung: das fotografische Modell (= Fotografie) einer Landschaft steht für die Landschaft selbst, während eine chemische Skelettformel – von z.B. EDTA – erst entschlüsselt werden muss.

Sonnensystems mit den unterschiedlichen Umlaufzeiten der Planeten oder technische Prüfstände für den simulierten Materialverschleiß. Auch Film- und Tonaufnahmen lassen sich dieser Kategorie zuordnen.²⁰ Die Gruppe der **elektrotechnischen Modelle** besteht aus den elektromechanischen (z.B. Modellexperiment²¹ der „Leiterschaukel“²² zur Demonstration elektrischer Kraftwirkungen), den elektronischen (z.B. Computersimulationen zur Proteinfaltung) und den elektrochemischen Modellen (etwa das Miller-Urey-Experiment zur Simulation der Entstehung des Lebens).

Natürlich bedienen sich auch die meisten anderen Disziplinen abseits der „klassischen“ Naturwissenschaften Modellen. Die Lebenswissenschaften beispielsweise ziehen nicht ungern ganze **Modellorganismen** heran: In Versuchen mit Bakterien, Pilzen oder Tieren sollen neue Möglichkeiten erschlossen werden, etwa die Wirksamkeit von Krebstherapeutika oder die Verträglichkeit von Kosmetika für den Menschen. In den Lehr- und Lernwissenschaften wird gerne von einem **Modellsubjekt** ausgegangen, welches bestimmte Merkmale erfüllt (Alter, Schulstufe etc.), der restliche Hintergrund wird allerdings vernachlässigt: individueller Entwicklungsstand, persönliche Interessen, soziale Herkunft, persönliche Probleme usw. Weiters sollen noch **wirtschaftswissenschaftliche Modelle** genannt werden, auf Grund derer Prognosen für die Zukunft, z.B. das Wirtschaftswachstum betreffend, gemacht werden können. Zu den **soziotechnische Modellen** gehören die meisten Arten von Umfragen in der Bevölkerung, beispielsweise bezüglich der Beliebtheit von PolitikerInnen, bei denen eine bestimmte Anzahl an Befragten modellhaft für die Gesamtheit einer Region oder eines Staates stehen.

Diese angeführte Aufzählung besitzt keinen Vollständigkeitsanspruch, sie hat lediglich exemplarischen Charakter.

Neben den mehr oder weniger materiellen Modellen gibt es dann noch die rein gedanklichen, auch **semantischen Modelle**. Ein geradezu alltäglicher Fall stellt hierbei die Schrift dar. Im Deutschen Schriftsystem stehen bestimmte Buchstaben oder -kombinationen für bestimmte Laute, in den Naturwissenschaften hingegen stehen sie mitunter für ganz anderes, etwa für

²⁰ Das Erscheinungsdatum des Werks lässt vermuten, dass sich hier auf analoge Aufnahmen beschränkt wurde. Das Attribut „mechanisch“ fiel wohl bei digitalen Medien (Filme, Animationen, interaktive Spiele etc.) weg.

²¹ Für den Begriff des „Modellexperiments“ vgl. Sommer, Klein, Steff & Pfeiffer (2012)

²² Ein Stromdurchflossener Leiter wird im Magnetfeld eines U-Magneten aufgehängt; der Leiter bewegt sich – je nach Stromrichtung – nach vorne oder nach hinten. Siehe etwa <http://schulen.eduhi.at/riedgym/physik/11/elektromagnetis/lorentz/lorentzkraft.htm>

chemische Elemente oder physikalische Größen. Die Idee ist nun, den Gegenstand an sich bzw. das gesprochene Wort als ein *primäres Kommunikationssystem* zu betrachten. Die Schrift ist ein Modell dieses Originals, man könnte sie also als *sekundäres Kommunikationssystem* bezeichnen. Im Prinzip könnten so beliebig viele Modellkommunikationssysteme (von vorangehenden (Modell-) Kommunikationssystemen) gebildet werden, eine weitere Abstufung in der deutschen Sprache – ein tertiäres Kommunikationssystem – wäre in diesem Beispiel die Brailleschrift. So bilden sich Hierarchien aus, die nicht zwangsweise linear verlaufen, sondern sich auch verzweigen können. **Abbildung 2** soll dies verdeutlichen.

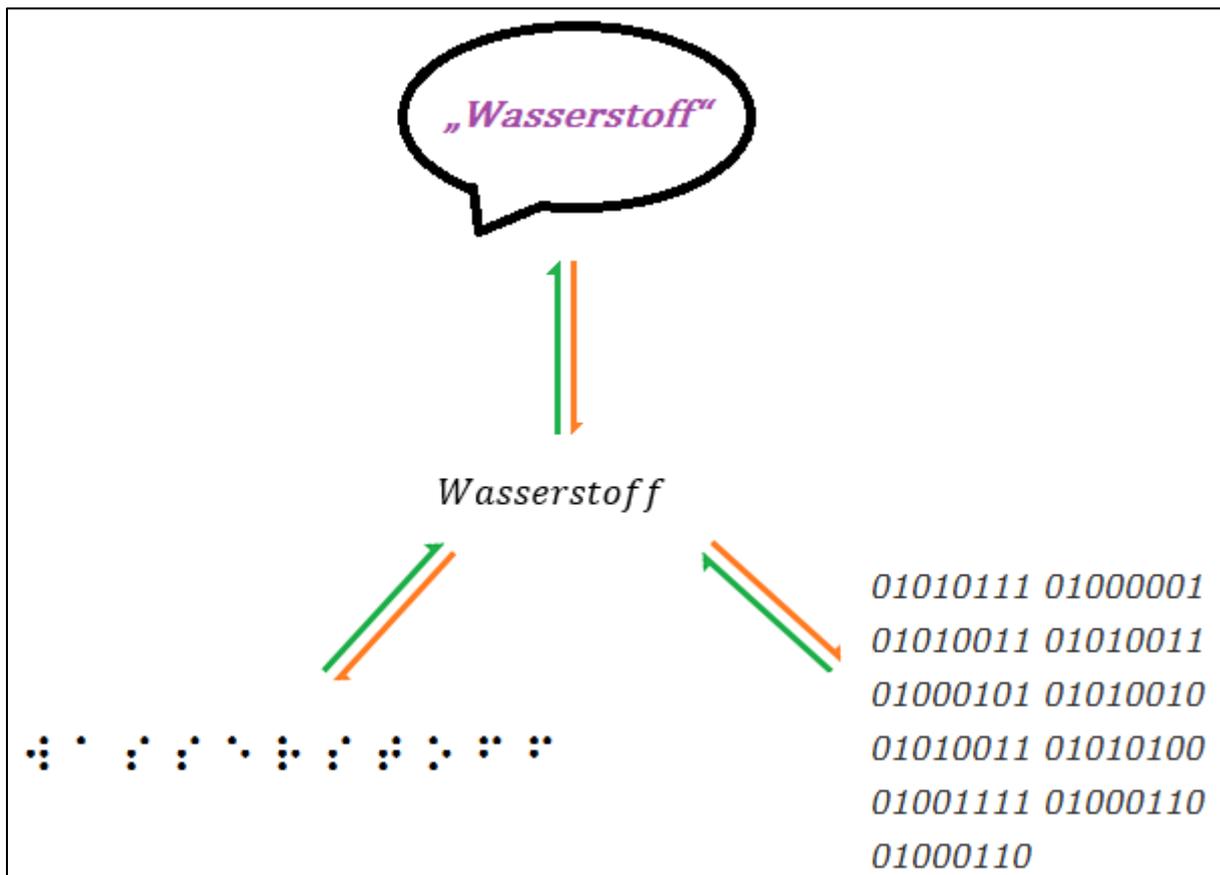


Abbildung 2: Kommunikationssysteme im sprachlichen Kontext. Das geschriebene Wort „Wasserstoff“ mit lateinischen Buchstaben (sekundäres Kommunikationssystem) wird links in Braille, rechts im Binärcode (über die ASCII-Kodierung) (jeweils tertiäres Kommunikationssystem) dargestellt. Orange Pfeile stehen für eine Reduktion, grüne für eine Erweiterung des Informationsgehaltes. Man bedenke, dass der Binärcode eigentlich auch nur eine Darstellungsform für die Zustände „Stromfluss“ und „kein Stromfluss“ ist.

Durch solche Abbildungsvorgänge gehen Informationen (in diesem Fall beispielsweise ein Großteil der Akustik) verloren, abgesehen von Lautstärke und Tonhöhe auch die Aussprache. Es mag zwar – etwa durch die Lautschrift – konventionell festgelegt sein, wie ein „E“ in einer Sprache bzw. einem Kontext auszusprechen ist, dennoch ist es rein vom physiologischen

Standpunkt her beinahe unmöglich, dass zwei unterschiedliche Personen ein identes „E“ ausdrücken. Der durch den Abbildungsschritt erfolgte Informationsverlust wird von Stachowiak „Verkürzung“ oder „Reduktion“ (siehe oben, „Verkürzungsmerkmal“) genannt.

Es wurden hier lediglich sprachliche Aspekte betrachtet, dieses Modell lässt sich aber auch auf fachliche Kontexte anwenden, und es zeigt sich, dass mit einer sprachlichen Reduktion zeitgleich eine fachliche Erweiterung einhergeht; deswegen soll die „Reduktion“ eines Modells in der vorliegenden Arbeit von nun an „Abstraktion“ genannt werden, da eigentlich nicht nur reduziert wird, sondern gewisse Informationen erst „sichtbar“ werden und somit sogar „hinzukommen“. Das Gegenteil von Abstraktion, also die Bewegung entlang der Kommunikationssysteme in die andere Richtung, wird von nun an „Spezifikation“ genannt.

Abbildung 3 soll dies illustrieren; es zeigt sich außerdem, dass die entstehenden Hierarchien nicht streng gültig sind.

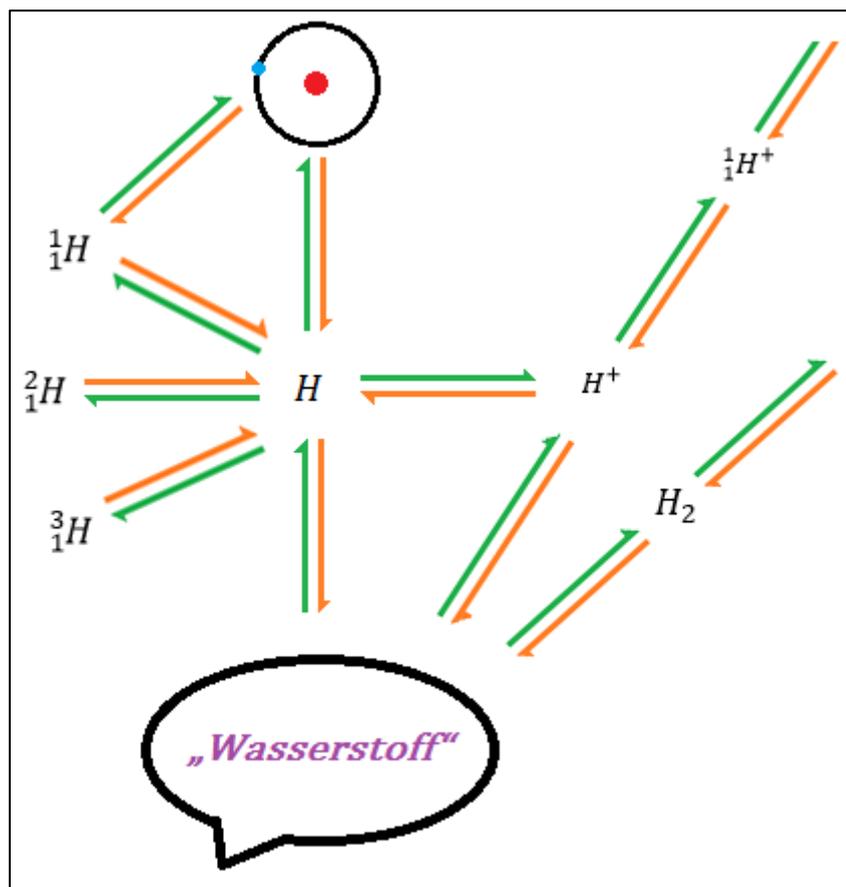


Abbildung 3: Grüne Pfeile stehen für eine chemisch-fachliche Spezifikation bei gleichzeitiger sprachlicher Abstraktion, orange Pfeile stehen für eine chemisch-fachliche Abstraktion bei gleichzeitiger sprachlicher Spezifikation. Eine nicht-Einhaltung der Hierarchie wird beispielsweise ersichtlich beim Übergang vom Protium-Isotop zum grafischen Atommodell – geht man beim Elementsymbol „H“ von der nominellen Masse aus, kann die Symbolebene „ ${}^1_1\text{H}$ “ ausgelassen.

Die Aufgabe von Modellen beschreibt Stachowiak als vielseitig: Einerseits würden Experimentalmodelle zur Ermittlung und Überprüfung von Hypothesen herangezogen, im theoretischen Bereich würden logische Erkenntnisse über Sachverhalte gewonnen, während operative Modelle als Verbindung zur Außenwelt benutzt werden, um etwa Entscheidungs- und Planungshilfen zu stellen. Didaktische Modelle zählt er nicht dazu, sie bilden viel mehr eine eigene Sparte. Dies wird auch von einigen anderen weitergetragen (vgl. Neugebauer 1980 (S. 70), Buddensiek, Kaiser & Kaminski, 1980 (S. 94) aber auch Bindernagel & Eilks 2008)

Zwangsläufig stellt sich bei dieser durchaus philosophischen Auseinandersetzung mit Modellen die Frage nach dem Original. Das Original wäre nach Stachowiaks Verständnis eigentlich jener Gegenstand, den ein Modell abzubilden versucht. Dieser Gegenstand muss nicht materieller Natur sein, sondern kann auch ein Gedankenkonstrukt, etwa eine Idee oder wahrgenommene Realität, sein. Allerdings tun sich dazu Fragen in konkreten Beispielen auf: Man nehme an, ein Gebäude wurde nach den Plänen von ArchitektInnen gebaut, die Pläne entsprangen den Gedanken jener Personen. Ist das Original nun jener Gegenstand, von dem aus gearbeitet wurde (die Idee) oder jener Gegenstand, der „in Wirklichkeit“ an diesem Platz steht (das Gebäude)? Oder ist es gar der Plan, da es das in dieser Reihe chronologisch erste Konstrukt ist, das „objektiv erfassbar“ ist?

Man könnte auch die Planung eines militärischen Manövers betrachten: Am Anfang steht die taktische Idee des/der Planenden. Um die Pläne an weitere Befehlshabende zu vermitteln, werden auf einer taktischen Karte symbolisch SoldatInnenverbände bewegt. Zum Zeitpunkt der Durchführung des Manövers weicht „die Wirklichkeit“, also etwa die Truppenbewegungen, durch ein nicht vorhergesehenes Ereignis vom Schlachtplan ab. Welches ist nun das Original? In Geschichtsbüchern würde vermutlich hauptsächlich der „reale“ Verlauf der Schlacht thematisiert werden und nicht die Planung.²³

Stachowiak gelingt es nicht, das Dilemma aufzulösen, ob das Original nun Edukt oder Produkt der Modellerstellung ist (vgl. auch Buddensiek et al. 1980 S. 97). Dies ist eigentlich aus *konstruktivistischer*²⁴ Perspektive auch gar nicht *eindeutig* möglich, denn schlussendlich ist

²³ An dieser Stelle soll auch angemerkt sein, dass so genannte „Reenactments“ (engl. für „Nachstellung“) von beispielsweise einer historischen Schlacht ebenfalls Modelle sind, die Semantik und Materialität nach der obigen Unterscheidung von Stachowiak miteinander verbinden.

²⁴ Von „Konstruktivismus“, eine gängige Theorie zur Lernpsychologie; vgl. Duit (1995)

alles, was der Mensch tut, denkt oder erfährt ein Produkt seiner begrenzten Sinneseindrücke. So kann der Mensch beispielsweise elektromagnetische Wellen nur innerhalb eines bestimmten Spektrums wahrnehmen, also lediglich einen reduzierten Teil der „objektiven Wirklichkeit“. Und sollte es hypothetisch doch jemand schaffen, wird er/sie vermutlich nie „verlustfrei“ jemand anderes davon erzählen können, weil einerseits die Zeit dazu fehlen würde und andererseits durch eine Kommunikationsform wie Sprache wiederum nur modelliert werden würde.

Abgesehen davon ist es außerdem problematisch, vom Modell als Abbild von Sinneseindrücken wieder auf „das Original“ zu kommen. Geht man beispielsweise von der *idealen Gasgleichung* aus, kann man in erster Näherung gute Prognosen für das Verhalten von Gasen erhalten. Im *naiven Realismus* würde man sagen, dass durch das Hinzufügen bestimmter (mathematischer) Parameter ein realistisches Modell, etwa die *Van-der-Waals-Gleichung* (auch *reale Gasgleichung*), erhalten werde. Margaret Morrison (1997) kritisiert diese idealisierende²⁵ Haltung, indem sie gerade in mathematisch-physikalischen Modellen den symbolischen Charakter unterstreicht, und Symbole an sich nicht in *richtig* oder *falsch*, sondern inhärent nur in *brauchbar* oder *unbrauchbar* klassifizierbar seien. So könne man zwar eine höhere Approximation an das Original ermöglichen, allerdings werden eben auch bei der *realen Gasgleichung* Reduktionen durchgeführt: beispielsweise wird die Temperaturabhängigkeit des Binnendrucks im Gas vernachlässigt. Diese Abhängigkeit wird zwar bei der *Dieterici-Gleichung* berücksichtigt, allerdings geht jene wiederum immer noch von einer konstanten Systemtemperatur aus – auch in der Nähe der Systemgrenzen.

Die Aufzeigung dieser Problematik an einer stark erforschten und vor allem weitestgehend bestätigten Theorie weist darauf hin, dass nicht nur neue Theorien von gewissen Unsicherheiten betroffen sind, sondern eben auch „alte“, Etablierte noch durch und durch Modellcharakter besitzen.

Für Morrison ist bereits der Gedanke, dass physikalische Gesetze *universelle Gesetze an sich* sein sollen, schon nur eine Näherung. Ein exemplarisches Beispiel hierfür wäre wohl die Newtonsche Mechanik, die etwa 300 Jahre ihre universelle Gültigkeit besaß, Anfang des 20.

²⁵ „Idealisierend“ ist in diesem Kontext als Verherrlichung und Überbewertung des Modells gemeint, sodass es für die Realität gehalten wird. In der vorliegenden Arbeit wird dies später auch als „Verselbstständigung von Modellen“ bezeichnet.

Jahrhunderts jedoch von der Einsteinschen Relativitätstheorie²⁶ abgelöst wurde. Newtons Gesetze mögen wohl eine durchaus gute Näherung für den Alltag sein, aber in keinster Weise universell.²⁷ Metaphorisch gesprochen meint sie weiters, dass eben nicht Mathematik die Sprache der Natur sei, wie oft angenommen wird: „The syntax is mathematical while the semantics are physical.“ (Morrison 1997, S. 16)

Unter anderem ist es deshalb sinnvoll, Modelle nicht als *richtig* oder *falsch* anzusehen, sondern wie oben beschrieben als *brauchbar* und *unbrauchbar* bzw. *gültig* und *ungültig* unter bestimmten Bedingungen oder in einem bestimmten Bereich. Dies würde sowohl den subjektiven als auch den pragmatischen Charakter unterstreichen und zur Bewusstseinserschaffung beitragen.

Stachowiaks Allgemeine Modelltheorie bildet mehr oder weniger die Basis für alle nach ihm kommenden Definitionen für Modelle und ist wohl als Meilenstein auf diesem Gebiet anzusehen. Laut Bindernagel et al (2008) stammt die mittlerweile gängigste Definition für wissenschaftliche Modelle von van Driel und Verloop (1999), die der Vollständigkeit halber noch angesprochen werden sollte:

Der erste Definitionspunkt bezieht sich auf die (i) Repräsentationsnatur eines Modells, wobei explizit von zu modellierenden Objekten und Prozessen die Rede ist. Zweitens (ii) ist ein Modell ein Werkzeug der Forschung, um Informationen über einen Zielbereich zu erfahren, der nur indirekt zugänglich ist. Drittens (iii) beinhaltet ein Modell Analogien zu ebenjenem Zielbereich, sodass das Ableiten von Hypothesen möglich wird. Viertens (iv) wird durch die Reduktion ein Modell so einfach wie möglich gehalten und fünftens (v) werden Modelle interaktiv erstellt, sodass Erkenntnisse durch das Modell zu einer Überarbeitung des Modells selbst führen können.

Dies sind mehr oder weniger alle Konsequenzen der *Allgemeinen Modelltheorie*, allerdings werden perspektivischer und forschungsrelevanter Charakter, etwa durch die Punkte (ii), (iii) und (v), noch einmal deutlich hervorgehoben. Darüber hinaus lässt diese Definition eher eine Vereinigung der Begriffe „Konzept“, „Theorie“ und „Modell“ zu, sodass zum Beispiel nicht nur

²⁶ Es sei hier angemerkt, dass die Relativitätstheorie mit ihrem Determinismus schon prinzipiell der Quantenmechanik mit ihrem zufälligen Charakter widerspricht – dennoch sind beide Theorien für jeweilige Anwendungszwecke bestätigt und in Gebrauch.

²⁷ Die gleiche Argumentation könnte man auch für die antizipierte Konstanz so genannter „Naturkonstanten“ benutzen: der Zeitraum, in dem der Mensch diese Konstanten numerisch kennt, ist im Verhältnis zur Zeitspanne der Existenz der Natur verschwindend klein, um nicht zu sagen: *vernachlässigbar*.

von einer Säure-Base-Theorie, sondern ebenso von einem Säure-Base-Modell gesprochen werden kann. Offensichtlich werden didaktische Modelle auch nicht mehr separat betrachtet, weil Lernen als Art der Forschung angesehen wird.

2.3. Konsequenzen für den allgemein-schulischen Unterricht

In den wenigsten Fällen ist der Lerngegenstand an sich im schulischen Unterricht (beispielsweise im Geschichte- oder Geografieunterricht) unmittelbar verfügbar – sehr oft muss ein leichter verfügbares Modell des Lerngegenstands herangezogen werden: Man sieht sich einen Dokumentarfilm über eine historische Epoche an oder betrachtet die Welt durch eine Karte. Bildliche Modelle sind aber nicht die einzig eingesetzte Art: Man denke nur an die zahlreichen Modellversuche gerade im naturwissenschaftlichen Unterricht, Rollenspiele oder so genannte „Listening Comprehensions“ aus dem Englischunterricht, die ein Gespräch modellieren. Wilfried Neugebauer (1980, S. 57ff) schließt daraus: „*Modellsituationen*“ sind eigentlich Standardsituationen im Unterricht.

Er unterteilt didaktische Modellsituationen in hauptsächlich vier Bereiche:

- *„Erfahren durch Modelle“* bzw. *„Lernen durch Modelle“*
Hierunter versteht er die Aneignung von Wissen, die SchülerInnen sollen Sachverhalte des Bezugssystems mittels Modellen lernen.
- *„Leisten mit Modellen“* bzw. *„Arbeiten mit Modellen“*
In dieser Situation steht nicht der Input im Vordergrund, sondern der Output der SchülerInnen, beispielsweise in Form einer Leistungskontrolle.
- *„Setzen von Modellsituationen“* bzw. *„Arbeiten an Modellen“*
Die SchülerInnen entwerfen selber Modelle bzw. vergleichen ihnen bekannte Modelle miteinander. Als Beispiel wird die Erstellung eines Modellbetriebs im Wirtschaftsunterricht genannt.
- *„Prüfen von Modellsituationen“* bzw. *„Urteilen über Modelle“*
Die SchülerInnen wenden ein Modell auf verschiedene (miteinander verwandte) Bezugssysteme an und vergleichen die Akkuratess des Modells auf das jeweilige Bezugssystem.

Diese Einteilung erscheint zielführend, bei genauer Betrachtung von Unterrichtspraxis und Schulbüchern fällt aber auf, dass die letzten beiden Situationen in konventionellem Chemieunterricht eher selten stattfinden und die beiden Ersten nie so explizit (im Bezug zu einem Modell) dargestellt werden.

Die Problematik dabei ist offensichtlich: das Modell „*verselbstständigt sich*“ (Neugebauer 1980, S. 60), es wird von Lernenden als Realität angenommen, wobei das Bezugssystem (also das Original, das durch das Modell abgebildet wird) in Vergessenheit gerät. Deshalb sollte solch eine Gliederung bei der Unterrichtsplanung immer mit berücksichtigt werden, damit den SchülerInnen bewusst gemacht werden kann, dass ein Modell eben nur ein Modell ist²⁸.

Dazu bedarf es natürlich eines reflektierten Umganges mit Modellen schon bei der Lehrperson. Dies kommt nicht nur beim Unterrichten mit Modellen zu tragen, sondern auch schon bei der Planung, respektive Konstruktion und Erstellung von Modellen. Salzmann (1974, S. 180) erweitert Stachowiaks Modelltheorie in diesem Kontext um eine zusätzliche Komponente der *Transparenz*: Durch die gezielte Setzung von Akzenten soll eine Transparenz entstehen, die das Modell für die ModellbenutzerInnen als einfach und hilfreich erscheinen lässt – es sollen also bei der Erstellung nicht nur Absicht und Verwendungssituation, sondern auch die ModellbenutzerInnen, deren Wissensstände und kognitiven Fähigkeiten berücksichtigt werden.²⁹

Außerdem ist bei der Umsetzung im Unterricht darauf zu achten, dass den Lernenden – ganz im Sinne des Konstruktivismus – durch Bekanntes ein Halt bzw. eine Orientierungshilfe innerhalb des Modells gegeben werden. So sieht das Erlernen des Lesens von Straßenkarten etwa so aus, dass beim Schulgebäude begonnen wird, sich entlang der angrenzenden Straßen in alle Richtungen bewegt und so die Stadt allmählich im Modell wiedererkannt wird. Andererseits könnte man zur Einführung in die Welt der Symbole des naturwissenschaftlichen Unterrichts mit allgemeinen, anderen international verwendeten Symbolen beginnen, um die Funktion und den Nutzen von Symbolen im Allgemeinen anzudeuten.³⁰ Anschließend sollte

²⁸ Bindernagel et al. (2008) sind sogar der Meinung, dass ein *reflektierter Modellbegriff* ein Aspekt der Erkenntnisgewinnung der Bildungsstandards sei.

²⁹ Hierbei handelt es sich um eine Verfeinerung von Stachowiaks (1973) *Kontrastierung*, die Teile des Reduktions- und des pragmatischen Merkmals sind.

³⁰ Als Beispiele seien hier das Ein-/Aus-Symbol auf einer Fernbedienung, das Play-Symbol zur Musikwiedergabe oder die achteckige Stopp-Tafel im Straßenverkehr angeführt. Einen noch stärkeren Bezug erfahren die SchülerInnen wohl, wenn Emoticons herangezogen werden – hier wird zusätzlich deutlich, dass Symbole nicht richtig oder falsch *sein können*, sondern höchstens richtig oder falsch *benutzt werden können*.

auch der jeweilige Modellcharakter offengelegt werden, beispielsweise mit anderen Karten oder gar Satellitenaufnahmen³¹ des gleichen Gebiets. Eine hohe Transparenz führt zwar zwangsläufig zu erhöhter Verfremdung des Originals, ist aber bei didaktischen Modellen unumgänglich.³² Der Modellcharakter darf allerdings nicht verschleiert, sondern sollte offengelegt werden – etwa, indem die Grenzen des Modells aufgezeigt werden.

Um der Verselbstständigung von Modellen weiter entgegenzuwirken, bietet es sich an, im Fachunterricht über Modelle auf einer Metaebene zu unterrichten. Eine Möglichkeit wäre zum Beispiel, unterschiedliche Modelle aufzählen und Unterschiede bzw. die Abweichungen vom Original ausarbeiten zu lassen. Um den subjektiven oder auch perspektivischen Charakter zu unterstreichen, könnten SchülerInnen mit LehrerInnen gemeinsam Modelle entwickeln und auf ihre Belastbarkeit prüfen (vgl. Buddensiek et al. 1980, S. 114-118). Außerdem könnten auch Entstehungsgeschichten von fachwissenschaftlichen Modellen erörtert werden. Brigitte Falkenburg (1997 S 30-34) gelingt dies beispielsweise sehr gut an Bohrs Atommodell. Diese Maßnahmen fallen vermutlich in die von Neugebauer definierten und weiter oben angeführten dritten und vierten Modellsituationen.

Außerdem erhöht wohl auch die offensichtliche Gliederung eines Systems in seine Subsysteme die Transparenz, wie etwa der Technikdidaktiker Günter Ropohl (1980) vorschlug: als Beispiel führt er das Sachsystem „Betrieb“ an, das in viele hierarchisch klar definierte Subsysteme (z.B. „Fertigungsbereich“ -> „Werkzeugmaschine“ -> „Getriebe“ -> „Zahnrad“; S. 134) unterteilt wird.

In diesem Zusammenhang sollten auch **Baukastensysteme** erörtert werden. Sie bestehen meist aus einem standardisierten Teilchenvorrat und es können dreidimensionale und – je nach Baukastensystem – statische, dynamische, mitunter sogar elektrische Modelle (siehe **Abschnitt 2.2.**) erstellt werden. Die Konstruktion fördere laut Ropohl das technisch-kreative Denken, die anschließende Demontage ließe den strukturellen Aspekt, die Relation der Verbindungen zueinander, noch einmal Revue passieren. Vor Allem, dass diese standardisierten Bauteile auf unterschiedlichste Weise eingesetzt werden können, würde ein pragmatisches und kreatives Denken fördern. Ropohl kritisiert dabei, dass die (damals

³¹ Mittlerweile sind Satellitenbilder von vielen Orten leicht im Internet zugänglich, gratis etwa unter <http://maps.google.com>

³² Diese innere Spannung könnte man in einem prägnanten Satz zusammenfassen: „Alles Einfache ist falsch, alles Komplizierte unbrauchbar.“ - frei nach Paul Valéry (1937)

verwendeten) Holz- und Steinbaukästen ob ihrer Beschaffenheit nur statische Modelle zuließen. Metallbaukästen seien in dieser Hinsicht zwar weitaus flexibler und belastbarer, allerdings dauere der Aufbau durch entsprechend aufwändige Schraubverbindungen zu lange. Er forderte Baukastensysteme aus Kunststoff, da sie durch Steckverbindungen einerseits einfach zu (de-)montieren seien, andererseits eine gewisse Belastbarkeit und Erweiterungsmöglichkeit, etwa durch Elektromotoren, gegeben sei.

Mittlerweile sind solche Kunststoffbaukastensysteme längst in privaten Haushalten, meist als Kinderspielzeug, angekommen, im schulischen Unterricht werden heute eher Spezialisierte (etwa Molekülbaukästen oder rein elektrotechnische Baukästen) eingesetzt. Zwar gibt es auch allgemeine Baukästen, beispielsweise von fischertechnik^{®33}, die gezielt für den schulischen und hochschulischen Unterricht erstellt wurden, das Einsatzgebiet scheint sich aber nur über Deutschland zu erstrecken.³⁴ Ropohl bemängelt überdies auch, dass die meisten Baukastensysteme lediglich zwei Ebenen der Hierarchie aufzeigen würden: jene der einzelnen Bausteine und jene des fertigen Modells. fischertechnik[®] setzt heute seine fertigen Modelle oftmals aus Modulen zusammen, die wiederum aus den standardisierten Bausteinen bestehen; so gibt es zumindest eine zusätzliche Ebene.

Der Einsatz von **Animationen** im Unterricht erfährt mittlerweile auch immer mehr Popularität. Zwar wurden früher wohl auch schon Trickfilme mit Lehrinhalten gezeigt, heute scheint das Angebot aber um einiges größer und leichter verfügbar zu sein – man muss sich nur im Internet umsehen³⁵. Der Vorteil ist, dass sie oftmals sehr kurz sind und in einer Endlosschleife laufen, sodass „verpasste Eindrücke“ einfach beim nächsten Durchlauf erkannt werden können. Handelt es sich aber um längere Animationen oder gar Videos, können sie per Mausklick jederzeit angehalten werden und an einer beliebigen Stelle fortgesetzt werden – Lernende können das Tempo des Lernprozesses individuell und eigenständig steuern. Zudem gibt es auch interaktive Bildmodelle, die beispielsweise so gestaltet sein können, dass die Perspektive auf ein virtuelles Objekt beliebig verändert werden kann³⁶, andererseits können

³³ in Zusammenarbeit mit der Technik-LPE GmbH, siehe <http://www.fischertechnik.de/home/Education.aspx> (letzter Zugriff am: 25.6.2017)

³⁴ <https://fischertechnikblog.wordpress.com/2014/10/28/wo-fischertechnik-zur-schule-gehört/> (letzter Zugriff am: 25.6.2017)

³⁵ Beispielsweise bietet der Arbeitskreis um M. W. Tausch der Bergischen Universität Wuppertal gratis qualitativ hochwertige Animationen für den Chemieunterricht an: <http://www.chemie-interaktiv.net/flashfilme.htm> (letzter Zugriff am: 25.6.2017)

³⁶ Ein Beispiel hierzu wäre unter <https://animagraffs.com/wankel-rotary-engine/> zu finden. (letzter Zugriff am: 25.6.2017)

per Mausklick verschiedene Modi bzw. Abläufe der Animation aktiviert und deaktiviert werden. Die Vorteile liegen Großteils in der Einfachheit der Anwendung, da sie übersichtlich und oftmals vielseitig gestaltet sind – die Erstellung erweist sich dafür aber umso aufwändiger. Dennoch gibt es unterrichtsmethodische Ansätze in diese Richtung, beispielsweise von Sandt (2017): Sie erstellte eine durchanimierte, 45-minütige Sequenz über die Synthese von Natriumchlorid aus den Elementen, wobei beim Atommodell angesetzt wird und aber auch der energetische Aspekt der Reaktion angesprochen wird. Die Lehrerfahrung fiel positiv aus, die SchülerInnen waren dem vermehrten Einsatz von Animationen im Unterricht anscheinend auch sehr zugetan – allerdings habe das Erstellen der Präsentation acht Wochen gedauert. Für praktizierende LehrerInnen ist dieser Zeitaufwand wohl kaum aufbringbar, allerdings kann, wie schon erwähnt, auf ein stattliches Angebot im Internet zurückgegriffen werden.

Ganz allgemein lässt sich abschließend sagen, dass wenn Modelle für den Unterricht nicht selbst erstellt, sondern z.B. fachwissenschaftliche Modelle übernommen werden, vorher auszumachen ist, wie geeignet sie für Lernende sind und ob sie anschluss- und ausbaufähig sind. Im Vordergrund soll immer die Erklärungskraft des Modells im Bezug zur Zielgruppe stehen – Erkenntnisprozesse dürfen keinesfalls erschwert oder gar verhindert werden. Die innere Spannung zwischen fachlicher Korrektheit und größerer Erklärungskraft sollte immer im Hinterkopf behalten und im Unterricht zumindest implizit angedeutet werden.

2.4. Konsequenzen für den schulisch-chemischen Unterricht

Chemischer Unterricht findet laut Johnstone (2000) maßgeblich auf drei Ebenen statt: Es gibt (i) die makroskopisch, direkt-erfahrbare Ebene der Substanzen, (ii) die submikroskopische, nur indirekt-erfahrbare Ebene der Atome und Moleküle und (iii) die symbolische Ebene der Strukturformeln, Reaktionsgleichungen etc. Diese drei Ebenen stehen sich wie in einem Dreieck wechselseitig gegenüber. Leisen (2011) ist der Meinung, für die jeweilige Unterrichtssituation solle die geeignetste Sprachebene gewählt werden, da häufige Wechsel zu Verständnisproblemen führen würden (siehe **Abschnitt 1.4.**); Johnstone sieht – spezifisch für den chemischen Unterricht – das Problem eher in der Tatsache, dass sich hauptsächlich auf einer Ebene, nämlich jener der Symbole, bewegt werde. Er schlägt vor, sich nicht für *eine* Ebene zu entscheiden, sondern *alle* parallel zu unterrichten.

Das würde bedeuten: Phänomenologisches erfahren, dies modellhaft beschreiben und symbolisch darstellen. Das klingt einleuchtend, vor allem, wenn man sich die Frage stellt, was denn eigentlich Chemie ist: Ist es ein in einem Labor stehender Mensch, der Experimente durchführt? Ist es eine mit chemischen Strukturformeln vollgeschriebene Tafel im Hörsaal? Ist es ein Protokollheft mit Versuchsanleitung? Oder ist es der Versuch selbst, bei dem sich zwei Reagenzien zu einem Neuen vereinigen? Die Antwort ist: All das, und mehr. Es wäre ein wenig absurd, Chemie auf nur eine Domäne zu beschränken, entsprechend muss auch chemischer Unterricht gestaltet sein. Denn so können SchülerInnen einen Sinn darin finden, chemische Sachverhalte zu lernen, weil ein Bezug zum Alltag geschaffen werden kann und Modelle sowie Symbole als Werkzeuge erkannt und benutzt werden können.

Die von Anton (2010) vorgeschlagene Methode der *Kleinschrittigkeit* (siehe **Abschnitt 1.4.**) kann auch hier angewandt werden: Sie muss sich nicht auf eine Darstellungsform beschränken, sie kann auch dazu benutzt werden, kleinschrittige Abfolgen sowohl innerhalb der Ebene, aber auch senkrecht dazu, also zweidimensional zu vollziehen. Hartmann (2017) führte diese Methodik zum Beispiel an einer ganzen Sequenz über die Eigenschaften von Salzen – ausgehend von der Synthese von Natriumchlorid über die Klärung der Energetik. Die Arbeitsblätter für die SchülerInnen waren so gestaltet, dass auf einer A4-Seite untereinander, parallel verlaufend, jeweils für „Stoffebene“, „Teilchenebenen“ und „Formel“ Platz gemacht wurde. Darunter gab es noch eine „Konzeptebene“, die explizit Platz für einen Merksatz oder Ähnliches freihielt. Die Stichprobe war eher klein, sodass keine quantitativen Aussagen über die Methode getroffen werden konnten, allerdings zeichnet sich ein positives Gesamtbild ab.

Sachverhalte werden besser und nachhaltiger gelernt, wenn mehrere Sinne des/der Lernenden angesprochen werden, weil so auch eine bessere Vernetzung stattfinden kann (vgl. Warwitz 1977). In dieser Hinsicht haben sich im Chemieunterricht neben den SchülerInnenexperimenten auch die Modellbaukastensysteme durchgesetzt. Der Vorteil von Letzteren ist, dass die SchülerInnen wörtlich *begreifen*, dass sie modellieren. Für die Verdeutlichung anderer, eher formaler und meist mathematischer Modelle im Chemieunterricht, wie etwa dem *dynamischen Gleichgewicht* werden oftmals

Modellversuche³⁷ oder Analogien³⁸ herangezogen. Im Prinzip sind oben genannte Baukastensysteme, genauer gesagt die damit dargestellten Sigma- und Pi-Bindungen, aber auch nichts anderes als geometrische Analogien, um mathematisch-physikalische Gegebenheiten (Bindungsenergien) greifbar und qualitativ unterscheidbar darzustellen. Laut Müller (1980, S. 214) habe das schon J. C. Maxwell bei der Darstellung von Kraftfeldern mittels Feldlinien so gesehen.

Dadurch, dass die Naturwissenschaften mit ihrer Sprache eine eigene Klasse an Kommunikationssystemen bildet (siehe **Abschnitte 1.2.** und **2.2.**) und sich oftmals nur oberflächlich mit Deutsch bzw. der deutschen Umgangssprache überschneidet, ist die Aneignung eines naturwissenschaftlichen, in weiterer Folge chemischen Fachwissens, dem Erlernen einer Sprache sehr ähnlich (vgl. Anton 2010). Die Benutzung von nonverbalen und höchst abstrakten Zeichen hat ihre Vorzüge, beispielsweise in Sachen Internationalität und Prägnanz, kann aber beim Erlernen wohl eine zusätzliche Hürde darstellen. Man könnte sich diese Nonverbalität allerdings auch zu Nutze machen: die Idee ist, in SchülerInnen durch entsprechende Methoden sprachkenntnisunabhängig – unwissenschaftlich ausgedrückt – ein Gefühl bzw. eine Intuition für chemische Sachverhalte zu etablieren. Einzelne nötige Fachbegriffe sollen gleich wie Vokabeln im Fremdsprachenunterricht zwar zur Verfügung gestellt werden, eine komplette und kohärente Verbalisierung sollte jedoch erst im Anschluss erfolgen, um dieses vage Gefühl wissenschaftlich zu explizieren.

Die vorliegende Arbeit will sich mit dem ersten Teil dieser Aussage beschäftigen, nämlich mit der Etablierung eines Modelldenkens durch kleinschrittige, teilweise nonverbale Spezifikation des Lerngegenstandes. Ansätze in diese Richtung gibt es bereits z.B. von Ropohl (1980) (siehe **Abschnitt 2.3.**) oder sogar chemiespezifisch bei Wolmuth (2002) mit seiner Nano-Brille³⁹ oder

³⁷ Für das chemische Gleichgewicht ist der Versuch des Wassertransports zwischen zwei Behältern mit Glasröhrchen unterschiedlicher Durchmesser weit verbreitet. Eine Anleitung findet sich beispielsweise unter: <http://www.unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/material/11-12/V11-273.pdf>

³⁸ Eine Anleitung zum „Apfelkrieg“ findet sich unter: <https://github.com/Perseos/Apfelkrieg/wiki/Apfelkrieg-%28Spiel%29>

³⁹ Einerseits ist der Begriff der „Nano-Brille“ für den Sprung in die „Nano-World“ gut gewählt, da er einen Alltagsbezug schafft, es klingt für SchülerInnen vermutlich eingängiger, wenn man sagt, man *sehe sich etwas genauer an*, als wenn von *genauerem Vorstellen* die Rede ist. Allerdings ist gerade dies problematisch, da ein anderes Modell bzw. eine andere Modellebene nicht eine Vergrößerung der vorangegangenen Stufe darstellt! Es besteht dadurch die Gefahr der Induktion von problematischen SchülerInnenvorstellungen und der *Verselbstständigung von Modellen!*

Anton (2016). Einerseits sollte durch diese Sichtbarmachung von Spezifikationsebenen ein *bewusstes* Modelldenken geschaffen werden, das durch vermehrtes Einüben zu einem *unbewussten* Modelldenken (wie etwa bei einer geografischen Karte) avanciert. Andererseits kommt man einem möglicherweise noch nicht ausgeprägten Sprachverständnis⁴⁰ entgegen, das sich durch anschließende Lese- und Schreibübungen (siehe **Abschnitt 1.3.**) am Vehikel Chemie entwickeln könnte. Darüber hinaus bietet ein Bewusstsein über Modelle in den (Natur-) Wissenschaften einen tiefen Einblick in Struktur, Funktion und Arbeitsweise von und in (Natur-) Wissenschaften. Einige Gruppen arbeiten mit dem Leitbegriff „Natur der Naturwissenschaften“ (vgl. Höttecke 2001) in diese Richtung, um ein Bewusstsein und auch eine gewisse Skepsis gegenüber sich selbst, also den Naturwissenschaften an sich, zu erhalten.⁴¹

Dies sind alles langfristige Prozesse, die hierbei antizipierte Methode soll aber eine Basis schaffen, auf der aufgebaut werden kann.

Der Zeitpunkt des Erstellens der vorliegenden Arbeit bietet an, im Chemie-Anfangsunterricht von achten Schulstufen zu intervenieren, da in Österreich gerade ein neues Schuljahr begonnen hat. Dazu sollen die chemischen Grundbindungstypen (kovalent, ionisch und metallisch) als Vehikel der Untersuchung dienen. Es soll dabei von der makroskopisch-substanziellen Ebene, also dem Gegenstand an sich, ausgegangen werden, worauf dann systematisch auf kleinere Modellmaßstäbe bis hin zur Ebene der einzelnen Atome vorangeschritten wird, um schließlich symbolische Formulierungen zu vollziehen – alles im Sinne der (zweidimensionalen) *Kleinschrittigkeit*.

Es wird hierbei außerdem noch auf ein weiteres chemiespezifisches Problem eingegangen: Im Alltag werden Substanzen rein phänomenologisch erfahren – Eisen ist hart, Gummi ist elastisch, Porzellan ist spröde usw. – im Chemieunterricht hingegen hat Eisen meist die formalen Rollen als Teil des Hämoglobins oder als Reaktionspartner bei Redoxreaktionen, die phänomenologisch-erfahrbaren Eigenschaften des Elements rücken in den Hintergrund. Eine

⁴⁰ Die Ergebnisse der letzten PISA-Studien (BIEF 2015, S 57ff) zeigten, dass bei den österreichischen PartizipantInnen ein großes Defizit im Bereich des sinnerfassenden Lesens herrschte.

⁴¹ Im so genannten „Inquiry Based Learning“, zu Deutsch „Forschendes Lernen“ (vgl. Blanchard et al. 2010), wird dieser Aspekt der Natur der Naturwissenschaften implizit gelebt, indem SchülerInnen selbst zu ForscherInnen im Unterricht werden und lernen, Fragen zu stellen, Hypothesen zu entwickeln und entsprechend auch zu erproben – dabei wird zwischen Anforderungsniveaus unterschieden, die je nach dem mehr oder weniger durch die Lehrperson geleitet werden.

Aufgabe des Chemieunterrichts sollte deshalb auch sein, den erlebten Alltag von Menschen wissenschaftlich beschreiben zu können – und hierfür werden Modelle herangezogen, in vorhin genannten Fällen z.B. (Gitter-) Strukturmodelle. Christen (1990, S. 2) führte in diesem Kontext den Begriff des „Zwiedenkens“ ein, der für die Verbindung der substanziiell-erfahrbaren Welt mit der submikroskopischen bzw. chemischen Modellwelt steht.

3 Planung der Sequenz „Zwiedenken an Hand des Experiments zur Synthese von Natriumchlorid aus den Elementen“

3.1. Hypothese

Der Arbeit liegt folgende Hypothese zu Grunde:

„Die kleinschrittige Folge von Darstellungen verschiedener, sequenzieller Modellebenen vom großen Modellmaßstab zum kleinen führt zu einem inhaltlichen Lernerfolg und zu einem bewussten Modelldenken bei den SchülerInnen.“

In weiterer Folge soll dies bedeuten:

„Bewusstes Modelldenken führt zu einem besseren Verständnis von Ursachen für stoffeigenschaftliche Phänomene.“

Geprüft werden sollen diese Hypothesen mit der selbst entworfenen Sequenz zu den Bindungsmodellen anhand der Synthese von Natriumchlorid aus den Elementen – die finale Version ist im **Anhang** zu finden. Sprachlich gesehen soll sich neben kleinen textlichen Elementen hauptsächlich auf der Bildebene bewegt werden, während modelltechnisch der chemisch-fachliche Spezifikationsgrad *kleinschrittig* erhöht wird. Die unterschiedlichen Modellspezifikationsebenen werden auf Informationsblättern, kurz „Infosheets“, eingeführt, die auch die Struktur der chemischen Elemente darstellen (*Lernen durch Modelle*). Die SchülerInnen sollen mittels dieser Instruktion anschließend selbstständig, in gleich kleinschrittiger Manier, ein Modell für Natriumchlorid auf atomarer Ebene erstellen (*Setzen von Modellsituationen*). Anschließend sollen die SchülerInnen durch Fragestellungen dazu angeregt werden, das Experiment zu modellieren und stoffliche Eigenschaften durch die gegebenen Modelle zu erklären (*Leisten mit Modellen*). Abschließende, weiterführende Fragen sollen eine Reflexion über Modelle in den SchülerInnen induzieren (*Urteilen über Modelle*).

Dabei soll die makroskopisch-phänomenologische Ebene, eine Videografierung des Modellversuchs⁴², systematisch mit der submikroskopisch-modellhaften Ebene verbunden

⁴² Ursprünglich sollte der Modellversuch direkt in den Klassen vorgeführt werden, dies war allerdings aus praktischen und organisatorischen Gründen nur schlecht möglich.

und weitergeführt werden (*Zwiedenken*), sodass im Anschluss die symbolische Ebene beschritten werden kann.

Lernziele der Sequenz:

- Die SchülerInnen sollen die drei grundlegenden Bindungstypen (kovalent, metallisch, ionisch) kennen und chemisch-modellhaft auf unterschiedlichen Modellebenen unterscheiden können
- Die SchülerInnen sollen phänomenologische Eigenschaften (z.B. elektrische Leitfähigkeit, Sprödeheit) der drei grundlegenden Bindungstypen durch Modelle erklären und umgekehrt von den Modellen auf diese Eigenschaften schließen können.
- Die SchülerInnen sollen eine anfängliche Idee des *reflektierten Modellbegriffs* entwickeln

Die Sequenz lässt sich in drei Teile gliedern:

3.2. Phase I: Ankommen im Kontext (~7-10 min)

Zuerst wird ein PowerPoint-unterstützter Exkurs über Modelle im Alltag gehalten. Hierbei wird im Speziellen auf geografische Karten eingegangen: zuerst eine physische Weltkarte nach Gerhard Mercator (Buchholz & Krücken 1994) der Erdkontinente, es folgt eine Länderkarte nach Hajime Narukawa (2015, online⁴³), dann eine Straßenkarte von Österreich, anschließend eine Bezirkskarte von Wien und zuletzt zwei thematische Karten von Wien. Abschließend werden noch andere Modelle genannt, unter anderem Globen, Stadtpläne, Wachsfiguren, Modellflugzeuge und überhaupt Spielzeuge. Das Wort „Modellmaßstab“ wird öfter verwendet und der Unterschied zwischen „kleinen“ und „großen“ Modellmaßstäben an den Karten festgemacht, ansonsten aber nicht weiter erklärt.

Tiefenplanung:

Die SchülerInnen sollen in die Welt der Modelle eingeführt werden und erkennen, dass Modelle ohnehin schon im Alltag vorhanden sind. Die zentrale Idee dabei ist, die Aufgaben eines Modells aufzuzeigen: einerseits das Weglassen von „Uninteressantem“ und andererseits

⁴³ <http://narukawa-lab.jp/archives/authagraph-map/> (letzter Zugriff am: 25.6.2017)

das Hervorheben von „Interessantem“; außerdem soll auf die Größenordnung (Stichwort „Modellmaßstab“) und die Möglichkeiten von Modellen eingegangen werden. Das Wort selbst sollte nicht unbedingt semantisch, wohl aber konzeptuell erklärt werden. Eine zu genaue Erklärung würde den Fokus wahrscheinlich falsch ausrichten. Wichtig ist die Botschaft, dass Modelle sich je nach Modellmaßstab (Weltkarte -> Stadtplan) und Verwendungszweck (thematische Karten; eine von der Verteilung der Geschosshöhen pro Gebäude und eine von der Verteilung von PKW pro 1000 Einwohner) unterscheiden. Es soll auch deutlich werden, dass Modelle in gewisser Hinsicht Verfälschungen der Realität sind (z.B. große Seehöhen werden auf physischen Karten üblicherweise braun dargestellt, obwohl die Berge gar nicht braun sind).

3.3. Phase II: Präsentation der Phänomene (~7-10 min)

Danach wird zum Modellversuch übergegangen: Zuerst werden die Elemente einzeln mündlich und von Videos unterstützt vorgestellt: die Leitfähigkeit von Natrium wird demonstriert, auch die Weichheit und der typische, metallische Glanz an einer frischen Schnittfläche. Chlor wird per Video lediglich als grünes Gas präsentiert, das durch seine Giftigkeit im ersten Weltkrieg als Kampfgas eingesetzt wurde. Dann wird das Video zum Experiment gezeigt.

Tiefenplanung:

Ein erstes Video soll Materialeigenschaften von Natrium (Leitfähigkeit, Weichheit, metallischer Glanz an Schnittflächen) zeigen. Hierzu wurde ein etwa $(7 \cdot 3 \cdot 2) \text{ cm}^3$ großes Stück in einer mit Paraffinöl gefüllten Kristallisierschale vorgelegt. Dann werden vor laufender Kamera zwei Kabelenden in den Block hineingesteckt, ein schrilles Pfeifen des Widerstandsmessgeräts bestätigt die Leitfähigkeit. Nach dem Entfernen der Stecker wird das handelsübliche Brotmesser gezeigt, mit dem der Natriumblock anschließend geteilt wird. Um den metallischen Glanz zu verdeutlichen, wird die eine Hälfte geneigt – an der Kristallisierschale sind Lichtspiegelungen gut zu erkennen. Das Video ist (bis auf das akustische Signal beim Widerstandsmessgerät) tonlos, sodass es vor Ort kommentiert werden muss. Schlüsselbegriffe sollen dabei folgende sein: „Widerstandsmessgerät“, „Stromfluss“,

„Weichheit“, „Brotmesser“, „Metall“, „metallischer Glanz“; es soll außerdem thematisiert werden, warum Natrium in Paraffinöl eingelegt wird.

Ein zweites Video soll Chlor (gelb-grünliches Gas) zuerst alleine und dann in Reaktion mit Natrium zeigen. Eine gängige Art wäre, Chlor aus einer Spritze in eine Eprovette mit geschmolzenem Natrium zu drücken. Diese Vorgehensweise eignet sich wegen ihrer Dynamik nicht so gut: Natrium in einer Eprovette mit dem Brenner erhitzen, den Brenner wegstellen, Chlorspritze holen, Eprovette halten, Chlor injizieren, was dazu noch eine stark exotherme Reaktion hervorruft. Ein ruhiger und damit weitaus übersichtlicherer Ansatz (vor Allem zur Videografierung) ist, einen bodenbedeckt mit Sand gefüllten Erlenmeyerkolben durch ein Glasrohr mit Chlorgas zu füllen und anschließend das Natriumstück hineinfallenzulassen. So steht der Kolben statisch an seinem Platz und es gibt keine unnötigen, hektischen Bewegungen, die ablenken oder den Fokus verschieben könnten. Ein Problem ist allerdings, dass das Natriumstück nicht sofort spontan reagiert. Würde Wasser darauf getropft werden, würde die anfängliche Reaktion mit Wasser die Aktivierungsenergie liefern, die die eigentliche Reaktion mit Chlor brauchen würde – ein nachgegossener Tropfen Wasser wäre didaktisch nicht vorteilhaft, da dann neben Chlor und Natrium noch ein drittes Reagenz berücksichtigt werden müsste. Das Problem lässt sich allerdings elegant umgehen: Man feuchte einfach den Sand am Gefäßboden an. Dies reicht aus, dass die Reaktion binnen Sekunden beginnt.

Nach der recht heftigen Reaktion (Lichtentwicklung!) ist der Kolben mit weißem Rauch gefüllt, der zur Demonstration aus dem Kolben geleert wird. Danach schwenkt die Kamera in den Kolbenboden hinein, sodass ein Stück Natriumchlorid – das ursprüngliche Natriumstück – gesehen werden kann. Auch dieses Video sollte im Unterricht kommentiert werden, Schlüsselbegriffe sind: „Sand“, „Chlorgas“, „Kampfgas im Ersten Weltkrieg“, „erbsengroßes Stück Natrium“, „heftige Reaktion“, von der Innenseite des Glases „gekratzter Stoff (NaCl)“, „Rauch“, „abreagierter Feststoff“;

Die Wahl der Modellreaktion fiel in vielerlei Hinsicht pragmatisch aus:

- Bei der Reaktion treten alle drei Bindungstypen auf, die in der 8. Schulstufe gelernt werden sollen
- Bei Natrium und Chlor handelt es sich um Elemente, die im Zuge des Kennenlernens des Periodensystems häufig genutzt werden, entsprechend formal bekannt sein dürften; das entstehende Produkt Natriumchlorid ist sogar aus dem Alltag bekannt.

- Die Reaktion lässt sich recht einfach und übersichtlich vorführen und darstellen
- Die modellhafte Darstellung erfolgt auch einfach, da nur ein Elektron übertragen wird.
- Die Reaktion eines weichen, elektrisch leitenden Metalls und einem nichtleitenden, grünen Gas zu einem harten, weißen nichtleitenden Festkörper bietet viel Potenzial, einen kognitiven Konflikt auszulösen

3.4. Phase III: Arbeitsphase (~30-35 min)

Die Infosheets und die Arbeitsblätter werden ausgeteilt und die SchülerInnen arbeiten gelassen. Es wird bewusst nicht gesagt, dass die SchülerInnen zusammenarbeiten können, da dies erfahrungsgemäß sehr oft für Unruhe im Klassenzimmer sorgt. Es wird aber durchaus toleriert, wenn die SchülerInnen zu zweit zusammenarbeiten. Am Ende der Stunde werden die ausgefüllten Blätter abgesammelt und die vorbereiteten und vollständigen Ausarbeitungen an sie ausgeteilt. Jene abgesammelten Blätter werden zur Evaluierung der Untersuchung herangezogen.

Tiefenplanung:

Anforderungen an die Arbeitsunterlagen waren, dass textliche Aspekte nicht den Hauptteil, sondern lediglich eine unterstützende Rolle einnehmen – im Fokus sollen die Grafiken stehen.

Die Kleinschrittigkeit wurde wie folgt realisiert:

- Die erste Darstellung zeigt ein reales Bild der Stoffe (*substanzielle Ebene*): große Natriumstücke einerseits und ein Behältnis mit einem gelb-grünen Inhalt andererseits
- Die zweite Darstellung zeigt ein kontinuierliches, dreidimensional dargestelltes Gitter aus diskreten Kugeln bzw. bei Chlor zwei diskrete Kugeln als diskretes Molekül (Gitter-/Molekülebene)
- Die dritte Darstellung zeigt diskrete Kugeln, jeweils mit Elementsymbol und Ladung versehen, als zweidimensionaler Ausschnitt aus dem Gitter. Chlor wird ähnlich dargestellt wie zuvor, nur mit Elementsymbolaufschrift (Atomebene)

- Die vierte Darstellung zeigt Schalenmodelle samt Kern, inklusive aller Protonen, Neutronen und Elektronen als kleine Kugeln; zur Unterstützung wurden hier nicht nur die gebundenen Atome, sondern auch einzelne Atom dargestellt (Elementarteilchenebene).⁴⁴

Natriumatome erhalten in den ersten zwei Spezifikationsebenen eine graue Farbe, Chloratome gelb-grün (ähnlich den Farben der substanziellen Ebene).⁴⁵ Auf der Elementarteilchenebene sind Kerne und Schalen von allen Atomsorten gleich dargestellt. Die Elektronen sind allerdings Violett eingezeichnet (bzw. rosa oder dunkellila, um die eigentliche Zugehörigkeit zu anderen Bindungspartner zu betonen), Protonen rot und Neutronen grün. Beim Sprung vom einzelnen Atom zur Bindung wurden die Kernteilchen lediglich mit Zahlen dargestellt. Außerdem werden die Atome beider Spezies auf der höchsten Spezifikationsebene gleichfarbig dargestellt, sodass zumindest hier implizit gezeigt wird, dass die Farbe des Modells nicht die Farbe der Substanz bestimmt. Die Grafiken selbst sind inspiriert durch Wolmuth (2002), allerdings mittels *Microsoft Paint* selbst erstellt.

Die Abhandlungen über Chlor und Natrium sollen als Vorlage dienen, sodass die SchülerInnen ein Infosheet für Natriumchlorid erstellen können. Dabei sind die ersten zwei Abstraktionsebenen bereits vollständig beschrieben, für die Dritte und Vierte waren je ein Lückentext und je ein Kästchen für eine zu erstellende Grafik vorhanden. Die vom Verfasser ausgearbeitete Referenzversion befindet sich im **Anhang**.

Während der Arbeitsphase soll außerdem immer wieder betont werden, dass es um die Vorstellung des/der SchülerIn geht und nicht darum, was in Lehrbüchern steht. Ebenso soll betont werden, dass die Sequenz nichts mit dem Regelunterricht zu tun hat und der/die LehrerIn die ausgefüllten Arbeitsblätter nicht zu Gesicht bekommt, diese daher nicht in die Benotung einfließen. Diese Maßnahme soll den Leistungsdruck mindern.

⁴⁴ Ursprünglich hätten noch die textliche und die symbolische Ebenen dargestellt werden sollen, allerdings ließ kaum einE LehrerIn eine Klasse für zwei Stunden übernehmen, weswegen darauf verzichtet wurde. Bei den Lösungen, die am Ende der Stunde an die SchülerInnen ausgeteilt wurden, wurden diese Ebenen jedoch beibehalten.

⁴⁵ Es ist dem Verfasser bewusst, dass die farbliche Darstellung den SchülerInnen suggeriert, dass die grüne Farbe von Chlorgas von der tatsächlichen Farbe der Chloratome komme. Dies soll aber in Phase I („Ankommen im Kontext“) dahingehend geklärt werden, dass Farbcodierungen bei Modellen nicht der Realität entsprechen müssen (physisch Karten stellen Gebirge oft braun dar, Bezirkskarte von Wien). Die Vorgehensweise wurde gewählt, um einen nonverbalen, roten Faden durch die Blätter zu ziehen.

3.5. Vertiefende didaktische Überlegungen

Fragenkomplex 1: Kleinschrittige Erhöhung des Spezifikationsgrades

Die Fragen 1a-1d dienen dem Aufwärmen; wie bereits erwähnt sind die letzten zwei Spezifikationsebenen von den SchülerInnen zu erstellen (Frage 1a und 1c). Daneben befinden sich Lückentexte, die zu den Bildern passen (sollten): bei 1b sind „positiv“ und „negativ“ einzufüllen, bei 1d „Natrium“ und „Chlor“ (je zweimal; beschreibt die Elektronegativität, sowie den Elektronenübertrag). Das Wissen über die zu füllenden Lücken ist, wenn nicht sowieso vorhanden, zumindest aus den Infosheets entnehmbar.

Frage 2: „Erstelle eine Bilderserie des vorgeführten Experiments und beschrifte sie. Was hast du beobachten können? Wähle einen geeigneten Modellmaßstab!“

Die SchülerInnen sollen ein Modell der Reaktion auf substanzieller Ebene erstellen. Es sollten mindestens drei Bilder gezeichnet werden: (i) der mit Chlor gefüllte Kolben, in den Natrium gegeben wird, (ii) die heftige Reaktion (Lichtentwicklung!) und zuletzt noch (iii) den mit Rauch gefüllten Kolben, eventuell mit dem Natriumchloridstück am Boden des Kolbens. Diese Frage wurde so konzipiert, dass sie für alle beantwortbar ist und einen lockeren Einstieg ermöglicht.

Frage 3: a.) „Wie entsteht ein Ionengitter aus den Elementen (z.B. NaCl)? Erstelle eine oder mehrere Zeichnungen und erkläre in Worten! Wähle einen geeigneten Modellmaßstab!“

b.) „Warum hält das Ionengitter zusammen, obwohl es kein „Elektronengas“ gibt?“

Nachdem bei der Frage zuvor auf substanzieller Ebene geantwortet wurde, soll diese Formulierung suggerieren, dass man sich nun auf *Atom-* bzw. *Elementarteilchenebene* befindet, entsprechend stehen die übertragenen Elektronen im Fokus. Dass es keine frei beweglichen Elektronen wie beim Metallgitter gibt, ist bei der Beschreibung des Ionengitters aufgeführt und soll noch einmal verdeutlichen, dass das Elektronengas eine verbindende Funktion besitzt und bei Ionengittern nicht vorkommt. Es soll hier also auf die elektrostatischen Gesetze (ungleichnamige Ladungen ziehen einander an), die in der 7. Schulstufe im Physikunterricht behandelt werden, zurückgegriffen werden (bmb 2016)⁴⁶.

⁴⁶ https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs16_791.pdf?5te5g0

Frage 4: „Warum werden beim Ionengittermodell die Anionen und Kationen unterschiedlich groß dargestellt?“

Die SchülerInnen sollten an Hand ihrer Vorkenntnisse und mit dem Periodensystem erkennen, dass beim Natrium-Kation eine ganze Schale leer ist und sie somit „wegfällt“. Hier ist die SchülerInnenvorstellung ein Hindernis, in der die Atomschalen als reale, materielle Objekte aufgefasst werden, die existieren, selbst wenn sich keine Elektronen darin aufhalten.

Frage 5: a.) „Was stellst du dir unter einem ‚Elektronengas‘ vor?“

b.) „Was hat das mit elektrischer Leitfähigkeit zu tun? Glaubst du, dass ein Natriumchlorid-Kristall Strom leitet? Vergleiche die Modelle und begründe deine Antwort!“

Den Begriff des Elektronengases könnten die SchülerInnen schon aus dem Physikunterricht der vorigen Schulstufe kennen, ansonsten ist er plakativ auf den Arbeitsblättern beschrieben. Hier ist zu beachten, dass die SchülerInnen den Elektronenfluss mit elektrischem Strom in Zusammenhang bringen können müssen – Laut dem Lehrplan für Physik (bmb 2016) sollte dies der Fall sein. Der direkte Vergleich der Modelle (Ionengitter und Metallgitter) sollte Aufschluss darüber geben.

Frage 6: „Einige der härtesten Materialien sind ionische Verbindungen (z.B. Titancarbid, TiC ; Wolframcarbid, WC);, während Metalle im Elementarzustand eher weich sind (Natrium, Blei, Gold, Kupfer, ...). Womit könnte das zu tun haben? Könnte man dies anhand unserer Modelle erklären?“

Diese letzte inhaltliche Frage besitzt das höchste Niveau: Hier sollen die SchülerInnen erneut Metall- und Ionengitter vergleichen und Schlüsse darüber ziehen, warum Ionengitter meist härter und aber spröder als Metallelemente sind. Es wird verlangt, dass sich die SchülerInnen selbst einen Modus zur Deformierung (Verschiebung einer Gitterebene, z.B. durch einen modellhaften Hammerschlag) am Modell überlegen und dass die Gesetze der Elektrostatik (gleichnamige Ladungen stoßen einander ab) angewandt werden.

Danach gibt es noch einige generelle Überlegungen, derer sich die SchülerInnen bewusst werden sollen:

Frage 7: „*Welche Funktion hat ein Modell (Stadtplan, Atommodell)?*“

Frage 8: a.) „*Entspricht ein Modell der Realität? Wenn nein, wie weichen die gezeigten Atommodelle von der Realität ab?*“

b.) „*Kennst du andere Atommodelle? Wie unterscheidet es/sie sich von Bohrs Atommodell?*“

c.) „*Warum glaubst du, arbeiten wir heute trotzdem mit dem Atommodell von Niels Bohr?*“

Frage 9: „*Warum benutzt man in den Naturwissenschaften Modelle?*“

Hierbei soll ermittelt werden, wie die SchülerInnen Modelle wahrnehmen und verwenden. Die SchülerInnen sollen angeben, wie (und ob) sich die Modelle von der Realität unterscheiden (z.B. durch Farbe, Aufschrift, Größenverhältnisse) und andere ihnen bekannte Atommodelle (z.B. Thomsonmodell, Orbitalmodell) angeben. Letztendlich wird die Frage geklärt, ob ein bewusstes Modelldenken bei den SchülerInnen vorhanden ist, oder ob Modelle als (1:1-Kopien der) Realität verstanden werden. Mehrfachantworten sind bei diesen Fragen erlaubt und erwünscht.

In allgemeiner Hinsicht wurde bei den Gittermodellen auf Stäbe zwischen den Atomen verzichtet. Die Stäbe dienen meist der Explikation von Bindungen, sie suggerieren allerdings, dass ionische/metallische Bindungen gerichtet sind, was der Elektrostatik widerspricht (vgl. Wagner, Reischl & Steiner, 2014 S. 255-256). Stattdessen wurden die Kugeln beim Ionengitter direkt aneinandergesetzt. Beim Metallgitter wurde zwischen den Atomrümpfen Platz gelassen; einerseits, weil sich die positiven Ladungen abstoßen, andererseits damit sich die freien Elektronen des Elektronengases „zwischen durch bewegen“ können.

Ein Synonym zu „Elektronenpaarbindung“ stellt „Atombindung“ dar. Dieser Begriff wurde aber nicht benutzt, da er suggeriert, dass an den anderen Bindungen keine Atome beteiligt sind.

Außerdem wurde für die gesamte Durchführung auf den Teilchenbegriff verzichtet. Der Begriff ist insofern verwirrend, da er sehr allgemein benutzt wird und nicht an eine Größenordnung gebunden ist: Ein Teilchen kann ein Elementarteilchen, ein Atom, ein Ion, Molekül, ein Partikel, oder gar ein Antiteilchen oder Photon sein.

3.6. Fachliche Grauzonen

Wie in fast jedem schuldidaktischen Modell gibt es fachliche Grauzonen als Konsequenz der *Transparenz* (siehe **Abschnitt 2.3.**), die den SchülerInnen das Aneignen des Stoffes erleichtern sollen, aber nicht unbedingt den aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen entsprechen.

So wird beispielsweise auf dem Infosheet von einer „*gemischten Verbindung*“ gesprochen – diese Formulierung ist eigentlich redundant, da Verbindungen an sich immer heteroatomar sind. Homoatomare Verbindungen werden schlicht „Elemente“ genannt. Die Formulierung wurde aber gewählt, um zu betonen, dass es sich um einen Zusammenschluss *unterschiedlicher* Atome handelt.

Bei den Gitterdarstellungen wurde im Aufbau zwischen Metall- und Ionengitter unterschieden: Ersteres besitzt Abstände zwischen den Gitterbausteinen, die symbolisieren sollten, dass dazwischen noch „Platz“ für das Elektronengas ist. Letzteres wurde hingegen ohne Abstände dargestellt, um zu symbolisieren, dass sich die Gitterbausteine im Ionengitter sehr stark anziehen. Metalle sind meist in einer dichtesten Kugelpackung (kubisch, sowie hexagonal) aufgebaut, Natriumchlorid ebenfalls in einer kubisch-dichtesten Kugelpackung (Ashcroft & Mermin 2005).

Die Metallgitterbausteine werden im Infosheet „positive Atomrümpfe“ genannt. Das Wort ist als eher schwierig für die SchülerInnen einzustufen (Kompositum, seltener Alltagsgebrauch; siehe **Abschnitt 1.2.**), soll aber verhindern, dass das Wort „Kationen“ zu *diesem Zeitpunkt* mit dem Metallgitter in Verbindung gebracht wird – dieses Wort soll zuerst den Ionengittern vorbehalten sein, anschließend soll eine Brücke geschlagen werden; eine Suggestion bietet allerdings schon die bildliche Darstellung am Infosheet. Die Bezeichnung „positive Atomrümpfe“ wurde unter anderem auch deshalb benutzt, weil sie in vielen Schulbüchern etabliert⁴⁷ ist. Diese Herangehensweise kann aber unter den bereits erwähnten Gesichtspunkten als wenig zielführend angesehen werden, zusätzlich problematisch ist die Einführung eines neuen Begriffst für einen bekannten Sachverhalt.

⁴⁷ Als Beispiele seien hier etwa Magyar, Liebhart, Jelinek und Faber (2014, S. 23) oder Gruber-Kalteis, Obermüller, Straub und Reitingger (2016, S. 23) angeführt.

Weiters stellt der Begriff des „Elektronengases“ einige Stolpersteine dar: An sich ist es didaktisch gesehen ein fragwürdiges Wort, da es suggeriert, dass es sich um ein Gas wie etwa Chlor handelt. Es teilt zwar gewisse Eigenschaften mit einem Gas (z.B. die freie Bewegung von Teilchen im Raum im Gegensatz zu den Gitterbausteinen), kommt aber nicht ohne das zugehörige Gitter vor. Zudem ist das Elektronengas geladen und trägt zur elektrischen/thermischen Leitfähigkeit in Metallen bei, während elementare/molekulare Gase in den seltensten Fällen schon unter Normalbedingungen elektrisch leiten oder geladen sind – davon abgesehen, dass ein Elektronengas aus einzelnen Elementarteilchen besteht, während Edelgase zwar monoatomar existieren, dennoch aber aus mehreren Teilchen (Kern, Elektronen) bestehen. Daraus folgt wiederum der Unterschied in den Größenverhältnissen!

Dass das Elektronengas nicht die Summe aller Valenzelektronen sondern jene der Elektronen im Leitungsband ist, stellt eine weitere Reduktion dar. An diesem Beispiel wird das dritte Kriterium von Stachowiak (siehe **Abschnitt 2.2.**) sehr deutlich: Ein Modell („Gas“) entspricht nicht zwingend *einem* Original. Aus Mangel an alternativen Bezeichnungen soll der Begriff „Elektronengas“ dennoch verwendet werden.

4. Durchführung der Sequenz „Zwiedenken an Hand des Experiments zur Synthese von Natriumchlorid aus den Elementen“

Bezüglich des Themas hätten auch höhere Schulstufen als die achte herangezogen werden können, allerdings bietet sich jene wegen der Vergleichbarkeit im deutschsprachigen Raum an – die institutionalisierte Bildungslandschaft ist nach der achten Schulstufe in Österreich mit ihren zahlreichen Oberstufenformen heterogener aufgebaut als beispielsweise in Deutschland. In letzter Instanz entschied natürlich auch die Verfügbarkeit, da viele Schulen auf die Anfrage nicht reagierten bzw. die Feldstudie sogar untersagten.

Der kalendarische Zeitpunkt (Mitte bzw. Ende Oktober) bot überdies an, die Sequenz noch vor dem Behandeln der Bindungsmodelle im Regelunterricht abzuhalten. Dies konnte aus Terminfindungsgründen nicht für alle Durchführungen eingehalten werden, konnte aber auch zum Vorteil genutzt werden: So konnte die Sequenz einmal vor den Bindungsmodellen im Regelunterricht, fünfmal währenddessen und zweimal danach durchgeführt werden.

Um die einzelnen Klassen einschätzen zu können, wurde der Regelunterricht in der Stunde vor der Durchführung der Sequenz beobachtet. Während der Sequenz selbst wurden Tonaufnahmen als Gedächtnisstütze gemacht. Die Schulen und Klassen werden aus Gründen des Datenschutzes nicht näher benannt.

Alle betrachteten Klassen haben in diesem Jahr ihren ersten Chemieunterricht. Auf individueller Ebene könnte dies anders aussehen: möglicherweise gibt es JahrgangstrepetentInnen oder eine persönliche Vorbildung irgendeiner Art.

4.1. Klasse 1: 18 SchülerInnen – Frau S.

Die Schule ist eine gemischte, katholische Privatschule mit Öffentlichkeitsrecht. Sie besteht sowohl aus Volksschule und neuer Mittelschule, als auch einem Gymnasium und einem Realgymnasium, welche räumlich getrennt von den anderen beiden sind. Die betrachtete Klasse befindet sich im gymnasialen Zweig mit Französisch und besteht aus 9 Schülerinnen und 9 Schülern. Der Regelunterricht in Chemie scheint von der Lehrerin eher frontal, streng und autoritär gehalten zu werden.

An Vorwissen aus dem Chemieunterricht brachten die SchülerInnen laut Lehrerin mit:

- Atombau
- Schalenmodell: Jede Schale kann $2n^2$ Elektronen aufnehmen
- Periodensystem in seinem Aufbau mit darin enthaltenen Grundinformationen
- Keine Oktettregel / Absicht der Atome zur Bindung
- Keine Bindungsmodelle

a.) Deskriptive Darstellung des Unterrichts⁴⁸

Nach einer Mitteilung der Lehrerin wurde mir das Wort übergeben. Ich stellte mich und meine Absichten vor und startete sodann mit dem Begriff „Modell“. Ich ließ die SchülerInnen erzählen, was ein Modell sei, welche Modelle sie kennen würden und wozu ein Modell diene. Ich zeigte meine erste Präsentationsfolie und erklärte, dass ein Modell ein Abbild der Realität sein kann, allerdings bestimmte Details weggelassen und bestimmte andere Details hervorgehoben werden würden – es handle sich um eine Vereinfachung der Realität. Ich zeigte im Anschluss die unterschiedlichen Karten und zählte noch einige Modelle aus dem Alltag auf, dann wechselte ich zu den Videos.

Zuerst zeigte ich das Video über Natrium. Es folgte eine Rückfrage, ob das denn nur unter der Flüssigkeit [es war Paraffinöl, damit das Natriumstück nicht anlief; ein Schüler bezeichnete es als „Wasser“] in der es gelagert war, möglich sei, was ich verneinte. Dann wurde das Video zum Experiment abgespielt und ich kommentierte die Teilschritte. Die SchülerInnen staunten hörbar, als Natrium und Chlor heftig reagierten.

Sodann teilte ich die ersten zwei Blätter aus, durch welche die SchülerInnen die Elektronenpaarbindung und die Metallbindung kennenlernen sollten. Nach dem Durchlesen wurden die Arbeitsaufträge und das zu ergänzende Infosheet zu Natriumchlorid ausgeteilt. Ich erwähnte noch, dass sie den Rest der Stunde Zeit hätten, die Arbeitsaufträge zu erfüllen und sich bei Fragen an mich wenden können. Bis zu diesem Zeitpunkt waren ca. 15 Minuten vergangen.

Während der restlichen 35 Minuten ging ich umher und betreute die SchülerInnen. Sie waren oft anderweitig beschäftigt oder schauten durch die Luft. Probleme hatten sie schon beim Ergänzen des Infosheets zu Natriumchlorid, kaum jemand wusste von selbst, was einzuzeichnen war.

⁴⁸ Die deskriptive Darstellung der einzelnen Interventionen wurde bewusst in der ersten Person geschrieben, da es sich dabei um rein subjektive Gedankenprotokolle handelt.

Persönliche Eindrücke danach:

Persönlich bin ich mit der Stunde nicht zufrieden. Ich habe offensichtlich das Niveau zu hoch angesetzt und zu viel in zu kurzer Zeit verlangt. Die SchülerInnen hatten meinen Beobachtungen nach die ersten beiden Infosheets nicht wirklich gelesen und hatten entsprechend Probleme beim Arbeitsblatt. Der Input am Anfang schien für mich aus dem Zusammenhang gerissen.

Die niedrige Arbeitsmoral könnte man vielleicht damit in Verbindung bringen, dass es schon die sechste Unterrichtsstunde für die SchülerInnen war. Bis auf einen Schüler, der behauptete, dass er das zweite Jahr Chemie habe und sich über Arbeitsblätter freue, schienen alle eher unmotiviert gewesen zu sein. Manche versuchten sogar, mich in ein Gespräch zu verwickeln, um nicht arbeiten zu müssen. Außerdem kennen die SchülerInnen diesen Arbeitsmodus eher nicht, der Regelunterricht wird eher frontal und autoritär gehalten.

Für die nächste Intervention wurden einige kleine Änderungen für die Durchführung vorgenommen, um eine in sich schlüssig-konsistente Sequenz zu erhalten:

- Der Input am Anfang wurde etwas verkürzt; er beanspruchte zu viel Zeit dafür, dass er methodisch wenig brachte.
- Die beiden Infosheets (Natrium und Chlor) sollten gemeinsam betrachtet werden, damit die SchülerInnen einen Überblick erhalten und die Absicht des Formats verstehen; als Verfasser hatte ich bei der Erstellung schon ein fixes Bild im Kopf, und jenes Bild erwartete ich nun ohne Weiteres von den SchülerInnen, ohne zu bedenken, dass ihnen der sprachliche Vorlauf dazu fehlen würde.
- Es sollte stärker betont werden, dass es kein „Richtig“ oder „Falsch“ gibt.
- Es sollte darauf hingewiesen werden, dass Fragen übersprungen werden können, wenn man sie nicht zu beantworten weiß; die Fragen sind nicht nach Schwierigkeit geordnet und sollten spätere Fragen nicht beantwortet werden können, weil sich zu sehr auf eine Schwierigere konzentriert wurde, würde dies das Ergebnis verfälschen.
- Außerdem scheint die Menge an Informationen für SchülerInnen, die zum ersten Mal mit Bindungsmodellen konfrontiert werden, überwältigend groß zu sein – vor Allem gepackt in eine 50-minütige Stunde. Es sollte eher darauf verzichtet werden,

die Sequenz in dieser Fassung vor der regulären Behandlung von Bindungsmodellen im Regelunterricht einzusetzen.

b.) Ergebnisse⁴⁹

Eine Zusammenfassung findet sich in **Tabelle 1**.

Klasse 1 n=18	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	12	3	14	3	6	13	6	7	5	8	14	2	7	13	8	9	44,4	46,8	43,3
nicht zufriedenstellend beantwortet	5	2	4	2	6	5	11	10	13	10	4	-	-	-	-	-	18,1	46,8	-
zufriedenstellend beantwortet	1	13	0	13	6	0	1	1	0	0	0	16	11	5	10	9	37,5	6,3	56,7
																	100,0	100,0	100,0

Tabelle 1: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 1.

1a: bei 3 SchülerInnen fehlten Ladungen im Gitter, allerdings nur von einer Ionensorte (Cl^-), 2 SchülerInnen gaben überhaupt keine Ladungen an.

1b: In den Lückentext wurde 2-mal statt „positiv“ und „negativ“ Zahlen eingesetzt (z.B. „Ein Ionengitter besteht aus 10 geladenen Natriumionen und 13 geladenen Chloridionen“); im Anschluss wurde bei 1d „Protonen“ und „Elektronen“ anstatt „Natrium“ und „Chlor“ eingesetzt.

1c: 2-mal wurde „Cl“ zwar mit abgeschlossener Außenschale dargestellt, „Na“ hatte aber immer noch ein Valenzelektron; außerdem haben sich 2-mal die Valenzschalen überlappt, wie etwa bei der Darstellung von Chlorgas (Valenzelektron nicht herausgelöst!).

1d: siehe 1b; außerdem wurde 2-mal ein syntaktisch unsinniges Wort eingesetzt: „Metallelemente zieht ein Valenzelektron nicht stark an.“ [als zufriedenstellend gewertet] – 13 konnten diese Frage zufriedenstellend beantworten.

⁴⁹ Für alle folgenden Auswertungen gilt, dass der Übersichtlichkeit halber nur ausgewählte Zahlen unter 13 ausgeschrieben werden. So können die Darstellungen der Ergebnisse mit den darauffolgenden Interpretationen einfacher in Verbindung gebracht werden.

2: Verbale Bildbeschreibungen blieben meistens aus, es war aber oft ein Feststoff abgebildet, der in einen gefüllten Kolben gegeben wird, wo es zu einer „*Explosion*“ kommt und danach entweder „*Gas*“, „*Rauch*“, oder „*Dampf*“ aus dem Kolben ausgeschüttet wird. Die meisten SchülerInnen zeichneten fünf bis sechs Bilder für die Bilderserie. 2-mal wurde der Sand im Behältnis mit „*Chlor*“ beschriftet, zu dem gasförmiges Natrium und anschließend ein Festkörper ohne Beschriftung gegeben wurden. 2-mal wurde an der Außenwand des Einleitrohrs auskristallisiertes NaCl als solches beschrieben.

3a: Die 5 SchülerInnen, welche die Frage beantworteten, gaben alle an, dass Natrium und Chlor durch die Explosion zusammengepresst und zu einem Gitter geformt werden würden. Der Wortlaut war bei allen ähnlich.

3b: Hier gaben 5 SchülerInnen an, dass das Ionengitter zusammenhält, weil die Bausteine „*fest verankert*“ sind. Für 4 andere, weil die „*Valenzschalen zusammen*“ sind. 1 SchülerIn meinte, die Metallbindung hätte etwas damit zu tun, 1 weitereR meinte, es gebe zu viele Elektronen.

4: Hier meinten 5 SchülerInnen in ähnlichem Wortlaut, dass die unterschiedlich große Darstellung von den unterschiedlichen Ladungen komme. 3 andere schrieben, dass Elektronen weniger Schalen erzeugen würden. Weitere antworteten, dass die Darstellung von den unterschiedlichen Größen der Atome komme, manchmal wurde auch mit unterschiedlichen Massen argumentiert.

5a: 5 SchülerInnen antworten mit „*sich herumbewegende Elektronen*“ Je 2 mit „*Gas mit Elektronen*“ oder mit „*Elektronenreiches Gas*“. Weitere Meldungen sind „*Gas, das elektrisch ist*“ und „*Gas, das leitet*“.

5b: Laut 5 SchülerInnen leitet ein Natriumchloridkristall, weil Natrium alleine schon leite – es sei ja ein Metall. Jemand anderes drückt es anders aus: Na^+ sei im Ionengitter, welches ja von einem Elektronengas umgeben sei, also müsste es leiten. Einige Male wird auch mit dem Vorhandensein von unterschiedlichen Ladungen argumentiert.

6: 4 SchülerInnen finden, ionische Verbindungen sind härter, weil es sich um Verbindungen („*Weil zwei zusammen sind.*“) handelt, im Gegensatz zu den Metallen. 1 SchülerIn schreibt, Ionengitter seien stabiler als Metallgitter, ohne Begründung.

7: 7 Meinungen lassen sich unter dem Schlagwort „*Veranschaulichung*“ zusammenfassen, je 2 SchülerInnen können sich durch Modelle „*nicht sichtbare Dinge vorstellen*“ bzw. „*Sachen in*

der Realität vorstellen“ oder sehen ein Modell als „*Vereinfachung der Realität*“. 1-mal stand „*Um zu zeigen, wie es ist.*“

8a: Die Modelle weichen für alle außer 1 beantwortendeN SchülerIn von der Realität ab, entweder durch Farbe, Größe, Vereinfachung und/oder Beschriftung.

8b: Hier wurden von 2 SchülerInnen „*Orbital*“ genannt, von 2 anderen „*Rutherford*“ und 1 SchülerIn nannte beide.

8c: 3 SchülerInnen meinen, das Modell passe für unsere Zwecke, 2 meinen, es sei so „*für uns einfacher*“. Außerdem wurde die Aktualität genannt, im Gegensatz dazu aber auch die historische Wichtigkeit. 1 SchülerIn schrieb explizit, dass es für uns „*ausreichend richtig*“ sei, 1 andere gibt an, man könne der Arbeit „*schneller, besser und genauer*“ nachgehen.

9: Hier wird von 3 SchülerInnen genannt, dass Modelle zum „*genauer ansehen*“ benutzt werden, 2 weitere meinen zusätzlich, dass damit genauer „*gerechnet*“ werden könne. Ansonsten meinen die SchülerInnen, dass Modelle in den Naturwissenschaften als eine Vereinfachung, Gedächtnisstütze, Erklärungshilfe oder aber auch der Darstellung der Realität dienen.

c.) Interpretation der Ergebnisse⁵⁰

Es fällt auf, dass gewisse Fragen offensichtlich Schwierigkeiten bereiteten. 1a, 1c, 3a, 6 und 8c wurden von mindestens zwei Dritteln nicht beantwortet. Bis auf die „Aufwärmfragen“ wurden die meisten Fragen Großteils nicht zufriedenstellend beantwortet. Es fällt auch auf, dass rein terminologische Fragestellungen (1b, 1d, 5a) die höchste Anzahl an *zufriedenstellenden* Antworten liefern. Dies ist möglicherweise ein Hinweis auf die verbale Wissensreproduktionsfähigkeit der SchülerInnen.

Dass bei Frage 2 die Begriffe „*Rauch*“, „*Dampf*“ und „*Gas*“ oft durcheinandergebracht wurden, überrascht nicht; es soll an der Universität Wien sogar Studierende der Chemie geben, die den Unterschied nicht kennen. Deswegen wurde es dennoch als *zufriedenstellend* gewertet. Dass

⁵⁰ In der Interpretation wurde manchmal versucht, eine SchülerInnenperspektive einzunehmen. Jene Textteile sind kursiv gefasst, um Missverständnisse vorzubeugen. Bei kursiven Textteilen mit An- und Ausführungszeichen handelt es sich um wörtliche Zitate.

der Rauch (Mischung einer festen Phase mit einer gasförmigen) aus NaCl bestand, wurde nie angegeben, die SchülerInnen schienen darauf kein besonderes Augenmerk gelegt zu haben.

In Einzelgesprächen stellte sich heraus, dass viele SchülerInnen die Frage 3a schon mit den Antworten 1 bzw. 2 beantwortet sahen. Die Frage erschien redundant. Bei 3b bedienten sich die SchülerInnen der ausgegebenen Infosheets, was daran erkennbar ist, dass der Ausdruck „fest verankert“, wie in der Beschreibung des Metallgitters verwendet, oft gefallen ist. „Die Valenzschalen sind zusammen“ erinnert stark an die Elektronenpaarbindung, im Speziellen an die Darstellung des Chlormoleküls auf dem Infosheet.

Außerdem schien für viele die unterschiedlich große Darstellung der Gitterbausteine (Frage 4) im Ionengitter rein praktischer Natur zu sein, um zum Beispiel die unterschiedlichen Ladungen auseinander zu halten. Die Formulierung „Elektronen erzeugen weniger Schalen“ geht in die richtige Richtung, ist aber ein wenig zu unpräzise formuliert, um als *zufriedenstellend* zu gelten.

Bei 5b wird deutlich, dass auch das Modell der Metallbindung nicht ganz losgelassen werden konnte: Beispielsweise leite Natriumchlorid, weil es *aus Natrium bestehe* und *Natrium als Metall leite*. Einmal wurde sogar noch einmal auf das *Elektronengas* hingewiesen, das nach jener Aussage *um jedes Na^+ -Kation (also auch im Ionengitter) existiere*. Dies könnte darauf hinweisen, dass das Elektronengas aus SchülerInnenperspektive nicht durch die Valenzelektronen des Metalls zu Stande kommt, sondern ein bei Kationen gegebenes, allgegenwärtiges Phänomen ist. Hier muss aber noch einmal betont werden, dass die Sequenz in dieser Klasse stattgefunden hat, bevor die Bindungsmodelle im Regelunterricht durchgenommen wurden.

Das Ergebnis für Frage 6 verwundert retrospektiv kaum, vor Allem, da diese Sequenz für die SchülerInnen der erste Kontakt mit den Bindungsmodellen war. Die Kompetenzen, die hier abverlangt werden, müssen eingeübt sein, und möglicherweise hat dieser Prozess in der achten Schulstufe noch nicht in diesem Maße stattgefunden. Die Frage sollte aber dennoch beibehalten werden, um zu sehen, wie SchülerInnen der anderen Klassen damit umgehen.

Durch die Antworten zu Frage 7 wird klar, dass die SchülerInnen in Modellen eine Hilfe beim Denken sahen: So würden Modelle beispielsweise der Veranschaulichung und Vorstellung von „Dingen“ dienen. Nur eine Person war der Meinung, dass es sich um eine realitätsgetreue Darstellung handelt. Andere Atommodelle schienen nur wenige SchülerInnen zu kennen

(Frage 8b). Dennoch waren wiederum viele der Meinung, dass dieses Modell nicht grundlos genutzt wurde, sondern eben weil es sich *für unsere Zwecke gut eigne* (mehr als 50 % der Antworten).

Bei Frage 9 wurden im Wesentlichen noch einmal die Antworten zu Frage 7 wiederholt. Die einzige Überraschung war, dass zwei SchülerInnen angaben, Modelle würden auch *bei eventuellen Berechnungen helfen*. Natürlich stimmt das, dennoch verwundert es, wie diese SchülerInnen darauf kommen; selbst wenn es nicht im streng mathematischen Sinne, sondern etwa im Sinne der Vermessung einer Karte gemeint war, handelt es sich hier um eine reflektierte Aussage.

4.2. Klasse 2: 22 SchülerInnen – Frau Z. und Herr S.

Die Schule besteht aus einem Gymnasium und einem Realgymnasium mit insgesamt 640 SchülerInnen. Ab der 7. Schulstufe erfahren die SchülerInnen des Realgymnasiums einmal wöchentlich einen dreistündigen, gesamt-naturwissenschaftlichen Unterricht mit Laboreinheiten – auch mit chemischen Aspekten. Die betrachtete Klasse ist eine solche realgymnasiale Klasse. Die Lehrerin ist seit dem letzten Jahr neu im Beruf. Sie unterrichtet die Klasse gemeinsam mit dem Physiklehrer Herrn S., welcher ebenfalls Chemielehrer ist, im Rahmen des ganzheitlichen NaWi-Unterrichts. Sie zeigt sich im Regelunterricht verständnisvoll und freundlich, er sorgt für eine vertraute Atmosphäre und erzählt den SchülerInnen auch gerne persönliche Anekdoten (meist mit fachlichem Bezug). Die Klasse erscheint etwas undiszipliniert. Laut Lehrerin sind es die SchülerInnen gewohnt, in Gruppen und für sich zu arbeiten.

An Vorwissen aus dem Chemieunterricht brachten die SchülerInnen laut der Lehrkräfte mit:

- Atombau
- Periodensystem in seinem Aufbau mit darin enthaltenen Grundinformationen
- Oktettregel
- Ionische Bindung und Ionengitter, Nomenklatur von Salzen
- Sprödigkeit und Härte von Salzen, Leitfähigkeit von Lösungen und Schmelzen

a.) Deskriptive Darstellung des Unterrichts

Nach einer kurzen Vorstellung von mir und Offenlegung meiner Motive stellte ich an die SchülerInnen die Frage, was denn ein Modell sei. Sie nannten einige, auch naturwissenschaftliche Modelle, wonach die Weltkarte nach Mercator gezeigt wurde, aus der die SchülerInnen Informationen herauslasen (es werden Meer/Landmasse, Seehöhe genannt). Danach wurden die Landkarte von Österreich und die thematischen Karten von Wien gezeigt und kurz erläutert; hierbei wurde auch der Begriff des Modellmaßstabes und das Konzept des Verwendungszwecks von Modellen erklärt. Anschließend wurden den SchülerInnen noch weitere Modelle aus dem Alltag genannt.

Sodann zeigte ich das Video über Natrium und kommentierte es, im Anschluss kam das Video zur Reaktion. Ich betonte nochmal die phänomenologischen Eigenschaften der Elemente und sagte außerdem, dass die SchülerInnen genau aufpassen sollen, da sich die restliche Stunde um dieses Video drehen werde. Auf meine Frage, was der Rauch (und im Weiteren das weiße Stück am Kolbenboden) sein könnte, kamen Antworten wie „*flüssiger Stickstoff*“ oder „*Eis*“, aber auch „*Salz*“.

Dann ließ ich die Infosheets austeilen und ging sie in zügigem Tempo mit den SchülerInnen durch. Das Prozedere der Änderung des Darstellungsniveaus betonte ich stark: „*So sieht es aus, wenn wir uns das genauer vorstellen.*“, in Begleitung mit dem Wort „Maßstab“ (mit Rückbezug auf die Kartenmaßstäbe). Dann ließ ich die Arbeitsblätter austeilen und versicherte, dass es kein *richtig* oder *falsch* gebe, sondern ich lediglich an den anonymen Gedanken der SchülerInnen interessiert sei, da es meiner Arbeit diene.

Es waren nun etwa 18 Minuten vergangen, die restliche Zeit ging ich im Klassenzimmer umher und stand für Fragen zur Verfügung.

Persönliche Eindrücke danach:

Die Durchführung dieser Einheit hat meines Erachtens besser funktioniert als in der Einheit zuvor, die Klasse war eher ruhig und es schienen alle (außer drei in der hintersten Reihe) bei der Sache gewesen zu sein. Einige SchülerInnen sind in ihrer Ausarbeitung nicht sehr weit gekommen, da sie die Skizze des Experiments sehr genau (teilweise mit Zirkel und Lineal)

gefertigt hatten. Anscheinend gab es begriffliche Probleme mit „Elementarzustand“, „Titancarbide“ und „Bilderserie“, aber auch „Modellmaßstab“, dessen Bedeutung ja eigentlich geklärt wurde. Auffällig daran ist, dass es sich bei all diesen Begriffen um Komposita (siehe **Abschnitt 1.2.**) handelt.

Verbesserungsvorschläge für die nächste Intervention:

- Es soll betont werden, dass zuerst Lückentext und Bilder zu Natriumchlorid erarbeitet werden sollen, da die restlichen („weiterführenden“) Fragen nur gut beantwortet werden können, wenn dieses Fundament gegeben ist.

b.) Ergebnisse

Eine Zusammenfassung findet sich in **Tabelle 2.**

Klasse 2 n=22	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	1	0	11	7	1	13	18	18	14	16	16	16	13	17	20	14	21,59	62,34	72,73
nicht zufriedenstellend beantwortet	10	1	4	12	8	7	2	3	5	6	5	-	-	-	-	-	30,68	23,38	-
zufriedenstellend beantwortet	11	21	7	3	13	2	2	1	3	0	1	6	9	5	2	8	47,73	14,29	27,27
																	100,0	100,0	100,0

Tabelle 2: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 2.

1a: 4 SchülerInnen zeichneten hier viele (bis zu 40) gleichgroße, gleichfarbige Kugeln, aber deutlich kleiner dargestellt als in der Spezifikationsebene davor, 2 Weitere das Gleiche, allerdings mit unterschiedlichen Farben (keine Ladungen!). 7 SchülerInnen zeichneten Ladungen ein: 2 beschrifteten mit „Na⁺“ und „Cl⁻“ (ohne Minus), 1 mit „Na⁺“ und „K⁺“, 1 zeichnete traurige und fröhliche Emoticons in die Kugeln. 3 stellten die Kationen größer dar als die Anionen, 3 andere zeichnen Gitterverbindungen (Stäbe) in unterschiedlichsten Winkeln, wobei sich Anionen und Kationen auch nicht zwingendermaßen in ihrer Reihenfolge abwechseln. 1 SchülerIn kopiert die Darstellung der vorherigen Spezifikationsebene, 1 andereR SchülerIn zeichnete positive Na-Rümpfe mit herumschwirrenden Elektronen.

1b: 1 SchülerIn schreibt in beide Lücken „11“, der Rest antwortete *zufriedenstellend*.

1c: 2 SchülerInnen kopierten ihre Darstellung von 1a; 3 andere SchülerInnen benutzten die richtige Darstellungsform, allerdings war die Zahl der Elektronen pro Schale bzw. die Gesamtanzahl nicht richtig; bei 2 davon waren die Schalen nah beieinander, wie etwa bei der Darstellung der Elektronenpaarbindung. 3 andere SchülerInnen zeichneten sogar eine Art Reaktionsmechanismus.

1d: 6 SchülerInnen schrieben, dass Chlor seine Außenelektronen nicht stark anziehe und so an Natrium abgebe; 4 Weitere beantworteten insofern inkonsistent, dass etwa Natrium seine Valenzelektronen nicht stark anziehe, dennoch Chlor seine an Natrium abgebe. 1 SchülerIn schrieb, Natrium gebe sein Elektron an „die Umwelt“ (anstatt „Chlor“) ab. 1 weitereR SchülerIn füllte an dieser Stelle „Natrium“ und anschließend „Calcium“ ein. Außerdem schrieben einige SchülerInnen: „Nichtmetalle [zieht seine Valenzelektronen stark an.]“

2: 9 SchülerInnen erstellten *zufriedenstellende* und aufwändige Bilderserien (teilweise mit Lineal und Zirkel, mit bis zu fünf verschiedenen Farben), allerdings wurden sie nicht beschriftet. Bei 3 weiteren SchülerInnen war kein Produkt dargestellt, bei 2 weder Rauch noch das Natriumchlorid-Stück, bei 1 zumindest Letzteres. 4 SchülerInnen bezeichneten das, was eigentlich der Sand am Gefäßboden sein sollte, als Chlor; Natrium wurde von 1 SchülerIn als „Erbse“ bezeichnet, selbigeR bezeichnete den NaCl-Rauch als „Chlor“. 1 bezeichnete den Rauch als „Schleier“.

3a: 2 SchülerInnen stellten einfach das Gitter dar, wie es in der Vorlage abgebildet ist. 2 Weitere schrieben, dass Chlor und Natrium zusammenkämen und eine Explosion stattfinde. 2 andere schrieben „ $Na \text{ \& } Cl \rightarrow NaCl$ “; die Zeichnung dazu ist auf substanzieller Ebene gehalten. Die 2 *zufriedenstellenden* Antworten kamen daher, dass bei 1c schon eine Art Reaktionsmechanismus gezeichnet wurde; in Worte gefasst wurde es jedoch nur 1-mal: Atome würden zu Ionen werden, die dann ein Gitter bilden.

3b: Hier wurde von 2 SchülerInnen richtigerweise auf die elektrostatische Anziehung verwiesen, 1 andereR meinte, die vollen Außenschalen würden für den Zusammenhalt im Gitter sorgen, 1 andereR sprach davon, dass es sich um „festen Teilchen“ handle.

4: Hier gibt jeweils 1 SchülerIn an, dass die unterschiedlich großen Kugeln in der Gitterdarstellung der besseren Vorstellbarkeit dienen würden bzw. um die Ionensorten zu unterscheiden; es wurde auch eine Antwort in Form einer Frage gegeben: „Weil sie

unterschiedlich groß sind?“. 1 SchülerIn gab an, dass die Ionen *„unterschiedlich viele Außenringe“* besäßen.

5a: Ein Elektronengas ist nach 2 SchülerInnen ein *„elektrisch geladenes Gas“*, nach 1 Weiteren ein Gas, das Elektronen verbindet. 2 SchülerInnen antworteten in Form einer Zeichnung, in der viele Pfeile durcheinander gehen. 2 sagten, es halte die positiven Atomrümpfe zusammen, 1 meinte, es handle sich um *„eine Menge an Elektronen“* im Metallgitter.

5b: Die Frage nach der Leitfähigkeit von Natriumchlorid beantwortete 2 SchülerInnen richtig, jedoch ohne Begründung; 2 weitere lagen falsch und gaben ebenfalls keine Begründung an. 1 SchülerIn meinte, die Leitfähigkeit sei beeinträchtigt, da sich weniger freie Elektronen im Salzkristall befinden würden. 1 meinte, Natrium sei ein Salz und Salze würden leiten.

6: Dass Salze oftmals härter sind als elementare Metalle, liege laut 1 SchülerIn daran, dass das *„Ionengitter fest ist“*. Weiters ist für 1 SchülerIn das Ionengitter dichter gepackt als ein Metallgitter, 1 andereR meinte, Metalle würden sich ineinander verhaken und seien dadurch härter. 1 SchülerIn antwortete, dass es daran liege, dass sie *„in einem Gitter sind“*. *„Stärkere Anziehung im Ionengitter“*, meinte 1 SchülerIn, was als zufriedenstellend gewertet wurde.

7: Die Funktion von Modellen war laut 3 SchülerInnen die Verschaffung eines Überblicks, für je 1 die Erklärung von Dingen oder als Vorstellungshilfe. *„Zur Orientierung“* wurde 1-mal angegeben.

8a: Modelle wichen für alle außer 1 immer von der Realität ab: 2 gaben dafür zwar keinen Grund an, die *„Größe“* spielt aber für 5 SchülerInnen eine Rolle. Ansonsten wurden je 1-mal *„Material“* und *„Farben und Beschriftung“* genannt.

8b: Alle 5 Antworten verneinen, dass die SchülerInnen andere Modelle kennen.

8c: 1 SchülerIn denkt, man benutze das Atommodell nach Niels Bohr wegen seiner Berühmtheit, 1 andereR fragte, wer Niels Bohr sei.

9: Der Grund zur Nutzung von Modellen in den Naturwissenschaften ist für je 2 SchülerInnen, dass *„Atome zu klein zum Anschauen“* seien, sie als *„Erklärungshilfe“* dienen oder einfach nur eine *Vorstellungs-/Darstellungsform* seien. Weiters gab je 1 SchülerIn an, dass es zur *Veranschaulichung* beitrage, aber auch eine *Hilfe beim Experimentieren* sei.

c.) Interpretation der Ergebnisse

Es wird schnell ersichtlich, dass viele SchülerInnen nach dem Zeichnen zu Frage 2 kaum mehr Fragen beantwortet hatten. Wie schon erwähnt, diese Zeichnungen wurden teilweise sehr aufwändig erstellt, die Lehrerin des Regelunterrichts erklärte, dass normalerweise auf die Form (und somit auf schöne Zeichnungen) in den Protokollen der SchülerInnen sehr hohen Wert gelegt werde. Dass die Fragen 7-9 wieder einige mehr SchülerInnen beantwortet hatten, liegt wohl daran, dass sie noch dazu aufgefordert wurden – etwa fünf Minuten vor dem Ende der Stunde.

Den SchülerInnen scheint bewusst gewesen zu sein, dass sich in immer kleinere Dimensionen bewegt wurde: etwa ein Viertel zeichnete bei Frage 1a das Gleiche wie in der vorgegebenen Gitterdarstellung, nur kleiner. Es fehlte aber anscheinend die Kreativität bzw. der Blick, um das Muster auf den Infosheets zu entschlüsseln und selber anzuwenden. Dadurch, dass die ionische Bindung im Regelunterricht schon behandelt wurde, konnten ca. dreiviertel der SchülerInnen diese Frage zumindest teilweise *zufriedenstellend* beantworten. Der häufigste Fehler war jedoch, nicht die Anionen größer als die Kationen, sondern umgekehrt oder beide Spezies gleich groß gezeichnet zu haben. Dieses Kriterium soll von nun an nicht mehr als entscheidend gewertet werden, das Hauptaugenmerk liegt auf dem abwechselnden Vorkommen der zwei Ionenspezies.

Auffällig ist bei den Antworten zu Frage 1c, dass 7 SchülerInnen, die Antwort 1a falsch (gleich wie die Vorlage) oder gar nicht dargestellt hatten, jedoch für 1c das richtige Konzept anwandten (es wurde im Denken also eine Spezifikationsebene „ausgelassen“). Davon waren aber nicht alle *zufriedenstellend*; es ist darüber hinwegzusehen, dass einige Male zu viele Elektronen eingezeichnet wurden, da das Prinzip dahinter verstanden worden schien. Die 3 SchülerInnen, welche die gleiche Darstellungsform wie bei 1a benutzten, zeichneten sie nun größer. Im Anschluss an die Interpretation von 1a könnte man meinen, dass nach dieser „Bewegung in kleinere Dimensionen“ nun eine „Lupe“ herangezogen wurde, welche die Gegenstände lediglich vergrößert erscheinen lässt und nicht eine andere Darstellungsebene zeigt – man bewegt sich weg vom Modelldenken hin zu alltäglichen Vorstellungen/Mitteln.

Bei 1d gab es offensichtlich ein wenig Verwirrung; bei Betrachtung der Antworten von 1d mit Blick auf 1c fällt auf, dass alle 3 *zufriedenstellenden* SchülerInnen auch 1c *zufriedenstellend*

beantworteten. 3 Weitere beantworteten 1c auch *zufriedenstellend* (zeichneten also das freie Elektron von Natrium ein oder sogar einen Pfeil zum Chloratom, schrieben aber, dass der Elektronenübertrag von Chlor auf Natrium verlaufe. 1 andereR beantwortete 1c auch richtig, schrieb aber zuerst, dass zwar Chlor seine Valenzelektronen nicht so stark anziehe, dennoch von Natrium ein Elektron auf Chlor übertragen wird. Die Atome in 1c waren oftmals durch die Kernladungszahl (ähnlich der Vorlage) gekennzeichnet, möglicherweise hat dies für Verwirrung gesorgt. Es überrascht auf jeden Fall, dass ein Drittel der Klasse diese Frage *nicht* und die Hälfte *nicht zufriedenstellend* (inkonsistent) beantwortet hatte.

Die Antworten zu Frage 2 sind schwierig zu bewerten, da die meisten zwar *zufriedenstellende* Bilderserien erstellten, die Beschriftung aber fehlte. Da dies so oft der Fall war, lässt sich daraus schließen, dass dies möglicherweise Usus im Regelunterricht ist. Die 5 SchülerInnen, die beschrifteten, zeigten aber auf, dass die Situation vielleicht auch nicht ganz verstanden wurde: der Sand ist „Chlor“, das in der Sequenz als „erbsengroßes Stück“ bezeichnete Natrium wurde zur „Erbsen“; der entstehende Rauch ist „Chlor“. Möglicherweise haben sich einige andere SchülerInnen nicht ausgekannt und deswegen nichts beschriftet.

Bei 3a fielen die Antworten sehr divers aus. Einerseits schienen die SchülerInnen unaufmerksam beim Lesen gewesen zu sein: auf die Frage, wie es zu einem Gitter komme, wurde oft mit dem Bild eines fertigen Gitters geantwortet. Andererseits schienen nicht alle SchülerInnen im Modelldenken angekommen zu sein: Teilweise zeichneten sie etwa wie *Stoffe zusammenkommen*, eine *Explosion stattfindet* und *etwas Neues entsteht*. Manche befinden sich wohl auch auf dem Weg zum Modelldenken: Sie zeichneten eine *Art Reaktionsgleichung*, und dazu eine *Zeichnung auf substanzieller Ebene*). Und wieder andere schienen bereits angekommen zu sein, sie zeichneten etwa, wie *Elektronen übertragen* werden. Es handelte sich hierbei aber jeweils nur um ca. 2 SchülerInnen.

Die 5 nicht zufriedenstellenden Antworten waren semantische Ableitung der einzelnen Nomina des Kompositums. Von den 3 richtigen Antworten zu 5a waren 2 vermutlich aus dem Infosheet entnommen (wegen der Formulierung „positive Atomrümpfe“). Problematisch bei der dritten Antwort ist, dass nicht eindeutig ist, ob unter „eine Menge“ eine im mathematischen Sinne abgeschlossene Zahl an Entitäten (also eine Teilmenge der Gesamtmenge an Elektronen im Metall) gemeint war oder einfach eine nicht weiter bestimmte Vielzahl an Entitäten. Mit dem Zusatz „frei“ wären die Anforderungen erfüllt

gewesen. Bei 5b schreibt selbigeR SchülerIn von einer verminderten Anzahl „freier Elektronen“, was eher auf ersteres schließen lässt. Insgesamt ist es ein wenig seltsam, dass keine Antwort (zu 5b) komplett *zufriedenstellend* war, obwohl in der letzten Unterrichtsstunde (am Tag davor) über die Leitfähigkeit von Kochsalz in fester Form und gelöst/geschmolzen unterrichtet wurde, inklusive Vorzeigerversuch.

Auch bei Frage 6 wird deutlich, dass die SchülerInnen nur schwer von phänomenologischen Sichtweisen abkamen: Aus Prinzip „feste“ oder „dichter gepackte“ Ionengitter oder der Fragestellung widersprechende Antworten, dass *Metalle* durch *intrinsische Verhakungen* fester seien, weisen darauf hin. Hier muss gesagt werden, dass die SchülerInnen in der Unterrichtsstunde zuvor auch über Härte und Sprödigkeit von Salzen unterrichtet wurden, selbst mit einer bildlichen Darstellung, in der eine Gitterebene des Kristalls modellhaft durch einen „Hammerschlag“ verschoben wurde.

Zumindest allen antwortenden SchülerInnen der Frage 7 dienten Modelle der Anschaulichkeit. Gut die Hälfte der Klasse sah Abweichungen von der Realität, eine Person nicht. Diese Abweichungen waren meist optischer Natur: Material, Größe, Farben etc. Dies leuchtet ein bei der Betrachtung von 8b, nämlich dass die SchülerInnen gar keine anderen Atommodelle kannten – dementsprechend gab es keinen Grund, warum genau das Bohrsche benutzt werden sollte. Frage 9 wurde im Übrigen wie Frage 7 beantwortet, allerdings von mehr SchülerInnen.

4.3. Klasse 3: 17 SchülerInnen – Frau Z.

Die Klasse befindet sich in derselben Schule wie Klasse 2 (siehe **Abschnitt 4.2.**) und hat auch dieselbe Lehrerin. Es handelt sich um eine Mischklasse, in der sich ein Teil im gymnasialen und ein Teil im realgymnasialen Zweig befinden. Laut eigener Aussage der Lehrerin wird die Parallelklasse auf ähnliche Weise unterrichtet.

An Vorwissen aus dem Chemieunterricht brachten die SchülerInnen laut Lehrerin Ähnliches wie ihre Parallelklasse mit, zusätzlich aber noch die weiteren zwei Bindungsmodelle; der Unterricht der Bindungsmodelle war allerdings noch nicht abgeschlossen:

- Atombau
- Periodensystem in seinem Aufbau mit darin enthaltenen Grundinformationen
- Oktettregel
- Ionische Bindung und Ionengitter, Nomenklatur von Salzen
- Sprödigkeit und Härte von Salzen, Leitfähigkeit
- Metallbindung
- Anfänge der Elektronenpaarbindung (eigentlich „Atombindung“ genannt)

In der vorangegangenen Stunde erstellten die SchülerInnen in Gruppen vorgegebene Molekülmodelle mittels Baukastensysteme.

Die Intervention fand sieben Tage nach jener in der Parallelklasse statt.

a.) Deskriptive Darstellung des Unterrichts

Zuerst begrüßte ich die Klasse und legte meine Absichten offen, schritt dann aber gleich zur Frage, was denn ein Modell sei. Ein Schüler verwies auf ein Molekülmodell, das an der Wand hing, ansonsten wurden Modellhäuser von Architekten und Modelleisenbahn genannt. Die Funktion eines Modells sei die Darstellung von Dingen, aber auch eine Vorstellungshilfe. Ich schritt sodann zu den Karten über, bei denen die SchülerInnen Einzelheiten (Kontinente, Gewässer, Seehöhe, Bezirke) herauslasen. Ich betonte bei jeder Karte qualitativ die Größe des Modellmaßstabs, außerdem erläuterte ich noch das Konzept des Verwendungszwecks.

Es wurden die Edukte der bevorstehenden Reaktion kurz angesprochen und gefragt, wer denn schon mit Natrium bzw. Chlor zu tun hatte, erwartungsgemäß meldete sich niemand. Dann wurde das Video zu Natrium gezeigt und kommentiert; es gab keine Zwischenfragen. Danach wurde das Video zur Reaktion gezeigt, im Klassenzimmer war es immer noch recht ruhig. Als es zur Explosion kam, staunten die SchülerInnen hörbar. Ich fragte, ob jemand eine Idee habe, was sich als Produkt wohl gebildet hat. Es kam eine Wortmeldung mit „*Chlorgas*“, die nächste war allerdings gleich „*Natriumchlorid*“, der ich zustimmte.

Anschließend wurden die Infosheets ausgeteilt und gemeinsam besprochen, wobei auch die einzelnen Spezifikationsebenen (inkl. dem Begriff „*Modellmaßstäbe*“) und die Absicht hinter dem Format betont wurden. Es wurde auch betont, dass „Atombindung“ und „Elektronenpaarbindung“ synonym zu verwenden sind. Danach wurden die Arbeitsblätter ausgeteilt und die SchülerInnen in Ruhe arbeiten gelassen. Bis dahin waren 16 Minuten vergangen. Ich betonte noch einmal, dass mich nicht interessiere, was in Büchern oder Heften stünde, sondern mehr, was sich die SchülerInnen denken würden. Außerdem wurde gesagt, dass die SchülerInnen mit den Zeichnungen und Lückentexten beginnen sollten und dass die Skizzen nicht mit Lineal und Zirkel gemacht werden sollen.

Persönliche Eindrücke danach:

Allgemein hatte ich wieder ein eher schlechtes Gefühl, die Klasse kam mir unmotiviert bzw. abgelenkt vor: die SchülerInnen spielten mit den Haaren, arbeiteten an einem fachfremden Aufgabenblatt oder starrten das Vorgabenblatt mit einem Stift in der Hand an. Auch hier hatte ich wieder das Gefühl, dass nicht viel geschafft wurde, fast alle hatten schon Schwierigkeiten mit den Zeichnungen auf der ersten Seite. Gegen Ende hatte mir ein Schüler in der ersten Reihe gesagt, er hätte zu kompliziert gedacht (z.B. für die erste zu einfügende Skizze (Frage 1a)).

Es kommt der Gedanke auf, dass die Informationsflut vielleicht ein bisschen zu groß ist – obwohl gerade in dieser Klasse eigentlich alle Bindungstypen zumindest angesprochen wurden. Zumindest deutet das Verhalten der SchülerInnen während der Sequenz darauf hin; entweder sie waren über- oder unterfordert und wollten sich dementsprechend nicht mit dem Arbeitsblättern beschäftigen. Zwei Arbeitsblätter wurden vollständig unbeantwortet zurückgegeben, sie wurden aus der Analyse ausgenommen.

Außerdem schienen die SchülerInnen (auch in den anderen bisherigen Durchgängen) nicht immer zu wissen, dass sie etwas in die leeren Kästchen bei 1a und 1c einzeichnen hätten sollen; und wenn sie es wussten, war unklar, was zu zeichnen war.

Verbesserungsvorschläge für die nächste Intervention:

- Modelle sollen nicht nur als etwas Greifbares beschrieben werden, sondern auch als rein Denkbare.
- Es soll betont werden, *dass* und *was* bei 1a und 1c einzuzeichnen ist.

b.) Ergebnisse:

Eine Zusammenfassung findet sich in **Tabelle 3**.

Klasse 3 n=17	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	1	0	2	1	9	7	11	12	11	14	15	8	12	16	16	13	5,88	66,39	76,47
nicht zufriedenstellend beantwortet	1	0	6	5	2	9	3	5	6	2	2	-	-	-	-	-	17,65	24,37	-
zufriedenstellend beantwortet	15	17	9	11	6	1	3	0	0	1	0	9	5	1	1	4	76,47	9,24	23,53
																	100,0	100,0	100,0

Tabelle 3: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 3.

1a: 15 SchülerInnen antworteten *zufriedenstellend*, 12 von ihnen hatten nur Ladungen der Ionen, nicht die Spezies angeschrieben. Die anderen 3 hatten sogar zusätzlich zur Beschriftung auch die Ionengröße richtig berücksichtigt. 1 SchülerIn zeichnete die Natriumionen größer als die Chloridionen. 4 SchülerInnen zeichneten einen eckigen Raster und die Ladungen in die dadurch entstehenden Kästchen (also nicht als Kugel/Kreis dargestellt).

1b: Diese Frage wurde von allen SchülerInnen *zufriedenstellend* beantwortet.

1c: Von den 9 *zufriedenstellenden* Antworten beinhalteten 8 eine Art Reaktionsmechanismus; nicht immer stimmte aber die Gesamtanzahl der Elektronen. 2-mal wurde ein Cl₂-Molekül gezeichnet, dazu der gleiche Untertitel, der auf dem Infosheet zu finden ist. 1-mal übertrug ein Na-Atom ein Elektron auf ein Natrium-Kation. Außerdem wurde 1-mal eine Art Reaktionsmechanismus dargestellt, allerdings nicht auf der Elementarteilchenebene: Eine Kugel für Natrium, an die eine kleinere Kugel gezeichnet ist; diese kleine Kugel wird per Pfeil an eine andere Kugel (Chlor) verwiesen.

1d: Die 5 nicht *zufriedenstellenden* Antworten sahen allesamt so aus, dass in die Lücken „Kationen“ und „Anionen“ eingesetzt wurden: „Kationen [zieht sein Valenzelektron nicht stark

an.] Anionen [hingegen zieht seine ...]“. Außerdem füllten 2 SchülerInnen die ersten zwei Lücken mit „Metalle“ bzw. „Nichtmetalle“ aus, was syntaktisch zwar falsch, semantisch aber und damit effektiv als *zufriedenstellend* gewertet wurde.

2: 2 SchülerInnen fertigten die Zeichnung fast makellos an. 3 bezeichneten das Chlorgas als „Säure“, 1 andereR schrieb anstelle von „Natrium“, „Chlor“ und „Natriumchlorid“ „Metall“, „Gas“ und „Salz“. Ansonsten wurde 1-mal der Sand als „Chlor“ bezeichnet. 1-mal wurde Chlor gar nicht eingezeichnet, ein anderes Mal fehlte das Produkt. 1-mal wurde das Produkt als „NaCl-Gas“ bezeichnet.

3a: Einige zeichneten einen Mechanismus in 1c, allerdings fehlte die verbale Formulierung. 2 andere SchülerInnen (1 mit Mechanismus in 1c) zeichneten eine Kugel mit „N“ beschriftet, die sich in der Mitte mit einer anderen Kugel mit „Cl“ beschriftet trifft. Von dort aus geht ein Pfeil, der zu einer Kugel mit Aufschrift „NaCl“ führt. 2 schrieben eine Art Reaktionsgleichung: „Na+Cl=NaCl“.

3b: 2 SchülerInnen verwiesen richtig auf die elektrostatische Wechselwirkung, 1 SchülerIn schrieb lediglich „Anziehungskraft“; 2 andere schrieben „Elektronen außen halten das zusammen“, 1 weitereR „wegen den Elektronen“.

4: Für 3 SchülerInnen werden die Ionen zu Gunsten der Unterscheidung in verschiedenen Größen dargestellt, 2 meinten, dass die Ionen unterschiedlich groß sind (1 davon formulierte eine rhetorische Frage). 1 WeitereR schrieb „+ & -“

5a: Nach 2 SchülerInnen ist ein Elektronengas ein „Gas, das viele Elektronen besitzt“. Je 1 meint „Gas“, „Gas aus Elektronen“, „Elektronen, die fliegen“ oder „Gasförmige Elektronen“.

5b: 2 SchülerInnen antworten ohne Begründung falsch, 1 schreibt: „Nein, weil +-+“ was als *zufriedenstellend* gewertet wurde.

6: Je 1 SchülerIn meint hier, dass diese Eigenschaften wahrscheinlich nur in der Praxis erkennbar seien und nicht am Modell, oder dass sich bei Bindungen die „guten Eigenschaften und die Schlechten“ vereinen.

7: Die Funktion von Modellen ist laut 6 SchülerInnen die konkrete Darstellung „von Dingen“; 3 davon meinten, es würden „große Sachen“ kleiner dargestellt werden. Ansonsten meinen 3 weitere SchülerInnen, dass es für Versuche bzw. Experimente diene.

8a: 1 SchülerIn meint unbegründet, dass Modelle nicht von der Realität abweichen, 2 andere schon, allerdings auch ohne Begründung. Je 1 meint „Größe“ oder „Maßstab“.

8b: 1 SchülerIn meinte, andere Modelle hätten einen anderen Maßstab.

8c: 1 SchülerIn meinte, es sei „cool“, mit dem Bohrschen Atommodell zu arbeiten.

9: 2 SchülerInnen schreiben das Schlagwort „Experimente“ hin, je 1 WeitereR „veranschaulichen“ oder „vorstellen“.

c.) Interpretation der Ergebnisse

Es ist erkennbar, dass diese Klasse schon Ionengitter behandelt hatte. Die SchülerInnen wussten offensichtlich, dass ein Ionengitter zumindest aus zwei unterschiedlichen Spezies bestehen muss und dass sie sich in ihrer Ladung unterscheiden; nur wenige konnten jedoch daraus schließen, warum das Gitter zusammenhält (siehe Frage 3b). Sie wussten jedoch Großteils, was bzw. auf welcher Spezifikationsebene die Antworten zu 1a und 1c zu zeichnen waren. Es ist schade aber dennoch akzeptabel, dass die SchülerInnen die Spezies nicht beschriftet hatten; es wäre zwar aus den Vorlagen beim Infosheet ableitbar, geht in dieser Form aber auch einem bestimmten (nachvollziehbaren) Muster nach.

Mehr als die Hälfte konnte Frage 1c *zufriedenstellend* beantworten, teilweise sogar darüber hinaus (Reaktionsmechanismus), aber nur solange man nicht berücksichtigt, ob die gezeichneten Atome die richtige Anzahl an Elektronen hat: so wurden beispielsweise die Chloratome viermal mit vier Elektronen in der innersten, sechs in der nächsten und zwölf in der äußersten Schale dargestellt. Warum von einigen SchülerInnen Chlor-Moleküle oder ein Natriumgitterausschnitt eingezeichnet wurden, ist nicht nachvollziehbar; vor Allem deswegen, weil in der Vorstufe noch ein Ionengitter (zweimal sogar mit richtigen Ionengrößen!) gezeichnet wurde.

Bei 1d dachten die 5 SchülerInnen wohl, dass das neue Wissen über Ionengitter abgefragt wird, sodass sie kurzerhand die „neu erlernten Wörter“ einfügten. Dass die Bedeutung der Wörter nicht ganz klar war, ist zu bezweifeln, da sie diese eigentlich schon im Regelunterricht lernten und es zusätzlich direkt über Aufgabe 1d (Aufgabe 1b) im Lückentext stand – den alle SchülerInnen durchlasen und *zufriedenstellend* beantworteten.

Grundsätzlich war bzgl. Frage 2 in fast allen Bilderserien wiederzuerkennen, was im Video gezeigt wurde. Die meisten waren beschriftet, allerdings nicht immer richtig: der grüne Kolbeninhalt wurde als „Säure“ angesehen oder der Sand als „Chlor“. Ansonsten sind noch Beschreibungen wie „NaCl-Gas“ für den Rauch oder „Rauch wegen NaCl“ interessant. Es stellt sich dennoch die Frage, warum hier lediglich die Hälfte überhaupt eine Antwort gab. Dies deutet darauf hin, dass der Arbeitsauftrag nicht ganz klar gewesen schien.

Viele wussten Frage 3a bildlich zu beantworten, zwei SchülerInnen starteten Versuche auf der Symbolebene und nur einE SchülerIn schaffte es, (auch) eine verbale Antwort zu geben. Wahrscheinlich sahen die SchülerInnen die Frage schon mit der Zeichnung beantwortet (explizite Verweise auf 1c gab es jedoch nicht), weil sie die Fragestellung nicht aufmerksam genug lasen.

Wie bereits erwähnt, wussten fast alle SchülerInnen, wie ein Ionengitter aufgebaut ist. Davon wussten aber erstaunlich wenige die elektrostatischen Wechselwirkungen bei Frage 3b zu berücksichtigen. Einige Antworten lassen darauf schließen, dass den SchülerInnen nach die *Erfüllung der Oktettregel ausreicht*, um eine stabile Verbindung zu erhalten – was natürlich formal stimmt, dennoch nicht den gewünschten Detailgrad erreicht. Es könnte aber auch sein, dass gar nicht darauf, sondern auf ein nicht vorhandenes Elektronengas abgezielt wurde.

Die 3 SchülerInnen, die bei 1a die Chloridionen größer als die Natriumionen zeichneten, gaben zu Frage 4 keine Antwort – alle 3 beantworteten nach 1d keine Frage mehr, einE SchülerIn ausgenommen, welcheR aber lediglich 5a beantwortete („Elektronen, die fliegen“). Jene Person, die die Kationen größer als die Anionen zeichnete, gab zu Frage 4 ebenfalls keine Antwort. Dies sind zwar keine direkten Indizien dafür, dass diese drei SchülerInnen nicht wussten, was sie tun, allerdings deutet die Inkonsistenz der gegebenen Antworten schon darauf hin: 2 von den 3 zeichneten bei 1a ein Ionengitter, bei 1c aber eine Elektronenpaarbindung oder eine Metallbindung. Es wurde sich also entweder an eine Faustregel erinnert, dass eine Spezies meist größer ist als die andere und diese Regel so angewandt, oder das Ergebnis war purer Zufall. Der/die überbleibende SchülerIn beantwortete konsistent und richtig, möglicherweise hatten die anderen zuerst von ihm/ihr abgeschrieben, schlussendlich aber doch die Motivation verloren.

Zu 5a kamen Antworten, die das zusammengesetzte Nomen in seine Einzelteile zerlegen, semantisch deuten und wieder zusammensetzen – der Begriff wurde offensichtlich nicht als Bezeichnung für etwas Spezifisches gesehen.

5b beantwortete nur 1 SchülerIn *zufriedenstellend*, obwohl die Lehrerin des Regelunterrichts sagte, dass die betrachtete Klasse Ähnliches lerne wie ihre Parallelklasse (siehe **Abschnitt 4.2.**) und entsprechend auch die stofflichen Eigenschaften von Salzen behandelten.

Die 2 Antworten zu Frage 6 zeigen wieder den Einfallsreichtum der SchülerInnen einerseits und andererseits, wie sie noch nicht ganz im Modelldenken angelangt zu sein schienen: einerseits können *Stoffeigenschaften anscheinend nicht am Modell beschrieben* werden, andererseits bilden die *Eigenschaften der Edukte die Basis der Eigenschaften des Produkts* (egal ob „gut“ oder „schlecht“); das Produkt kann demnach also *keine anderen Eigenschaften als zumindest eine der Edukte* haben. Das Konzept erinnert ein wenig an die genetische Vererbung.

Aus den Fragen 7-9 lässt sich erkennen, dass einige SchülerInnen in Modellen offensichtlich ein Werkzeug sehen, meist zur verbesserten Darstellung. Was mit „*Experimente*“ gemeint war, ist nicht ganz klar – möglicherweise werden *Experimente modelliert*, es könnte aber auch so gemeint sein, dass *an Modellen experimentiert* wird. Zumindest bei Frage 9 könnte es, der Fragestellung entsprechend heißen, dass Modelle für ersteres dienen, jedoch nach der Funktion gefragt, ist diese Antwort schwer zu deuten.

Zur Bewertung der Antworten soll an dieser Stelle noch (rückwirkend) gesagt sein, dass nachträgliche Änderungen (nach der Erstzuordnung *zufriedenstellend/nicht zufriedenstellend*) aus dem Kontext abgeleitet werden; genaue Wortbezeichnungen (z.B. „Element“ für „Ion“ oder „Metall“ für „Natrium“) sollen nicht ausschlaggebend sein, solange verständlich ist, was gemeint war.

4.4. Klasse 4: 19 SchülerInnen – Herr S.

Die Schule besitzt nur einen humangymnasialen Zweig, bei dem jedoch schulautonom eine Wochenstunde des Physikunterrichts aus der 8. in die 6. und eine Wochenstunde des Biologieunterrichts von der 5. in die 7. Schulstufe verlegt wurde. Dies läuft unter dem Motto

„Förderung naturwissenschaftlichen Unterrichts“. Außerdem gibt es in der 8. Schulstufe eine zusätzliche Wochenstunde fremdsprachigen Unterricht in Französisch oder Latein zu den im österreichischen Lehrplan vorgesehenen Stunden. Die Schule hat ca. 430 SchülerInnen und 50 LehrerInnen. Eine weitere Besonderheit stellt die Tatsache dar, dass Anfang und Ende von Unterrichtseinheiten nicht durch eine Schulglocke markiert werden, sondern von den Lehrpersonen direkt. Dies sorgt für die eine oder andere Zeitverzögerung. Die SchülerInnen stammen in vielen Fällen aus wohlhabenderen Familien.

Der Lehrer dieser Klasse ist mittleren Alters und unterrichtet außerordentlich engagiert Physik und Chemie. Laut eigener Aussage versuche er, das Modelldenken von Anfang an zu etablieren, und dazu stelle er sich beispielsweise auf die linke Seite des Klassenzimmers, wenn er von der substanziellen Ebene berichtet und auf der rechten, wenn er von Modellen redet. Krankheitsbedingt sei der Unterricht in den letzten zwei Wochen allerdings ausgefallen.

An Vorwissen aus dem Chemieunterricht brachten die SchülerInnen laut Lehrer mit:

- *Zwiedenken* (laut Angaben der Lehrperson)
- Atombau: Schalenmodell, allerdings nicht das Bohrsche Atommodell⁵¹
- Periodensystem in seinem Aufbau mit darin enthaltenen Grundinformationen
- Metallbindung
- Elektronenpaarbindung
- Ionische Bindung und Ionengitter, unterschiedliche Ionengrößen im Gitter

In der Unterrichtsstunde zuvor wurden die substanziellen Eigenschaften (hoher Schmelzpunkt, Sprödigkeit und Härte von Salzen, Leitfähigkeit von Lösungen und Schmelzen) von Ionengittern teilweise an Schauexperimenten untersucht und durch das Bindungsmodell erklärt. Die SchülerInnen sind motiviert bei der Sache, stellen viele und vor Allem weiterführende Fragen (z.B. Ob die Ionen im Gitter der Brownschen Bewegung unterlägen oder sich wirklich nicht bewegen würden). Laut Aussage des Lehrers haben einige schon hobbymäßig Kristalle gezüchtet.

⁵¹ Auf die Rückfrage, warum das Bohrsche Atommodell nicht benutzt werde, antwortete der Lehrer, dass es schlicht „falsch“ sei. Möglicherweise war diese Aussage nur eine unbewusste Reduktion dessen, was er wirklich meinte und vielleicht ist er eher der Meinung, dass unter LehrerInnen schon verstanden werde, was gemeint war. Während des Unterrichts jedenfalls scheint er bewusstere Aussagen zu treffen.

a.) Deskriptive Darstellung des Unterrichts

Ich stellte mich und meine Motive vor, gab einen kurzen Überblick über die Stunde und versicherte, dass diese Stunde nicht in die reguläre Benotung einfließen würde. Danach fragte ich wie üblich nach den SchülerInnen bekannten Modellen. Es wurden biologische Modelle (von Tierkörpern) und Flugzeugmodelle genannt, mit der Aufgabe, die Realität vergrößert und genauer darzustellen. Ein Schüler fasste dies mit „*Plastikdoppelgänger*“ zusammen. Dann wurde die physische Weltkarte gezeigt, und die Frage gestellt, was sie zu einem Modell mache. Antworten darauf waren „*anderer Maßstab*“, „*man kennt sich besser aus*“, „*Beschriftung*“, eingezeichnete Grenzen und dass die Erdkugel als Fläche dargestellt werde. Dann wurden die restlichen Karten gezeigt, wieder mit expliziter Betonung auf Funktion und Modellmaßstab. Modelle aus dem Alltag nannten die SchülerInnen außer dem Globus keine.

Nach kurzen technischen Schwierigkeiten wurde zu den Videos übergegangen. Die SchülerInnen kannten Natrium und Chlor nur aus dem Periodensystem. Als Ersteres erschien, stellte eine Schülerin die Frage, warum es in Wasser liege; jemand anderes fragte, bevor der metallische Glanz erkennbar war, ob es sich wirklich um ein Metall handle. Die Reaktion ging von statten, einige SchülerInnen äußerten sich mit „*Boah!*“ oder „*Cool!*“. Auf die Frage, was nach der Reaktion im Kolben sei, antwortete ein Schüler „*Stickstoff*“, eine andere „*Trockeneis*“. Nach meinem Tipp, dass Natrium und Chlor im Kolben gewesen waren, meinte jemand „*Natriumchlorid*“.

Die Infosheets wurden sodann ausgeteilt und gemeinsam durchgegangen. Auf die Frage, ob die SchülerInnen das Elektronengas kennen würden, verneinten diese. Die SchülerInnen wurden angewiesen, zuerst die Vorderseite auszufüllen und dann erst die Rückseite zu bearbeiten. Außerdem wurde betont, dass die SchülerInnen antworten sollen, wie sie sich etwas vorstellten, dass es kein *richtig* oder *falsch* gebe und somit ein „*Das kann ich nicht.*“ unzulässig sei.

Es waren bis dahin ca. 17 Minuten vergangen, die restliche Zeit ging ich in der Klasse umher und stand für Fragen und Hilfestellungen zur Verfügung. Im Weiteren verlief die Stunde ruhig.

Persönliche Eindrücke danach:

Gefühlsmäßig ließ sich diese Klasse bisher am meisten auf die Fragen – und überhaupt auf Chemie – ein. Die SchülerInnen waren während der Arbeitsphase eher ruhig, tuschelten manchmal mit ihren SitznachbarInnen, wie ich wahrnahm, meist über das Arbeitsblatt; dies deutete ich als Zeichen dafür, dass die Arbeitsaufträge klar und bewältigbar erschienen. Sie stellten einige Fragen zum Verständnis, auch welche die nicht direkt den Fragebogen betrafen, sondern mehr von Interesse zeugten. Ich konnte auch mehrere Male beobachten, wie einige SchülerInnen aktiv Informationen aus den Infosheets holten.

b.) Ergebnisse

Eine Zusammenfassung findet sich in **Tabelle 4**.

Klasse 4 n=19	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	0	1	4	1	4	8	10	5	6	9	11	10	10	15	14	11	7,89	39,85	63,16
nicht zufriedenstellend beantwortet	3	1	11	5	4	9	1	12	10	3	5	-	-	-	-	-	26,32	33,08	-
zufriedenstellend beantwortet	16	17	4	13	11	2	8	2	3	7	3	9	9	4	5	8	65,79	27,07	36,84
																	100,0	100,0	100,0

Tabelle 4: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 4.

1a: 12 der 16 *zufriedenstellenden* Antworten zeigten Kugeln mit abwechselnd Plus- und Minuszeichen, die jedoch gleich groß dargestellt wurden. 3 der anderen beschrifteten mit „Na⁺“ und „Cl⁻“ und zeichneten Letztere größer ein als Erstere, 1 genau umgekehrt. 1 weitere beschriftete mit „Na⁻“ und „Cl⁺“, 2 gaben weder Ladungen noch Name der Spezies an.

1b: 17 beantworteten die Frage *zufriedenstellend*, 1 füllte die Lücken zweimal mit „9“ aus.

1c: Alle 5 *zufriedenstellenden* Antworten beinhalteten sogar eine Art Reaktionsmechanismus, 2 davon hatten aber die falsche Anzahl an Elektronen (Na mit 18 oder Cl mit 10 Elektronen). Die anderen 11 Antworten wurden als einzelne Atome/Moleküle (8), davon 4 mit Valenzelektronen, dargestellt 3 wurden gleich wie in 1a, also als Gitter, dargestellt. Dabei waren insgesamt 4 falsch beschriftet, nämlich mit „NA“, „Cl₂“ oder „Ch⁺“.

1d: 13 SchülerInnen antworteten hier *zufriedenstellend*, davon schrieben 2, „ Na^+ “ ziehe seine Valenzelektronen nicht stark an, 1 andereR meinte, Natrium gebe sein Valenzelektron an das Elektronengas ab. 4 SchülerInnen schrieben, Natrium ziehe seine Valenzelektronen nicht stark an, bekomme aber dennoch von Chlor Valenzelektronen übertragen.

2: Alle Bilderserien bestanden aus mindestens vier Bildern, 2 waren nicht beschriftet. Bei 3 der 4 *nicht zufriedenstellenden* Antworten wurde kein Produkt dargestellt (die Serien endeten nach einer „*Explosion*“), die andere war als Ganzes nicht zu entziffern. 1-mal wurde Natrium als „*kleines Steinchen*“ bezeichnet, ansonsten stimmten die Beschriftungen. 2 zeichneten einen Comicstrip mit einer Story: „*Treffen sich ein Na und ein Cl...*“

3a: Es wurden (Antworten auf 1c berücksichtigt) 7-mal Elektronenüberträge als eine Art Reaktionsmechanismus gezeichnet. 4-mal fehlte eine Verbalisierung, je 1-mal wurde „*durch Verbindung*“ oder „*Edelgaskonfiguration*“ hingeschrieben. 2 zeichneten keinen Elektronenübertrag, sondern zeichneten ein Gitter wie in der Vorlage. 1-mal wurde ein Natriumgitter gezeichnet.

3b: 8 erkannten die elektrostatische Wechselwirkung als zusammenhaltende Kraft an, 1 schrieb, dass die Teilchen wegen der Edelgaskonfiguration zusammenhielten.

4: 5 Antworten lassen sich mit „*unterschiedliche Anzahl der Elektronen*“ zusammenfassen. 2 Weitere schrieben, das Anion bestehe aus weniger Teilchen und sei deswegen negativ geladen. Je 1 schreibt, es diene der Unterscheidbarkeit, der Veranschaulichung (man brauche Anionen eher als Kationen) oder um den „*superguten Zusammenhalt*“ zu symbolisieren. 1 schreibt ohne weitere Erklärung, es sei „*in echt*“ auch so. 1 WeitereR meinte, so würden die unterschiedlichen Ladungen gekennzeichnet. 1 andere Antwort war „*Weil die Anionen abgeben und die Elektronen aufnehmen*“.

5a: 2 *zufriedenstellende* Antworten lauteten „*Gas, das Atome zusammenhält*“, 1 Weitere „*Gas aus Elektronen, das Gitter aus Kationen zusammenhält*“. Die *nicht zufriedenstellenden* Antworten lauteten „*freischwebende Elektronen*“ (2), „*Giftgas, das leuchtet*“ (1), „*so etwas wie Chlorgas*“ (1), „*grünes, giftiges Gas*“ (1), „*Elektronen, die keinem Atom gehören*“ (1), „*so wie Luft, weißlich*“ (1), „*Gas, in dem Elektronen schwimmen*“ (1), „*kleine Bindeteilchen*“ (1) und „*Elektronen, die um das Element herum sind*“ (1).

5b: 6 SchülerInnen gaben hier eine *zufriedenstellende* Antwort, 2 verneinten unbegründet, 1 bejahte unbegründet. 1 WeitereR begründete sein/ihr „*Nein*“ damit, dass Elektronen im Gitter nicht fließen können.

6: 3 antworteten *zufriedenstellend* und argumentierten, dass durch die (vermehrten) Elektronenübergänge und die dadurch resultierenden unterschiedlichen Ladungen ein festes Gitter entstehen würde. 3 andere meinten, das Gitter verankere die Teilchen so fest an ihren Plätzen, dass sie nicht so leicht bewegt werden könnten. 1 schrieb, das Material werde härter durch die Erhitzung, 1 WeitereR „*Paraffinöl entnimmt die Stärke des Metalls*“.

7: 5-mal wurde „*erklären*“ geschrieben, 3-mal „*veranschaulichen*“ und 2-mal „*darstellen*“. Je 1-mal wurde „*genauer sehen*“, „*besser angreifen*“, „*vereinfachen*“ und/oder „*vorstellen*“ gesagt (es wurden Mehrfachnennungen vorgenommen).

8a: Für 7 SchülerInnen wichen Modelle in der Größe von der Realität ab (2 davon schrieben eigentlich „*Maßstab*“), 1 davon meinte explizit, dass es *ansonsten* der Realität entspreche. 2 sagten „*Material*“, 1 WeitereR meinte, dass der „*grobe Aufbau*“ schon richtig sei.

8b: 2 antworteten mit „*Nein*“, 1 erwähnte das Rutherford'sche Atommodell, 1 WeitereR zeichnete andere Atome (Schwefel, Phosphor) im Schalenmodell hin.

8c: Die SchülerInnen antworten in Stichwörtern: „*Genialität*“ (1), „*praktisch*“ (1), „*wegen der Schalen*“ (1), „*am wahrscheinlichsten*“ (1). 1 SchülerIn schreibt: „*Man kennt sich mit der Beschreibung aus.*“

9: „*Darstellen*“ wurde 5-mal genannt, ansonsten je 1-mal „*veranschaulichen*“, „*studieren*“, „*verstehen*“ und „*erklären*“. 1-mal wurde geschrieben, dass aus Modellen Ideen und Vorstellungen entstehen würden.

c.) Interpretation der Ergebnisse

Die Klasse wurde vom Niveau her ursprünglich über den bisherigen Klassen eingeordnet, es zeigt sich aber zumindest quantitativ, dass sie ähnlich viel beantworteten wie die anderen Klassen. Jedoch sind die Antworten in ihrer Qualität meist hochwertiger und öfter *zufriedenstellend* ausgefallen. Die *nicht zufriedenstellenden* Antworten sind aber teilweise

sehr breit gefächert, was eine Pauschalisierung innerhalb der Klasse etwas schwierig bzw. wenig sinnvoll macht. Dies zeugt aber auch von einer Qualität der Klasse: die SchülerInnen benutzten ihre Fantasie und überlegten sich selbstständig Antworten, anstatt gleich aufzugeben bzw. bei jemand anderes abzuschreiben.

Es wurde neuerlich toleriert, dass die SchülerInnen in der Zeichnung zu Frage 1a die unterschiedlichen Spezies nicht beschrifteten, sondern lediglich deren Ladungen anführten; auch dass sie die Spezies gleich groß zeichneten. Dass einE SchülerIn bei 1b „9“ einsetzte, rührt wahrscheinlich daher, dass in der Vorgabe je neun Kationen und Anionen eingezeichnet waren. Er/Sie beschrieb also mit dem Lückentext das Bild der Vorlage, und zeichnete zu 1a sogar nochmal Selbiges hin.

Fünf SchülerInnen wussten bei 1c die richtige Spezifikationsebene darzustellen, wenngleich sie nicht immer die richtige Anzahl an Elektronen einzeichneten; diese zwei SchülerInnen ordneten einem Element die ionische Bindung zu – bewusst oder unbewusst. Die Darstellung als einzelne Atome und Moleküle ist logisch nachvollziehbar, es wäre eine Stufe zwischen der Atomebene und der Elementarteilchenebene. Dennoch folgte es nicht dem vorgeschlagenen und somit verlangten Muster. Die Person, die Chlorid mit „Ch⁺“ abkürzte, verwendete die Bezeichnung „Ch“ durchgehend für Chlor.

Es erwies sich als eher schwierig, die Antwort mit „Na⁺“ im Lückentext von Frage 1d zu bewerten. Man könnte sagen, es sei klar, was gemeint ist, allerdings war zu diesem Zeitpunkt im Text das Natriumatom noch nicht zu einem Kation des Salzes geworden bzw. hatte sein Außenelektron noch nicht übertragen. Wenn man sich nun aber auf die Vorgabe im Infosheet bezieht, stehen die Natriumatome im Metallgitter eindeutig als Kationen da. Entweder arbeiteten die SchülerInnen also sehr genau oder sehr ungenau; man könnte mit der jeweiligen Antwort zu 1c vergleichen, allerdings hatten genau diese beiden SchülerInnen dazu keine Antwort gegeben. Die Formulierung, dass Natrium sein Valenzelektron an das Elektronengas abgebe, ist ebenso fragwürdig. Hierzu zeichnete die Person bei 1c ein Chlormolekül in Valenzstrichformel (bindende und nichtbindende Elektronenpaare) und daneben zwei Natriumatome mit einem Valenzelektron (kleiner, leerer Kreis), das sich von Natrium durch einen Pfeil symbolisiert entfernt, aber nicht direkt auf Chlor gerichtet ist. Als Beschreibung steht dabei: „Natrium gibt Valenzelektron ab, Chlorid geht eine Bindung ein“. Diese Antwort ist also eher als *nicht zufriedenstellend* einzustufen. Zu diesem Zeitpunkt wird

immer deutlicher, dass das Elektronengas beinahe wie ein eigenes chemisches Element behandelt wird, das *genauso Reaktionen eingehen kann*, wie etwa Natrium, das mitunter gar nichts damit zu hat.

Es ist schwierig zu deuten, was mit der oft gefallenen Antwort „*unterschiedliche Anzahl an Elektronen*“ bei Frage 4 gemeint ist. Die unterschiedliche Anzahl an Elektronen rührt alleine schon daher, dass beide Spezies unterschiedlichen Elementen angehören, und auf die Valenzelektronen hat sich diese Aussage wahrscheinlich nicht bezogen, denn die sind bei beiden Ionen (meistens) gleich. Einige wiesen zwar auf die Oktettregel hin, was in die richtige Richtung geht, allerdings zu kurz greift. Es ist fraglich, ob die SchülerInnen die unterschiedliche Schalenanzahl, die unterschiedliche Ladung der Spezies oder sonst etwas implizierten. Aufgrund dieser Unklarheiten wurden diese Antworten als *nicht zufriedenstellend* gewertet. Daneben gab es noch zwei SchülerInnen, die schrieben, dass das Anion aus weniger Teilchen bestünde als das Kation. Sie zeichneten aber beide bei 1c zwei Natrium- bzw. Chloratome mit jeweils gleicher Elektronen, Protonen und Neutronenzahl.

Frage 5a wurde auch sehr vage (dennoch *zufriedenstellend*) beantwortet, die Antworten deuten darauf hin, dass die Information aus den Infosheets stammt. Zudem kommt, dass die SchülerInnen die Frage im Laufe der Besprechung der Infosheets verneinten, ob sie den Begriff „Elektronengas“ kennen würden. Drei SchülerInnen verwechselten das Elektronengas mit Chlorgas.

Laut den Antworten zu Frage 7 dienten Modelle der Erleichterung des Denkprozesses bzw. der Vorstellungskraft. Einige gaben noch Sinneserweiterungen an (Verbessertes Sehen/Angreifen). Von der Realität unterschieden sie sich für alle Antwortenden außer einer Person. Andere Atommodelle scheinen nicht bekannt gewesen zu sein (der Lehrer des Regelunterrichts erzählte auch, dass sie eigentlich nicht einmal das Bohrsche Atommodell kennen würden), entsprechend fielen die Gründe rar aus, warum genau jenes für die Sequenz genutzt wurde. Interessant sind bei Frage 8c jedoch die zwei Antworten: „*Praktisch*“ und „*am Wahrscheinlichsten*“. Erstere deutet darauf hin, dass die Person erkannte, dass man das benutzte Modell nach diesem Kriterium aussuchen kann, Zweitere impliziert, dass es sich bei Modellen um eine Annäherung an die Realität handelt – zwei sehr fortgeschrittene Denkweisen für den Umgang mit Modellen. Die Antworten zu Frage 9 wiederum beschreiben ähnliches wie jene zu Frage 7. Die Wörter „*erklären*“, „*studieren*“ und „*verstehen*“, sind als ein

Wissenszuwachs am Subjekt zu verstehen, während „darstellen“ und „veranschaulichen“ eine Wissensweitergabe an andere vermittelt. Die Antworten zu beiden Fragen sind in dieser Hinsicht gemischt ausgefallen, was dafür spricht, dass Modelle sowohl im Alltag als auch in den Wissenschaften beiden Zwecken dienen.

4.5. Klasse 5: 19 SchülerInnen – Frau L.

Es handelt sich hierbei um eine Parallelklasse der Klasse 4. Die Lehrerin ist seit etwa drei Jahren im Lehrberuf tätig, hat aber noch keinen Abschluss im Lehramtstudium. Sie geht mit ihren SchülerInnen liebevoll um, wenngleich sie nicht immer die Geduld für etwaige Störungen von SchülerInnenseite hat. Laut ihr sind die SchülerInnen Einzelarbeit nicht gewohnt, ihre Stärken würden eher in Projektarbeiten liegen. Nachdem gerade die Nomenklatur von Salzen durchgenommen wurde, meinte sie, dass sich die Klasse darin ebenfalls leicht täte.

An Vorwissen aus dem Chemieunterricht brachten die SchülerInnen laut Lehrerin mit:

- Periodensystem der Elemente
- Oktettregel
- Bohrsches Atommodell
- Metallbindung, Elektronengas
- Ionenbindung

In der Unterrichtsstunde zuvor wurde Freiarbeit im Sinne des Bearbeitens eines Kreuzworträtsels über Metall- und Ionenbindung gemacht.

a.) Deskriptive Darstellung des Unterrichts

Mit dem Beginn der Stunde waren teilweise noch andere SchülerInnen in der Klasse und noch während die Lehrerin die Anwesenheit kontrollierte, kamen einzelne SchülerInnen in den Raum oder verließen ihn. Die Lehrerin überließ sodann mir das Wort. Ich stellte mich vor und präsentierte meine Absichten. Ich fragte die SchülerInnen, was sie denn für Modelle kennen

würden. Sie nannten (Melania) Trump und Häusermodelle. Die Diskussion blieb bei den menschlichen Models, und so stieg ich darauf ein: was soll ein Model abbilden? Ein Schüler sagte, „*Um Werbung zu machen.*“, ein anderer „*Ein Model soll Kleidung präsentieren.*“. Es kamen keine weiteren Wortmeldungen, also erzählte ich, dass Models ein gewisses Idealbild des Menschen darstellten: die Vorstellung eines „schönen“ Menschen sei schlank und dass er „schöne“ Kleidung tragen würde – eine Vereinfachung, wo der Mensch auf seine oberflächlichen Merkmale reduziert werde. Die SchülerInnen wurden unruhig und so lenkte ich das Thema wieder auf meine Präsentation. Ich zeigte die Karten und ließ die SchülerInnen analysieren: Abzulesen seien Seehöhe, Meer/Landmasse oder wie Städte heißen; nicht allerdings, wie viele Menschen wo wohnen würden. Ich erklärte das Konzept des Modellmaßstabes und sagte dazu, dass keine der Karten 1:1 der Wirklichkeit entspräche, dass aber dennoch vermutlich niemand abstreiten würde, dass die Modelle richtig wären – es ginge bei Modellen eben darum, „Wichtiges“ herauszuheben und „Unwichtiges“ wegzulassen. Bei naturwissenschaftlichen Modellen sei es genauso.

Ich erzählte von den Videos und fragte die SchülerInnen, ob sie denn schon mal mit Natrium oder Chlor zu tun hatten. Daraufhin kam die Antwort, dass Natriumchlorid Kochsalz sei, Natriumcarbonat war anscheinend auch bekannt. Ich wiederholte die ursprüngliche Frage und die SchülerInnen verneinten. Ich zeigte dann die Videos und kommentierte sie wie gewöhnlich. Bei der Explosion reagierten einige SchülerInnen mit „*Boah!*“ und „*Geil!*“, zwischendurch stellten sie Fragen wie „*Kann man das [Natrium] kaufen?*“ oder „*Wurde das [Chlorgas] wirklich so im Krieg eingesetzt?*“. Bevor der Rauch ausgeleert wurde, bezeichnete ihn ein Schüler als „*Schaum*“.

Dann wurden die Infosheets von zwei SchülerInnen ausgeteilt und gemeinsam durchgegangen. Dabei wurde das sich wiederholende Muster mit den Spezifikationsebenen und zugehörigen Modellmaßstäben betont. Dann wurde das Arbeitsblatt ausgeteilt und noch einmal auf das Schema hingewiesen. Betont wurde auch, dass es kein *Richtig* oder *Falsch* gebe und es damit keine Ausreden für das Nichtbeantworten gebe - es zählten allein die Vorstellungen der SchülerInnen. Für den Regelunterricht sei diese Stunde auch irrelevant. Es wurde noch einmal gefragt, was denn nun zu machen sei, ich erklärte es nochmal.

Es waren ca. 18 Minuten vergangen. Die restliche Zeit saß ich entweder am LehrerInnenpult oder redete wie gewöhnlich mit einzelnen SchülerInnen.

Persönliche Eindrücke danach:

Dadurch, dass die Stunde nicht mit dem Glockenläuten anfang und die Klasse als Ganzes ein wenig undiszipliniert schien, war der Übergang in den Stundenbeginn fließend. Diesmal fiel die Betonung auf Modellmaßstäbe und Verwendungszweck von Modellen besonders stark aus. Die SchülerInnen waren in der ersten Hälfte des Unterrichts recht unruhig, besonders ein Schüler, der schon in der von mir hospitierten Einheit auffiel. Ich merkte mir daraufhin seinen Namen – die Lehrerin ermahnte ihn ebenfalls zweimal. Als ich ihn in meiner Sequenz mit seinem Namen ermahnte, wurde es ruhiger. Die SchülerInnen sind erfahrungsgemäß immer ein wenig eingeschüchtert, wenn eine unbekannte Lehrperson einen (und damit vielleicht alle?) Namen kennt. Während der Arbeitsphase war es anfangs sehr ruhig, mit der Zeit stellte sich ein konstanter, nicht unangenehmer Geräuschpegel ein.

b.) Ergebnisse

Eine Zusammenfassung findet sich in **Tabelle 5**.

Klasse 5 n=19	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	2	1	1	0	0	6	8	8	4	6	11	7	7	10	8	5	5,26	32,33	38,95
nicht zufriedenstellend beantwortet	11	1	9	3	3	9	6	11	14	12	8	-	-	-	-	-	31,58	47,37	-
zufriedenstellend beantwortet	6	17	9	16	16	4	5	0	1	1	0	12	12	9	11	14	63,16	20,30	61,05
																	100,0	100,0	100,0

Tabelle 5: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 5.

1a: 1 SchülerIn beantwortete die Frage ideal, nämlich durch Kugeln mit den Aufschriften „Na⁺“ und „Cl⁻“, wobei Letztere größer dargestellt wurden als Erstere. 4 Weitere zeichneten zumindest gleichgroße Kugeln mit den Aufschriften „+“ und „-“, 1 zeichnete die „-“ größer als die „+“; ansonsten wurde die Frage 5-mal ähnlich der Vorlage beantwortet, 2 zeichneten Chlormoleküle zwischen Natriumatomen, 1 zeichnete Kugeln mit Pfeilen, die auf „Außenelektronen“ (ähnlich der freien Elektronenpaaren auf der Symbolebene) zeigten. 1 SchülerIn zeichnete ein Natriumatom auf der Elementarteilchenebene.

1b: Eine Person antwortete hier *nicht zufriedenstellend*: das Ionengitter bestehe aus positiv geladenen Natriumionen und „*nicht*“-geladenen Chloridionen.

1c: Insgesamt wählten 13 SchülerInnen den richtigen Modellmaßstab, dabei waren 9 *zufriedenstellend*; 2 zeichneten zwei Chloratome, 1 zwei Natriumatome und 1 beide Elemente. Ansonsten wurden die Atome ohne Schalen oder mit (falscher) Elektronenzahl (1) oder ganz ohne Elektronen (1) dargestellt; 2 Weitere zeichneten nur die Valenzelektronen an die Atome. 2 zeichneten zwei Kugeln (Aufschrift: „N“ und „C“), die zeigen, dass Ersteres seine Valenzelektronen nicht so sehr anziehe, Letzteres aber schon; dies wurde auch verbal expliziert. Von den *zufriedenstellenden* Antworten waren 2 mit falscher Anzahl an Elektronen. Insgesamt hatten 7 SchülerInnen eine Art Reaktionsmechanismus dargestellt.

1d: Bei den 16 *zufriedenstellenden* Antworten waren 2 dabei, bei denen anstelle von „Chlor“ „Chlorid“ eingetragen wurde; 4 trugen anstelle von „Natrium“ und „Chlor“ „Metall“ und „Nichtmetall“ ein. Die anderen 3 füllten den Lückentext entweder genau andersrum oder inkonsistent aus bzw. ließen zwei Lücken leer.

2: Die 16 *zufriedenstellend* antwortenden SchülerInnen zeichneten mindestens drei Bilder, wobei 6 davon nicht oder nur teilweise beschriftet waren. 1-mal fehlte das Produkt, 2-mal wurden weniger als drei Bilder dargestellt. 1 SchülerIn beschriftete den Rauch mit „weiß, kein Gas“, 1 andere mit „so eine Art Metall“. 1 Person zeichnete einen Comic, in dem in jedem Bild eine Person neben dem Kolben steht und per Sprechblasen kommentiert, was passiert.

3a: 4 beantworteten die Frage *zufriedenstellend*, eigentlich aber nur durch die Zeichnung aus 1c und zusätzlicher Verbalisierung. 4-mal fehlte eine Verbalisierung. 2 SchülerInnen zeichneten eine Art Reaktionsmechanismus: EineR allerdings ohne Elektronenübertrag, wo die Chlormoleküle zwischen Natriumatome schwirren, sich anlagern, teilen und dann so verbleiben; der/die andere so, dass beide Atome ein Elektron abgeben (für das „Elektronengas“) und dann „NaCl“ formen. 2 zeichneten ein Gitter wie etwa für 1a, 1 antwortete symbolisch („ Na^+Cl^- “).

3b: Je 1 SchülerIn gab eine der folgenden (*nicht zufriedenstellenden*) Antworten: „Wegen der Anionen“, „wegen geteilter Elektronen“, „Elektronegativität“, „verankert“, „halten sich zusammen“ oder „Elektrizität“. 5 andere beantworteten *zufriedenstellend*, 8 gar nicht.

4: Je 3 SchülerInnen meinten, die unterschiedlich große Darstellung der Atome diene der Unterscheidbarkeit bzw. käme von den unterschiedlichen Ladungen. 2 antworteten ohne Begründung, dass die Atome nicht gleich groß seien. 1 argumentiert mit den unterschiedlichen Atommassen, 1 meinte „weil sie klein sind“, 1 anderer schrieb „damit man sie besser sehen kann“.

5a: Die 1 zufriedenstellende Antwort war die Formulierung „Elektronen, die sich frei um Atome bewegen“; es gab 1 SchülerIn, der/die eine Zeichnung erstellte, ähnlich der Vorlage (Atomebene bei Natrium), allerdings mit einem Ionengitter. Ansonsten schrieben 6, es sei ein Gas aus Elektronen. 2 schrieben, es seien Elektronen in einem Gas, je 1 schrieb „freibewegliche Elektronen“, „Rauchgas“, „geteilte Elektronen“, „herumfliegende Elektronen“ oder „zerstückelte Elektronen“.

5b: Die 1 zufriedenstellende Antwort lautete „Nein, weil sich die Elektronen nicht verschieben lassen“. 4 antworteten unbegründet (dreimal „ja“, einmal „nein“), 2 mit „ja“, weil der Salzkristall Metallteile in sich habe. Je 1 meinte: „Ja, weil Sie es gesagt haben.“, „Ja, es sind viele Atome.“, „Ja, weil Kristalle leiten.“, „Ja, weil Gas leitet.“, „Nein, weil es ein Stein ist.“ oder „Nein, weil Chlorid nicht leitet.“

6: 3 SchülerInnen machten die Dichte für die Härte von Ionengitter (gegenüber Metallen) verantwortlich: EineR davon explizierte, dass es am Modell wahrscheinlich erklärbar sei, eine AndereR meinte, dass zusätzlich das „Gewicht“ wichtig sei, das Phänomen jedoch nicht am Modell erklärbar sei. 2 gaben an, sie wüssten die Antwort nicht, man könne es aber sicher an den Modellen erklären. Dass die Reaktion das Material verhärte, meinen 2 SchülerInnen, eineR davon explizierte, dass dies am Modell nicht erklärbar sei. 1 meinte, die Teilchen im Material seien im Salz „verwebt und gut verbunden“.

7: Insgesamt wurde „darstellen“ 7-mal erwähnt, „Veranschaulichen“ 3-mal, 3 andere Meldungen können in den Cluster „erleichtern der Vorstellung“ eingeordnet werden. Je 2 SchülerInnen sehen durch Modelle Sachen erklärt bzw. etwas Bestimmtes gezeigt. Je 1-mal wurden „Hinweise“, „vereinfacht“ und „Orientierung“ genannt.

8a: Für 3 SchülerInnen weichen Modelle in ihrer Größe von der Realität ab, 2 meinten, Elektronen seien nicht immer an derselben Stelle. Je 1 meinte, sie würden teilweise stark von der Realität abweichen, hätten „in Echt“ ein anderes Aussehen (mit Verweis auf ein Modell, das im Chemiesaal hänge), Modelle seien vereinfacht oder man wisse, dass ein Atom nicht so

sei. 2 meinten ohne weitere Ausführung, dass Modelle nicht von der Realität abweichen würden, 1 schrieb, Modelle seien nicht immer real, aber meistens.

8b: 4 kannten explizit kein anderes Atommodell, 3 das Orbitalmodell, 1 das Thomsonmodell und 1 ein „Goldfolienmodell“.

8c: 3 gaben an, das Bohrsche Atommodell würde der Einfachheit halber benutzt, 2 sagten wegen der besseren Vorstellbarkeit. Je 1 schrieben „Genauigkeit“, „Weil gut.“, „Es ist das beste.“, „Ähnlichkeit“, „praktisch“ oder „Man sieht am besten, wie ein Atom aufgebaut ist.“.

9: 3 SchülerInnen fanden, die Modelle würden in den Naturwissenschaften zur besseren Erklärung genutzt. Je 2 schrieben, dass etwas genauer angeschaut bzw. überhaupt besser gearbeitet werden könne; oder es soll eine Thematik vereinfacht werden. Je 1 schrieb von einer Verständnishilfe, einer besseren Darstellungsform, besserer Vorstellung der Sichtbarmachung. Außerdem meint 1, es seien nicht alle Sachen direkt aus der Natur entnehmbar; für 1 WeitereN arbeite man mit Modellen „für mehr Infos“.

c.) Interpretation der Ergebnisse

Es ist verwunderlich, dass so viele SchülerInnen bei 1a offensichtlich nicht wussten, welcher Modellmaßstab verlangt war. In den bisherigen Klassen war es so, dass 1a mehr *zufriedenstellende* Antworten hatte als 1c, in dieser Klasse gaben überhaupt mehr SchülerInnen eine Antwort zu 1c als zu 1a. Allgemein wurde eher viel auf substantzieller Ebene geantwortet.

Dafür konnten mehr als 80 % *zufriedenstellende* Bilderserien erstellen, was auf eine gut ausgeprägte Beobachtungskompetenz hinweist. Allerdings fehlen auch hier wieder teilweise die Beschriftungen.

Durch die Antworten zu 3a könnte man annehmen, dass etwas weniger als die Hälfte der SchülerInnen vertraut mit dem Konzept der Elektronenübertragung waren; fehlende Verbalisierungen könnten auch Flüchtighkeitsfehler sein.

Bei Frage 3b scheint es verständlich, dass die SchülerInnen teilweise nicht wussten, warum nun ein Ionengitter zusammenhält: vielen fehlte die Zeichnung zu 1a, in der plakativ gezeigt werden soll, dass sich positive und negative Ladungen abwechseln. Lediglich 2 Personen

hatten eine *zufriedenstellende* Antwort zu 1a und 3b. Möglicherweise konnten die anderen 3 richtig aus den Antworten zu 1b schließen. Gut drei Viertel der SchülerInnen schafften aber weder das eine, noch das andere. Aus der Vielfalt der Antworten ist auch zu schließen, dass die SchülerInnen versuchten, verschiedene, schon bekannte Konzepte anzuwenden (siehe oben).

Nachdem Frage 1c so gut beantwortet wurde, ist es bei Frage 4 wiederum seltsam, dass niemand eine *zufriedenstellende* Antwort geben konnte; immerhin konnte ca. die Hälfte die Ionen richtig darstellen (wenngleich auch mit leerer, äußerer Hülle bei Na^+). Die unterschiedlichen Größen der Ionen im Gittermodell scheinen für die SchülerInnen *rein praktischer Natur* zu sein, zur „Darstellung“ und „Veranschaulichung“ quasi (siehe Frage 7). Hier kommt wohl die im Vorfeld diskutierte SchülerInnenvorstellung zu tragen, dass *Elektronenschalen als materielle Dine angesehen werden, die erhalten bleiben, selbst wenn sich kein Elektron darin befindet.*

Die Bezeichnung „Elektronengas“ sollte den SchülerInnen eigentlich bekannt sein. In der Einheit vor der Intervention hatten die SchülerInnen beispielsweise ein Kreuzworträtsel zu lösen, in dem einmal nach den „frei beweglichen Elektronen in einem Metall“ gefragt wurde. Fast alle antworteten dennoch *nicht zufriedenstellend*. Der Begriff ist also wahrscheinlich bekannt, doch die SchülerInnen scheiterten bei dem Versuch, ihn genauer zu deuten.

Die SchülerInnen kamen bei Frage 5b nicht aus dem substanziellen Denkmuster heraus: Ein *Ionengitter, das zum Teil aus Metall besteht, oder überhaupt prinzipiell leitet, weil es eben ein „Kristall“ (bzw. ein „Stein“)* sei; daneben ein Kristall, in dem *einzig Chlorid die elektrische Leitfähigkeit beeinträchtigt*. Unter Beachtung der Antwort zu 5a meint ein SchülerIn mit „Ja, weil Gas leitet“ zumindest nicht, dass Chlor als Gas im Gitter vorliegt, sondern dass *das Gitter ein Elektronengas besäße*. Sein/ihr Gitter hält übrigens durch die „Elektronegativität“ zusammen, seine/ihre Antworten zu Frage 1 waren alle *zufriedenstellend*.

Frage 6 wurde entsprechend nach Frage 3b eher nicht über die Elektrostatik beantwortet. Hier argumentierten die SchülerInnen zwar über naturwissenschaftliche Größen wie *Dichte* und *Gewicht*, was aber auch eher substanzielle Eigenschaften sind, die eben unter anderem aus der Reaktion resultieren – wie etwa das „*verwebt Sein*“ von Teilchen. Offen ist, ob die SchülerInnen meinten, dass ein nicht geeignetes Modell benutzt wurde oder dass solche Eigenschaften generell *nicht als an Modellen erklärbar gesehen werden*. Letzteres wurde

zumindest 3-mal explizit gesagt, und das würde bedeuten, dass die SchülerInnen *in Modellen etwas objektiv-Gegebenes sehen, das nicht von Menschen erschaffen, sondern entdeckt wird*. Im Kontrast dazu kann eine Antwort auf Frage 9 betrachtet werden, in der es heißt, man könne *nicht alles aus der Natur entnehmen* (weshalb die Naturwissenschaften eben auf Modelle zurückgreifen würden). Jener SchülerIn schrieb zu Frage 6, dass die *Metalle durch die Reaktion verhärtet* werden würden, was *nicht am Modell erklärbar* sei.

Wieder sind viele Antworten zu Frage 7 (und auch Frage 9) optischer Natur im Sinne der verbesserten *Darstellung* oder *Veranschaulichung*. Während hier nur 1-mal die *vereinfachende Komponente* genannt wird, ist doch der Großteil der bei 8a antwortenden SchülerInnen (11 Nennungen bei 12 antwortenden SchülerInnen) der Meinung, dass Modelle *zumindest in einem Kriterium nicht der Realität entsprechen*; konkrete Abweichungen wurden allerdings nur wenige (5) genannt. Das klingt ein wenig danach, dass die SchülerInnen durch die suggestive Fragestellung („*Wenn nein, wie weichen sie von der Realität ab?*“) wussten, was erwartet wurde und sie entsprechend antworteten.

Andere Atommodelle schienen nicht bekannt gewesen zu sein, dennoch wird in den Antworten zu Frage 9 wieder verdeutlicht, dass Modelle für den Denkprozess und das Arbeiten in den Naturwissenschaften wichtig seien. Die Aussage: „*für mehr Info*“ ist in die gleiche Kategorie zu ordnen wie, dass man *manche Sachen nicht aus der Natur entnehmen* könne (siehe oben).

4.6. Klasse 6: 24 SchülerInnen – Frau S.

Es handelt sich hierbei um eine benachbarte Schule der Vorhergehenden, entsprechend kommen die SchülerInnen aus wohlhabenderen Familien. Die Schule besitzt einen gymnasialen Zweig mit Französisch und/oder Latein und einen realgymnasialen Zweig mit Science und/oder Geometrischem Zeichnen als Schwerpunkte, die in der 7. und in dann in der 9. Schulstufe dazukommen.

Die hier betrachtete Klasse ist eine Mischklasse aus beiden Zweigen und darüber hinaus noch eine Klasse im Rahmen des Dual Language Programme: In drei verschiedenen Stunden pro Woche findet der Unterricht auf Englisch statt – in Chemie zumindest in diesem Semester

nicht. Es zeigte sich, dass die SchülerInnen in den Pausen und gar beim Arbeiten miteinander teilweise auf Englisch sprachen – das komme daher, dass viele DiplomatInnen ihre Kinder auf diese Schule schicken würden. Die Lehrerin dieser Klasse wirkt ruhig und kann sich in dieser Klasse nicht so recht durchsetzen, scheint aber stets beste Absichten zu haben.

An Vorwissen aus dem Chemieunterricht brachten die SchülerInnen laut Lehrerin mit:

- Periodensystem der Elemente
- Oktettregel
- Metallbindung, Elektronengas, Leitfähigkeit und Verformbarkeit von Metallen
- Elektronenpaarbindung, Symbolschreibweise
- Ionenbindung, Elektrostatik von Ionen

In der Unterrichtsstunde zuvor präsentierte je ca. ein Drittel der Klasse den restlichen SchülerInnen eine Theorie der Bindungsmodelle, die sie im Vorfeld ausarbeiteten. Die Vorträge waren gezeichnet durch höchste Unruhe und Unaufmerksamkeit von Seiten der SchülerInnen und fachlich auf einem sehr niedrigen Niveau, sodass diese Klasse auswertungstechnisch so behandelt wurde, als befände sie sich noch in der Behandlung der Bindungsmodelle im Regelunterricht.

a.) Deskriptive Darstellung des Unterrichts

Nach einer nicht zu kurzen Ansprache durch die Lehrerin begann ich mit meiner Sequenz. Ich stellte mich und meine Absichten vor und fing an mit der Frage, was die SchülerInnen denn über Modelle wissen würden. Es wurden „Darstellung“, „bildliche Darstellung“, „3D-Modell“, „Statue“, „Modellflugzeug“, „Modell eines Hauses“, „DNA-Modell“ und „Atommodelle“ genannt. Ich zeigte die Weltkarte und ließ die SchülerInnen beschreiben: „Maßstab“, „2D-Modell“, „verzerrt“; zweimal „Neuseeland“, „realitätsnah“; die letzte Meldung wurde relativiert, als ich auf die Farben der Karte anspielte. Ich zeigte sodann die weiteren Karten und erläuterte Maßstab und Verwendungszweck und damit auch die Korrektheit von Modellen. Ich zeigte noch die Modelle aus dem Alltag, worauf eine Schülerin fragte, ob ihr

Schlüsselanhänger, der aussah wie ein Affenkopf, auch ein Modell sei. Ich antwortete mit „Ja, es ist kein Affe, aber es stellt einen Affen dar.“

Es wurde wieder etwas lauter im Klassenzimmer und ich musste durch Klatschen für Ruhe sorgen. Ich ging sodann zu den Videos der Modellreaktion über. Als ich nach der Bekanntheit von Natrium fragte, sagte eine Schülerin, dass Natriumchlorid doch Kochsalz sei. Ich zeigte das Video über die Stoffeigenschaften von Natrium und stellte nacheinander die Elemente vor. Dann zeigte ich das Video zur Reaktion. Die SchülerInnen taten ihr Staunen mit diversen Wortmeldungen kund, ein Schüler fragte bevor das Video zu Ende war, ob sich hier Salz gebildet habe. Ich beantwortete, dass es Natriumchlorid sei. Als ich die SchülerInnen anhielt zu überlegen, was denn dieser Rauch sei, kamen Meldungen wie „CO₂“, „Natriumoxid“ und „Natriumdampf“. Ich sagte daraufhin, dass es ein Rauch sei und dass ein Rauch ein Gemisch aus einem Gas und einem Feststoff sei. Als sie das Stück NaCl am Boden des Kolbens sahen, riefen sie durcheinander „Das ist das Metall!“ oder „Das ist Natrium!“. Ich fragte, warum es dann weiß aussehe, es kam die Antwort, es habe eine chemische Reaktion stattgefunden.

Ich ließ die Infosheets austeilen und stellte durch lautes Klatschen wieder ein wenig Ruhe her. Ich erklärte Aufbau und Idee der Blätter und ging inhaltlich noch einmal alles durch. Auf die Frage, ob die SchülerInnen das Elektronengas kennen würden, wurde es auf einmal sehr still. Ich ließ anschließend das Arbeitsblatt austeilen und erklärte auch dazu den Aufbau und wie ich es gerne ausgefüllt gehabt hätte. Ich musste wieder für Ruhe sorgen und versicherte noch ein letztes Mal, dass es kein *richtig* oder *falsch* gebe und dass die Lehrerin des Regelunterrichts keine Ergebnisse bekommen werde.

Es waren bis hierhin ca. 21 Minuten vergangen, die restliche Zeit saß ich am LehrerInnenpult oder ging durch die Klasse, um für etwaige Fragen zur Verfügung zu stehen. Der Lautstärkepegel war die restliche Zeit etwas hoch, aber noch annehmbar. Während der Arbeitsphase wies ich einige Male SchülerInnen darauf hin, dass es für das Arbeitsblatt irrelevant sei, was in den aufgeschlagenen Büchern stehen würde. Einige Minuten später sah ich dieselben SchülerInnen wieder im Buch nachlesen, und beließ es dabei.

Persönliche Eindrücke danach:

Die Klasse erschien mir sehr unruhig. Zwar waren sie leicht ablenkbar, konnten aber schnell wieder fokussiert werden. Möglicherweise hat dies damit zu tun, dass die Lichtverhältnisse nicht ideal waren: die elektrischen Rollos im Klassenzimmer waren defekt und es kam von draußen Licht herein – entsprechend wird die Projektion von weiter hinten eher schlecht erkennbar gewesen sein, die SchülerInnen eventuell vom Frontalunterricht exkludiert. Die Diskussion über Modelle am Anfang der Stunde fiel durch die rege SchülerInnenbeteiligung länger als gewöhnlich aus und durch die Ansprache der Lehrerin lag ich insgesamt 5 Minuten hinter dem Zeitplan. Das Konzept der Modellmaßstäbe wurde dieses Mal nicht so stark betont, lediglich einmal nebenbei angesprochen; dies ist mir aber erst im Nachhinein beim Anhören der Tonaufnahme aufgefallen.

b.) Ergebnisse

Eine Zusammenfassung findet sich in **Tabelle 6**.

Klasse 6 n=24	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	5	1	7	3	2	7	9	10	5	11	12	12	11	12	13	13	16,67	33,33	50,83
nicht zufriedenstellend beantwortet	4	0	16	8	7	16	1	14	18	10	11	-	-	-	-	-	29,17	45,83	-
zufriedenstellend beantwortet	15	23	1	13	15	1	14	0	1	3	1	12	13	12	11	11	54,17	20,83	49,17
																	100,0	100,0	100,0

Tabelle 6: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 6

1a: Von 15 *zufriedenstellenden* Antworten zeichneten 14 lediglich unterschiedliche Ladungen („+“ und „-“), 5 davon stellten die Negativen größer als die Positiven dar, 2 machten es umgekehrt; 7 zeichneten die Ladungen gleichgroß. 1 zeichnete die Ladungen nicht abwechselnd im Gitter, sondern abwechselnd in Schichten. 3 zeichneten Natriumkationen mit Chlormoleküle dazwischen, 1 zeichnete nur ein Kationengitter.

1b: 1 Person gab keine Antwort, der Rest antwortete *zufriedenstellend*.

1c: Insgesamt wählten 3 den richtigen Modellmaßstab, davon zeichneten 2 ein Chlormolekül. 5 zeichneten die eigentlich zu 1a gehörende Antwort ein (jene Antworteten bei 1a mit der Bilderserie zu 2 (2) oder mit Chlormolekülen zwischen Natriumkationen (3)), 3 wiederholten ihre Antwort von 1a. 3 zeichneten zwei Kreise nebeneinander, von denen jeweils ein Pfeil ausging und auf den anderen Kreis zeigte; 3 SchülerInnen antworteten auf der Symbolebene. 2 zeichneten eine Art Reaktionsmechanismus ein.

1d: Unter den 13 *zufriedenstellenden* Antworten waren 3, die „Natrium“ und „Chlorid“ einsetzten, 1 setzte „Na⁺“ und „Cl⁻“ ein. 1 setzte „Metall“, „Nichtmetall“, „Na⁺“ und „Cl⁻“ ein. *Nicht zufriedenstellend* antworteten 2 SchülerInnen, indem sie „Cl⁻“, „Na⁺“, „Cl⁻“ und „Na⁺“ einsetzten, 3 andere indem sie in die vierte Lücke „andere“ schrieben (und davor „Metalle“ und „Nichtmetalle“) und 2 Weitere ließen die letzten beiden Lücken leer. 1 SchülerIn antwortete inkonsistent.

2: Bei 15 *zufriedenstellenden* Antworten waren 5 nicht beschriftet. 2 SchülerInnen zeichneten nur zwei Bilder, 3 gar nur ein Bild; 1 der Letzteren gab dafür eine ausführliche verbale Beschreibung. 1-mal wurde kein Produkt dargestellt. Der Rauch wurde 1-mal als „NaCl-Gas“ und 1-mal als „Na₂O“ bezeichnet, 1 beschriftete das abreagierte Natriumstück mit „weißer Punkt“. Insgesamt erstellten 5 SchülerInnen auch eine Bilderserie über das erste gezeigte Video, die Stoffeigenschaften von Natrium.

3a: Nur 1 SchülerIn erstellte eine *zufriedenstellende* Zeichnung (Modellmaßstab: Elementarteilchenebene) inklusive Verbalisierung. 1 SchülerIn beschrieb den Vorgang verbal mehr als *zufriedenstellend*, erstellte aber keine Zeichnung. 8 andere SchülerInnen zeichneten das gleiche wie bei 1a, 3 verwiesen auf deren Antworten zu 1c (zwei Kreise nebeneinander, von denen jeweils ein Pfeil ausging und auf den anderen Kreis zeigte); 1 andereR zeichnete Cl₂-Moleküle in einem Natrium-Metallgitter. Sonstige Verbalisierungen lauteten etwa: „Ein Ionengitter ist eine Art Glitzern und scheinen von einem Metall.“ (1), „Ein Ionengitter entsteht, wenn in Salzen sich gegengesetzt voneinander geladene Ionen annehmen.“ (1) oder „Anion und Kation ziehen sich an.“ (1). 3 SchülerInnen schrieben einen langen Absatz, der stark an ein Schulbuch erinnerte.

3b: 6-mal wurde gesagt, dass Plus und Minus sich anziehen würden, 2-mal davon mit dem Zusatz, dass die „frei beweglichen Neutronen“ und das „Chloridgas“ ebenfalls beteiligt seien. 4 SchülerInnen schrieben, dass die Atome positiv und negativ werden würden bzw. sind, je 1

weitereR „*Entgegengesetzt geladene Ionen ziehen sich an.*“ und „*Valenzelektronen ziehen sich an.*“. 3 Formulierungen sind Teil des vermeintlichen Absatzes aus dem Schulbuch (siehe 3a).

4: 3 SchülerInnen schrieben, man könne „*es*“ besser sehen, 3 andere schrieben von der Unterscheidbarkeit der Ionen. 2-mal wurde „*Ladung*“ gesagt, ebenfalls 2-mal „*weil von Natrium mehr Elektronen benutzt werden.*“. Je 1 SchülerIn sagte, Anionen hätten eine größere Masse, „*manche*“ seien Stärker, es sei „*in Echt*“ so oder „*weil Kationen weniger Teilchen haben.*“

5a: 6 SchülerInnen beantworteten mit „*Gas aus Elektronen*“, 3 andere mit „*negativ geladenes Gas*“, 2 Weitere „*Gas mit Elektronen*“. Die restlichen Antworten fielen je 1-mal: „*dunkler, gasförmiger, negativ-geladener Stoff*“, „*Gas, das elektrisch leitet*“, „*negativ ionisiertes Gas*“ und „*frei schwebende Elektronen*“. 1 schrieb: „*Ich stelle mir eine chemische Reaktion vor und dann öffnet man den Korken vom Becherglas und man leert es aus und es kommt ein Gas raus.*“ 2-mal wurde die Frage durch ein Bild zu beantworten versucht, 1 stellte Elektronen in einer Art Wolke dar, das andere nah beieinanderliegende Cl-Teilchen mit Elektronen, die (fast laminar) rundherum strömen. Die 1 *zufriedenstellende* Antwort klingt nach einem Absatz aus einem Schulbuch.

5b: Die 3 *zufriedenstellenden* Antworten beschrieben alle, dass elektrischer Strom nur geleitet werde, wenn die Ionen beweglich genug wären. Ansonsten wurde 2-mal gesagt: „*Ja, es ist ein Metall, aber es enthält Salze (Es ist ein Salz)*“, je 1-mal wurde Folgendes geschrieben: „*Ja, weil es ein Metall ist.*“, „*Elektronen helfen beim Leiten.*“, „*Insgesamt ja.*“, „*Ja, weil Halogen -> leitfähig.*“, „*Ja, weil es ein Salz ist (Elektronen helfen).*“ oder „*Nicht so gut wie pures Natrium.*“. Je 1-mal wurde unbegründet verneint oder bejaht.

6: Insgesamt argumentierten 4 mit „*Kristallstruktur*“, nur 1 davon wies auf die intrinsische Anziehung hin (Letzteres wurde als *zufriedenstellend* gewertet). 2 schrieben, es liege am fehlenden Elektronengas, 2 weitere an der Dichte. Je 1 sagte, es liege am Aufbau vom Metallgitter, weil „*die Verbindung mit einem anderen Metall es stärkt.*“, „*weil die gegensätzliche Anziehung reicht*“ oder dass Verbindungen prinzipiell eine größere Masse haben würden – es habe aber auch irgendwas mit Ladungen zu tun.

7: 6-mal wurde „*Vorstellung*“ geschrieben, 3-mal „*Verständnis*“ und ebenfalls 3-mal „*bildliche Darstellung*“. Ansonsten wurde je 1-mal „*planen*“, „*leichte Darstellung*“, „*großes klein darstellen*“ oder „*alles auf einen Blick sehen*“ genannt.

8a: 10-mal wurde die Größe als Abweichung genannt, 2-mal die Farbe und 2-mal der Aufenthalt der Elektronen (entweder man könne nicht wissen, wo die Elektronen seien oder sie blieben nicht am selben Platz). 5 SchülerInnen meinten, ein Modell entspreche nicht zu 100% der Realität. Insgesamt schrieben 7 explizit ein „Nein“ hin; die 3, die explizit „Ja“ schrieben, relativierten im Anschluss (bei derselben Antwort) aber sofort mit der Größe der Modelle.

8b: 7 nannten das „Melonenmodell“, 3 weitere zeichneten das Melonenmodell auf und schrieben „nicht in Schalen angeordnet“; 2-mal wurde das „Rosinenkuchenmodell“ erwähnt.

8c: 8-mal wurde auf die Richtigkeit hingewiesen, davon 2-mal als „richtiger und realistischer“ und 1-mal mit „stimmt immer noch“. 1 meinte, das Bohrsche Atommodell sei aktuell und basiere auf Entdeckungen von ForscherInnen, 1 WeitereR meinte, es erkläre am besten.

9: Modelle dienen laut 4 Meldungen dem besseren Verständnis, laut 3 anderen der besseren Vorstellung. Je 2 meinten, Atome seien viel zu winzig oder allgemein sei „Vieles zu klein [um es] zu sehen“. Je 1-mal wurde geschrieben, man könne besser forschen, bildlich darstellen, veranschaulichen oder einfach nur „Hilfe“.

c.) Interpretation der Ergebnisse

Wahrscheinlich durch die zuvor schon vermuteten und beschriebenen Wissensstandunterschiede der SchülerInnen divergierten die Antworten etwas mehr als sonst. Einige konnten auch nicht davon ablassen, ihr Schulbuch zu benutzen. So traten gewisse Skizzen und/oder Texte vermehrt auf, was die Untersuchung ein wenig verfälscht; dies war speziell bei den Fragen 1a bzw. 1c und 3a bzw. 3b der Fall. Generell wäre es zwar positiv zu bewerten, wenn die SchülerInnen sich selbstständig Informationen beschaffen können, allerdings vermindert es im Fall dieser Untersuchung die Aussagekraft der Testbögen.

Auffällig ist, dass trotz des angenommenen niedrigen Wissensstands der SchülerInnen verhältnismäßig viele Antworten *zufriedenstellend* ausfielen. Möglicherweise hat dies auch mit ihrer gewissen sprachlichen Expertise zu tun, wenn man die Argumentationen in **Abschnitt 1**. berücksichtigt.

6 SchülerInnen zeichneten als Antwort zu Frage 1a einen Würfel, bei dem ein Gitterausschnitt vergrößert wird (wie etwa bei den ersten zwei Bildern der Vorgabe), welcher dann schlussendlich die Antwort zu 1a abbildet. Eine solche Illustration war überdies im Schulbuch abgebildet.

Es stellt sich wieder die Frage, warum nur 3 SchülerInnen wussten, was in das Kästchen (Frage 1c) einzuzeichnen war. Nur 3 benutzen den richtigen Modellmaßstab und 2 davon zeichneten ein Chlormolekül. Möglicherweise rührt es daher, dass das Konzept der Modellmaßstäbe dieses Mal nicht so stark betont wurde; allerdings war diese Klasse verhältnismäßig unruhig, und hatte die angebotenen Erklärungen während der Intervention eventuell nicht mitgekriegt.

Bei 1d setzten sehr viele SchülerInnen Ionennamen an Stelle von Elementnamen ein. Fachlich betrachtet ist dies natürlich nicht richtig, Chlorid nimmt keine zusätzlichen Elektronen mehr auf, mehrfach positiv geladene Natriumionen treten auch eher selten auf.⁵² Abgesehen davon, dass es sich um Flüchtigkeitsfehler handeln könnte, ist es gut möglich, dass die SchülerInnen den genauen Unterschied nicht kannten: immerhin hat lediglich ein Drittel der Klasse in der Stunde zuvor das Poster für die ionische Bindung ausgearbeitet und der restlichen Klasse präsentiert. Außerdem könnte auch eine sprachliche Barriere vorhanden sein: viele der SchülerInnen Kinder von DiplomatInnen, beherrschen Deutsch also eventuell nicht als Erstsprache; dies war aber beispielsweise in einem direkten Dialog kaum bis nicht spürbar.

Sehr viele Bilderserien waren beschriftet und wenn die Bilderserie eher spärlich ausfiel, war dafür meistens umso mehr erklärender Text dabei (die Ausnahme bilden 2 Antworten, die je aus nur zwei Bildern bestanden). Auffällig ist auch, dass einige SchülerInnen eine Bilderserie des Videos über die Stoffeigenschaften von Natrium erstellten. Hier wurde meist ein geteiltes Natriumstück mit einem Messer daneben dargestellt, manchmal wurde das Stück auch mit zwei Strichen versehen – es ist anzunehmen, dass es sich dabei um die Elektroden zur Leitfähigkeitsmessung handelt. Dass der Rauch im Kolben 1-mal als Na_2O bezeichnet wurde, ist interessant: einerseits wurde dieser Vorschlag von SchülerInnenseite schon bei der Vorführung des Videos gemacht, andererseits steht in dieser Bilderserie beim vorangegangenen Bild „*Na und Chlogas reagieren*“, woraus dann eben „*Natriumoxid entsteht (Na_2O)*“. Es könnte sein, dass dieseR SchülerIn einmal mitbekommen hat, dass

⁵² Zumindest führen Mortimer & Müller (2015, S. 456) eine zweite Ionisierungsenergie für Natrium an, die allerdings mit $4563 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ca. neunmal höher als die erste ist.

Verbrennungsprozesse (Red-) Oxidationsprozesse sind und *eine Oxidation eine Reaktion mit Sauerstoff ist* – nun wird diese Person das *Feuer als Reaktion mit Sauerstoff gedeutet* haben (möglicherweise unbewusst, in der Bildbeschreibung steht ja anderes), entsprechend kam es zu jenem Produkt. Interessant ist außerdem, dass die Stöchiometrie der symbolischen Bezeichnung richtig ist.

Zu 3a wurde offensichtlich auch im Buch nachgeschlagen; 3-mal wurde geschrieben: *„Negative Ionen entstehen, wenn neutrale Nichtmetallatome Elektronen aufnehmen. In den Salzen ziehen einander entgegengesetzt geladene Ionen an und bilden ein starres Ionengitter.“* – alleine die Konstruktion *„In den Salzen“* deutet einen nicht-Bezug zum Beispiel sondern eine allgemeine Beschreibung an. Zudem wirkt dieses Textstück nicht nach der Sprache von 14-Jährigen⁵³. Dass bei dieser Frage ein Großteil (ca. 80 %) keine Verbalisierung machte, zeigt ein unkonzentriertes Lesen der Fragestellung auf; dennoch hatte immerhin ein großer Anteil (ca. zwei Drittel) die Frage überhaupt zu beantworten versucht.

Im Vergleich zu bisherigen Interventionen konnten sehr viele in dieser Klasse Frage 3b *zufriedenstellend* beantworten. Zugegebenermaßen waren einige Antworten nicht einwandfrei *zufriedenstellend* (z.B. *„Atome werden positiv und negativ“* (4)), den SchülerInnen ist aber zuzutrauen, dass sie implizit meinten, dass sich entgegengesetzt geladene Teilchen anziehen – sonst wäre die Antwort nicht genau zu dieser Frage gekommen. Die Antwort *„Valenzelektronen ziehen sich an“* erinnert stark an die bildliche Darstellung der Elektronenpaarbindung. Warum 2 andere SchülerInnen frei bewegliche *„Neutronen“* (wahrscheinlich sind Elektronen gemeint) und ein *„Chloridgas“* (wahrscheinlich Chlorgas) einbrachten, ist nicht verständlich. Beide gaben bei 3a an, dass ein Ionengitter eben dadurch entstehe, dass sich Anionen und Kationen anziehen würden; zu 1c gaben beide keine Antwort.

6 der Antworten zielen darauf ab, dass es *praktischer sei, die Ionen unterschiedlich groß im Gitter darzustellen*, ein Modell ist also anscheinend *menschgemacht und muss nicht immer der Realität entsprechen* (siehe 8a); zumindest 6 Antworten weisen auf einen Realitätsgehalt der Darstellungsform hin: während 1 lediglich hinschrieb, dass die Ionen *wirklich unterschiedlich groß seien*, wiesen 4 den Teilchen *bestimmte (Stoff-)Eigenschaften zu*,

⁵³ „[...] ziehen einander entgegengesetzt geladene Ionen an [...]“ – es handelt sich um eine dreifache Attributierung mit zwei Partizipien, begleitet von einem geteilten Prädikat! Würde es sich tatsächlich um den Stand der Bildungssprache jeneR SchülerInnen handeln, hätten sie beim Arbeitsblatt wohl mehr *zufriedenstellende* Antworten haben müssen.

allerdings ohne weitere Erklärung. Die Aussage: „*Von Natrium werden mehr Elektronen benutzt*“ ist ein wenig obskur, denn jeneR SchülerIn antwortete bei 3a, dass *Natrium Elektronen abgebe*.

Insgesamt kann gesagt werden, dass die Antworten zu 5a circa zu zwei Dritteln wiederum durch das Zerlegen des Wortes „Elektronengas“ zustande kamen; die 1 *zufriedenstellende* Antwort lautete: „*Alle Außenelektronen sind zwischen den Metallrümpfen fast so frei beweglich wie Gasteilchen in einem Gasbehälter.*“ – JeneR SchülerIn hatte auch Antworten zu 1c und 3a/3b, die sehr nach einem Schulbuch klingen.

Die 3 *zufriedenstellenden* Antworten zu Frage 6 kamen von SchülerInnen, deren Arbeitsblätter immer recht ähnlich/wortgleich bearbeitet wurden – beispielsweise zeichneten sie alle bei Frage 1c diese zwei Kreise mit den Pfeilen, welche gegenseitig aufeinander wiesen. Die Antwort implizierte zwar, dass sich die *Ionen miteinander bewegen können, sodass elektrischer Strom fließen könnte*; dies ist in diesem Sinn aber nur der Fall, wenn der Kristall beispielsweise gelöst wird. 6 Antworten erklären eine *Leitfähigkeit mit Stoffeigenschaften (NaCl ist ein Metall/Halogen/Salz)*, wobei 2 sogar die Antworten mischen und 1 von ihnen *Chlorid im Kristall als eine Art Verunreinigung von purem Natrium* sieht. Ein explizites „*Nein*“ zur Leitfähigkeit wurde nur 1-mal genannt, und das war unbegründet.

Mehr als die Hälfte der Antworten zu Frage 6 spricht (im weiteren Sinne) den allgemeinen Aufbau von Metall- oder Ionengitter an, meist aber nicht mehr. So bleibt man, wenn überhaupt näher darauf eingegangen wird, teilweise immer noch auf substanzieller Ebene, sodass Fremdatome eine Substanz stärken, schwerer machen oder eine neue Dichte verleihen. Eine Stoffeigenschaft (z.B. Dichte) bewirkt also die andere (Härte des Gitters). Wird nicht auf die Gitterstruktur eingegangen, sind die Stoffe aufgrund des fehlenden Elektronengases härter.

Der Großteil der antwortenden SchülerInnen sah Modelle als *Hilfsmittel zur Vorstellung, Darstellung und zum allgemeinen Verständnis* (Frage 7). Dabei meinte ca. die Hälfte, dass Modelle – zumindest „*nicht zu 100 %*“ – der Realität entsprechen würden (Frage 8a). Sie weichen hauptsächlich in *Farbe und Größe* davon ab, aber auch dass die *Elektronen nicht immer am selben Platz* sind, schien klar zu sein. Die SchülerInnen, die in Modellen eine durch und durch realitätsgetreue Darstellung sahen, widersprechen sich im Anschluss selbst. Es ist fraglich, ob sie sich dessen bewusst waren. Zumindest ein anderes Modell scheint bekannt

gewesen zu sein (Frage 8b), nämlich das „Melonenmodell“. Es wird zwar auch das „Rosinenkuchenmodell“ genannt, die beiden sind aber als synonym zu verstehen, und werden gerne in einem historischen Abriss über die Atomtheorie erwähnt. Das Bohrsche Atommodell würde nun aber deswegen verwendet werden, *weil es richtig sei*, eben sogar auf *Entdeckungen von ForscherInnen basiere* (Frage 8c). Eine interessante Frage darauf wäre, warum man nicht mit dem Melonen-/Rosinenkuchenmodell arbeite. Das Wort „richtig“ geht nämlich mit der Implikation einher, dass alles andere „falsch“ ist. Das würde in diesem Fall bedeuten, dass die SchülerInnen zeitgleich nur ein einziges Modell als *richtig* und *realistisch* ansehen würden. Das wiederum würde sich aber alleine schon mit den verschiedenen Modellmaßstäben in der Vorgabe widersprechen, da ja nur einer direkt dem Bohrschen Atommodell entspricht. Möglicherweise finden diese Antworten ihre Begründung darin, dass die Modellmaßstäbe in dieser Einheit nicht klar erläutert wurden. Vielleicht wurden die verschiedenen Ebenen nämlich als *optische Vergrößerungen der Vorangegangenen bzw. Verkleinerungen der Folgenden* gesehen, dass sie also *alle dem gleichen Modell zugehörig* sind. In den Naturwissenschaften würden Modelle wieder Großteils der *Unterstützung des Sehsinns* dienen, die Antworten weichen nicht sehr von jenen zu Frage 7 ab (Frage 9). Hier wird aber zumindest noch einmal die *Unterstützung bei der Arbeit* (der ForscherInnen) angesprochen.

4.7. Klasse 7: 24 SchülerInnen – Herr A.

Die Klasse befindet sich im realgymnasialen Zweig und eine Parallelklasse der Klasse 6. Sie ist die einzige Klasse, bei der die Sequenz nicht im Chemiesaal sondern im eigenen Klassenzimmer abgehalten wurde. Außerdem wurde bei dieser Klasse auch nicht zuvor hospitiert – der Lehrer dieser Klasse unterrichtet auch die Klasse 8 (siehe **Abschnitt 4.8.**), deren Unterricht zu diesem Zeitpunkt schon hospitiert wurde; er versicherte, dass beide Klassen auf einem ähnlichen Wissensstand seien. Sie hatten beide die Bindungsmodelle schon restlos behandelt und waren beim Thema Energiebilanz chemischer Reaktionen angelangt.

An Vorwissen aus dem Chemieunterricht brachten die SchülerInnen laut Lehrer mit:

- Oktettregel
- Metallbindung
- Elektronenpaarbindung
- Ionenbindung
- Reaktionsgleichungen
- Energetik: Aktivierungsenergie, Reaktionsenergie

Die Stunde zuvor wurde wie erwähnt nicht beobachtet. Der Lehrer warnte schon im Vorfeld, dass die Klasse recht „lebhaft“ sei.

a.) Deskriptive Darstellung des Unterrichts

Nach einem recht chaotischen Beginn der Stunde mit technischen Schwierigkeiten eröffnete ich den Unterricht, indem ich mich und meine Absichten vorstellte. Auf die Frage, was ein Modell sei, kam die Antwort: „eine kleinere Darstellung von etwas“ – mehr SchülerInnen äußerten sich selbst auf Nachfrage nicht. Ich sagte dann, dass man konkret zum Beispiel von einem Eisenbahnmodell oder Modellautos und -Flugzeugen sprechen könnte. Ich zeigte die Weltkarte, die sofort als „Landkarte“ erkannt wurde; Informationen lasen die SchülerInnen daraus keine ab. Als ich jedoch fragte, ob die Karte als Modell zu 100 % der Realität entspreche, verneinte ein Schüler, denn sie hätte ja einen Maßstab. Eine andere meinte, dass die Karte flach sei, ein 3D-Modell sei dann ein Globus. Bei den Karten von Österreich und Wien betonte ich noch einmal die farbliche Abweichung von der Realität, außerdem noch die Verschiedenheit der Modellmaßstäbe. Außerdem betonte ich noch, dass die zwei thematischen Karten von Wien für sich gültige Modelle von Wien seien, aber eben nicht zur Gänze realitätsgetreu.

Ich ließ die SchülerInnen kurz die drei chemischen Bindungstypen aufzählen, und fragte nach der Bekanntheit von Chlor und Natrium. Es wurde gleich einmal „Natriumchlorid“ gesagt, ansonsten konnte niemand etwas dazu sagen. Ich zeigte das Video zu den Stoffeigenschaften von Natrium und kommentierte es. Das akustische Signal des Leitfähigkeitsmessgeräts blieb wohl als Folge der anfänglichen technischen Probleme aus. Ich fügte hinzu, dass es eigentlich hätte Pfeifen müssen und dies ein Indiz dafür sei, dass Natrium als Metall typischerweise

elektrischen Strom leite. Dann zeigte ich das Video zur Reaktion und kommentierte es; bei der Explosion staunten die SchülerInnen hörbar. Als das Natriumchlorid im Video vom Glas gekratzt wurde, sagte eine Schülerin „Schnee“. Auf die Betonung hin, dass Natrium und Chlor miteinander reagierten, kamen dann sofort „Salz“ und „Natriumchlorid“; der Rauch könnte laut einer Schülerin Stickstoff gewesen sein.

Ich ließ die Infosheets austeilen und erklärte den Aufbau. Zu diesem Zeitpunkt musste ich das dritte Mal um Ruhe bitten. Ich ließ dann das Arbeitsblatt austeilen und erklärte den Aufbau, nachdem ich ein erneutes Mal, diesmal mit lauterer Stimme, Ruhe ins Klassenzimmer brachte. Ich betonte nochmal, dass der Lehrer von den Ergebnissen nichts mitkriegen würde, weil ich die Blätter am Schluss wieder absammeln würde und dass es weder *Richtig* noch *Falsch* gebe.

Die Sequenz dauerte nun 16 Minuten, allerdings muss hier noch die anfängliche Verzögerung durch die technischen Komplikationen hinzugerechnet werden. Den Rest der Stunde saß ich am LehrerInnenpult oder ging durch die Klasse um Hilfestellung zu leisten. Oftmals ermahnte ich SchülerInnen, weil sie entweder durch die Luft schauten, sich quer durch das Klassenzimmer unterhielten, „Briefchen“ schrieben oder ihre MitschülerInnen vom Arbeiten abhielten.

Persönliche Eindrücke danach:

Es handelte sich hier um eine für mich sehr anstrengende Stunde. Die SchülerInnen waren sehr undiszipliniert und arbeitsscheu. Der Lehrer warnte mich im Vorfeld schon, dass die Klasse sehr „lebhaft“ sei – aus terminlichen Gründen konnte ich mir selber kein Bild davon machen, was ich zuerst nicht sehr schlimm fand. Ich fühlte mich durch die anfänglichen technischen Schwierigkeiten auch zeitlich unter Druck gesetzt, weshalb ich wohl kein richtiges LehrerIn-SchülerInnen-Gespräch am Anfang der Stunde entstehen ließ. Das Konzept des Modellmaßstabs wurde hier aber wieder stärker betont, auch, was bei den Fragen 1a-1d erwartet werden würde. Mir kam in der Stunde vor, als würden sich hauptsächlich die Mädchen mit dem Arbeitsblatt auseinandersetzen.

b.) Ergebnisse

Eine Zusammenfassung findet sich in **Tabelle 7**.

Klasse 7 n=24	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	0	0	4	1	5	10	13	14	10	19	14	12	10	21	18	15	5,21	50,60	63,33
nicht zufriedenstellend beantwortet	2	0	18	7	9	10	3	7	7	2	9	-	-	-	-	-	28,13	27,98	-
zufriedenstellend beantwortet	22	24	2	16	10	4	8	3	7	3	1	12	14	3	6	9	66,67	21,43	36,67
																	100,0	100,0	100,0

Tabelle 7: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 7.

1a: 22 konnten eine *zufriedenstellende* Antwort geben, wobei 7 davon lediglich die unterschiedlichen Ladungen zeichneten, 11 gaben sowohl Spezies als auch Ladung an, 2 weitere die Spezies ohne Ladung – alle 20 zeichneten jedoch alle Atome gleich groß. 2 zeichneten nur Ladungen, und zwar die Negativen größer als die Positiven. 2 Zeichneten ein Gitter wie in der Vorlage.

1b: Alle SchülerInnen füllten die Lücken *zufriedenstellend* aus.

1c: 2 SchülerInnen erstellten *zufriedenstellende* Zeichnungen; zusätzliche 8 benutzten zwar den richtigen Modellmaßstab, 4 davon zeichneten allerdings keine Elektronen ein, die anderen 3 zeichneten gar nur ein Atom mit Elektronen; 1 weitereR zeichnete einen Ausschnitt aus dem Natriumgitter. Insgesamt zeichneten 8 SchülerInnen in der Atomebene: 5 zeichneten je einen Kreis für „Na⁺“ und „Cl⁻“, 4 davon mit einem oder mehreren Pfeilen dazwischen (der von Ersterem zu Letzterem zeigt), über dem „e⁻“ stand. Die anderen 3 zeichneten Kreise mit „N“ (1) bzw. „Na“ und „Cl“ (2), die eine Außenschale mit zumindest einem Elektron, aber auch acht oder neun Außenelektronen besaßen. 2 erstellten die gleiche Zeichnung wie für Frage 1a. Eine Art Mechanismus wurde insgesamt 7-mal gezeichnet.

1d: 16 beantworteten diese Frage *zufriedenstellend*, wengleich mit „Metall“ und „Nichtmetall“ (2) oder „Na“ und „Cl“ (2). 5 ließen die letzten zwei Lücken leer, 1 antwortete inkonsistent („Metall“/„Nichtmetall“/„Nichtmetall“/„Metall“). 1 antwortete mit „Kation“/„Anion“/„NaCl“/„und“.

2: 12 SchülerInnen gaben *zufriedenstellende* Antworten, wobei 2 nicht beschriftet waren. 8-mal wurde kein Produkt gezeichnet, dabei aber zumindest 2-mal „-> Natriumchlorid“ hingeschrieben. 1 weiteres Mal wurde gar nur ein Bild gezeichnet. Der Rauch wurde 2-mal mit „Gas“ beschriftet, 1-mal mit „Elektronen“. Von den 19 abgegebenen Antworten waren 13 beschriftet.

3a: Vollständig *zufriedenstellend* antwortete nur 1 SchülerIn, welcheR die Atome mit der äußersten Schale und allen Valenzelektronen darstellte und eines von Natrium auf Chlor übertragen ließ. 2 Weitere zeichneten nur das eine Valenzelektron ein, das von Natrium übertragen wird. 1 zeichnete ein „M“-Atom und ein „Nm“-Atom ohne Valenzelektronen, wobei Ersteres Letzterem drei „e⁻“ (symbolisiert mit Pfeilen) überträgt und die Teilchen deshalb „+“- bzw. „-“-geladen sind. Als Modellmaßstab wählten alle 4 die Atomebene. 1 zeichnete eine „N“-Kugel, die sich einer „Cl“-Kugel annäherte und dann bei ihr verweilte und ein Gitter bildete, 4 zeichneten ein Gitter wie etwa bei 1a. 5 zeichneten nichts, sondern beschrieben nur verbal: „Cl zieht Na⁺ an und sie verbinden sich.“ (3) „Cl-Atome ziehen Na-Atome an, da Cl eine stärkere e⁻-Anziehung besitzt.“ (1) oder „Nichtmetall zieht Cl an, Metall zieht Na an.“ (1).

3b: 8 antworteten hier *zufriedenstellend*, wobei 2 nur „ziehen sich an“ und 1 „Elemente ziehen sich gegenseitig an“ schrieben. 2 andere schrieben, dass sich die Valenzelektronen anziehen würden, 1 antwortete mit „Weil es Kochsalz ist.“

4: 3 argumentierten, dass die Ladungen zu unterschiedlich großen Darstellung der Spezies führe, 2, weil Anionen ihre Elektronen stärker anziehen würden. Je 1 schrieb, dass „die Einen stärker wirken“ als „die anderen“ oder dass die Anionen Elektronen aufnehmen und die Kationen Elektronen abgeben würden. Die 3 *zufriedenstellenden* Antworten lauten: „Anionen haben mehr Außenelektronen -> größer“, „unterschiedlich viele Schichten“ und „mehr Schalen, je größer das Element“.

5a: 3 antworteten hier mit „elektrisch geladenes Gas“, je 1 mit „frei fliegende Elektronen“, „frei bewegliche Elektronen“, „eine Art Elektronenbindung“ oder „elektrisch negativ geladenes Metallgas“. Die 7 *zufriedenstellenden* Antworten lauteten: „Elektronen, die um ein Gitter schweben“ (1), „Elektronen um ein Metallgitter“ (1), „frei bewegliche Elektronenwolke, um positive Teilchen schwirrend“ (1), „Elektronen zwischen den Bindungen, die gut leiten“ (1) und

„um die positiven Elemente sind negative Elektronen“ (1). 2 SchülerInnen erstellten eine Zeichnung, in der sich „e“ zwischen mit „+“ beschrifteten Kreisen befanden.

5b: Zu dieser Frage gab es keine *zufriedenstellenden* Antworten: 2 meinten, dass ein Kochsalzkristall nicht leiten würde, da das Elektronengas fehle, 1 weitereR schrieb statt „Elektronengas“ „Elektronenwolke“. 2 andere schrieben, dass das Gitter zu eng sei, um elektrischen Strom leiten zu können.

6: Hierzu gab es 1 Antwort, die in eine *zufriedenstellende* Richtung ging: „Metalle ziehen sich nicht so stark an wie Metall und Nichtmetall.“ Die anderen wurden als *nicht zufriedenstellend* gewertet: 2 schrieben, die Elektronenanziehung sei bei Nichtmetallen stärker als bei Metallen (entsprechend seien Erstere härter als Letztere), 1 schrieb „Bei Metall ist Platz zwischen Kationen, bei Ionenbindung nicht“. Insgesamt argumentierten je 1 mit der Höhe des Schmelzpunktes von Metallen bzw. Ionengittern, insgesamt 4 mit der Verbindung: Ionengitter hätten eine andere Verbindung (2), Verbindungen seien allgemein stark (1) bzw. die Stärke käme durch die Verbindung („Oxidation“) (1). 1 gab an, die Frage nicht verstanden zu haben. Nur 1 SchülerIn gab explizit an, dass dies am Modell erklärbar sei.

7: 6 waren der Meinung, mit Modellen könne man Sachen größer bzw. kleiner darstellen, 2 nannten nur „Darstellung“. Je 1 schrieb „verstehen“, „erklären“, „veranschaulichen“, „zurecht kommen“ oder „man kennt sich ca. aus“.

8a: 10-mal wurden entweder „Größe“ (6) oder „Maßstab“ (4) als Abweichung von der Realität angeführt. 4 argumentierten mit der Zweidimensionalität („keine Hügel bei Landkarten“), 2-mal wird „Farbe“ genannt. Je 1 schrieb, es weiche „manchmal [ab], es ist nur ein Beispiel“, ein Modell entspreche nicht zu 100 % der Realität oder es entspreche der Realität.

8b: 2 schrieben, sie würden kein anderes Modell kennen, es würde sich aber in der Form unterscheiden. 1 schrieb lediglich „Nein“.

8c: 2 argumentierten, das Bohrsche Atommodell sei „am logischsten“, je 1-mal werden „einfach, gut darstellbar“, „genauestes“, „vereinfacht“ oder „weil es richtig ist“ genannt.

9: 4-mal wird „darstellen“ genannt, 2-mal „erklären“ und noch 2-mal „vorstellen“. Je 1-mal wurde „um sich zu informieren“, „Theorien machen“, „besser sehen“, „verstehen“ und „Pläne schaffen“ geschrieben.

c.) Interpretation der Ergebnisse

Auffällig bei dieser Klasse war, dass oftmals der vorgegebene Platz für die offenen Fragen nicht ausreichend war, entsprechend noch zusätzliche Blätter benötigt wurden. Dies lag aber nicht daran, dass die Klasse so außerordentlich viel zu antworten hatte (relativ mag diese Klasse die meisten Antworten zu den Fragen 1a-1d gegeben haben, die restlichen Fragen beantworteten aber nur durchschnittlich viele), sondern viel mehr daran, dass Schrift und Zeichnungen groß ausfielen. Bei der relativen Anzahl der *zufriedenstellenden* Antworten liegen sie im etwas über dem Durchschnitt, was zu erwarten war, nachdem die Klasse die Bindungsmodelle im Regelunterricht schon abgeschlossen hatte.

Die Antworten zu den Fragen 1a-1d zeigen keine größeren Auffälligkeiten. Einzig die 4 SchülerInnen, die mehrere Pfeile mit mehreren Elektronen, die übertragen werden sollen, zeichneten. Diese Elektronen *stammten auch von einem Ion anstatt von einem Element und wurden an das Ion abgegeben* (zumindest suggerieren es die Zeichnungen; möglicherweise wurden auch zwei Bilder (vorher/nachher) in eines zusammengeführt). 1 SchülerIn erstellte ein Gitter wie in Frage 1a verlangt, allerdings wurden hierbei immer zwischen einem Ionenpaar drei Elektronen übertragen. Zwischen Na^+ des einen und Cl^- des anderen Paares war ursprünglich eine Linie gezeichnet (*Möglicherweise eine Art bindendes Elektronenpaar*), die dann aber noch durchgestrichen wurde. Die 5 SchülerInnen, die bei Frage 1d die letzten beiden Lücken leerließen, hatten auch Probleme mit Frage 1c: 2 von ihnen zeichneten einen Natriumgitterausschnitt (im richtigen Modellmaßstab), 2 ein Atom mit zwei Schalen und insgesamt sechs Elektronen und 1 ließ das Kästchen leer.

Die 6 SchülerInnen, die bei Frage 2 kein Produkt einzeichneten (und es auch nicht verbal erwähnten), hörten alle mit dem „Feuer“ (2), der „Explosion“ (1) oder der „Reaction“ (1) auf. Die übrigen 2 beschrifteten die Bilderserie gar nicht.

Die Antworten zu den Fragen 1c und 3a weisen darauf hin, dass die Ionenbindung noch nicht ganz verstanden zu sein schien. Zwar wussten viele, wie ein Ionengitter aufgebaut ist (Fragen 1a und 1b) und konnten auch wiedergeben, wie es dazu kommt bzw. wer wem Elektronen überträgt (Frage 1d), allerdings schienen sich die SchülerInnen wenig darunter vorstellen zu können: Mehr als die Hälfte konnte auch gar nicht sagen, warum das Gitter überhaupt zusammenhält (Frage 3b). Es wurde teilweise mit der *gegenseitigen Anziehung der*

Valenzelektronen argumentiert, aber auch die *zufriedenstellenden* Antworten waren oft nicht eindeutig.

Durch Frage 4 wird deutlich, dass der Atombau nach Bohr (oder anderen, wie sich bei Frage 8b herausstellen wird) auch nicht unbedingt verinnerlicht war: 2 Antworten kamen der Sache recht nahe, dass bei Natriumkationen eine Schale „wegfällt“; 1-mal wurde mit dem Wort „*Schalen*“ argumentiert, allerdings nur im Zusammenhang mit der *Elementgröße*. Das andere Mal wurde erkannt, dass die Teilchen *unterschiedlich viele* „*Schichten*“ besitzen, diese Antwort war aber mit einem „*eventuell*“ versehen. Spätestens die 3. *zufriedenstellende* Antwort ist ein richtiger Streitfall: Na^+ und Cl^- haben beide gleich viele Außenelektronen, also kann die unterschiedliche Größe nicht daher kommen. Sie haben allerdings eine unterschiedliche Gesamt-elektronenzahl, was zumindest in diesem Fall den Unterschied sehr wohl ausmachen würde. Zugegebenermaßen gehen einige der *nicht zufriedenstellenden* Antworten in die richtige Richtung, greifen aber zu kurz und fallen teilweise sehr esoterisch aus (z.B. die eine Spezies „*wirkt stärker [als die andere]*“).

Etwas weniger als ein Drittel der Klasse kann die Frage 5a *zufriedenstellend* beantworten, und das mit recht individuellen Formulierungen. Ein Viertel versucht, das Wort „Elektronengas“ semantisch zu zerlegen und die Bedeutung daraus zu gewinnen, 1 erkannte es explizit *als Charakteristikum einer Bindungsform*. Frage 5b wird dann auch stofflich beschrieben: entweder es *fehlt das Elektronengas* oder *das Ionengitter ist zu eng für bewegte Ladungsträger*, um elektrischen Strom zu leiten.

4 argumentieren bei Frage 6 im weiteren Sinn mit der *Andersartigkeit von Verbindungen* (wahrscheinlich *im Gegensatz zu Elementen*), was eigentlich ein *zufriedenstellender* Ansatz ist – allerdings wurde darauf nichts mehr gebaut, was eher unzureichend ist. Zuletzt wird noch 2-mal die Stoffeigenschaft der *Härte über eine andere Stoffeigenschaft, dem hohen Schmelzpunkt von Ionengittern*, erklärt.

Modelle dienen dem Großteil zur *Darstellung*. Es wird an ihnen aber auch *verstanden, erklärt und eine grundsätzliche Orientierung verschafft*. Die Antworten wirken Großteils durch die Karte beeinflusst – sie wird ja auch als Beispiel in der Fragestellung angeführt. Sie unterscheiden sich demnach von der Realität hauptsächlich *in ihrer Größe*, allerdings wird auch einige Male die *Zweidimensionalität von bildlichen Darstellungen* hervorgehoben. 1 SchülerIn meinte, dass sich *Modelle gut an die Realität annähern*, 1 war der Meinung, dass sie

der Realität entsprechen. Weil die SchülerInnen keine anderen Atommodelle kannten, argumentierten sie, dass das Bohrsche genommen wurde, weil es unter Anderem *logisch, einfach und genau* ist. Die Antwort „*Richtig*“ auf Frage 8c ist vermutlich anders zu verstehen, als zunächst anzunehmen wäre: als Zusatz schrieb der/die SchülerIn noch „*weil es zu schwer ist, ein Neues [Modell] herzustellen*“. Dies impliziert dass ein Modell *vom Mensch erschaffen und nicht etwa entdeckt* wurde. „*Richtig*“ ist also mehr als „*wahr*“, oder besser „*bewährt*“, zu verstehen. Für die Naturwissenschaften seien Modelle zum Einen aus den bei Frage 7 erwähnten Gründen unerlässlich, allerdings deuten 2 Antworten („*Pläne schaffen*“ und „*um Theorien zu machen*“) konkret auf die *wissenschaftliche Praxis* hin. Ersterer SchülerIn war auch UrheberIn der gerade erörterten *Richtigkeit*, Letzterer sieht in Modellen *Beispiele der Realität* (Frage 8a), was beides auf differenzierende Gedanken hinweist. Insofern interessant ist die anschließende Antwort auf Frage 9, dass man durch Modelle alles „*besser und detaillierter*“ sehe – wahrscheinlich ist hier eine *kontrastierende Dimension* gemeint.

4.8. Klasse 8: 21 SchülerInnen – Herr A.

Die Klasse befindet sich im gymnasialen Zweig. Sie ist die Parallelklasse der zuvor intervenierten Klassen 6 und 7 und hat denselben Lehrer wie Letztere. Auch sie hatten die Bindungsmodelle im Regelunterricht schon abgeschlossen und hatten mittlerweile sogar der Energetik durchgenommen.

An Vorwissen aus dem Chemieunterricht brachten die SchülerInnen laut Lehrer mit:

- Oktettregel
- Metallbindung
- Elektronenpaarbindung
- Ionenbindung
- Reaktionsgleichungen
- Aktivierungsenergie, Reaktionsenergie;

In der Unterrichtsstunde zuvor wurde eine Stundenwiederholung zum Thema Energetik durchgeführt und anschließend Anfänge der Redoxreaktion (Elektronenübertrag,

Elektronenaufnahme) behandelt. Der Lehrer pflegt einen eher kollegialen Umgang mit seinen SchülerInnen, er behandelt sie auf Augenhöhe und zeigt stets Humor, die SchülerInnen scheinen ihn zu mögen. Die SchülerInnen selbst schienen sehr lebendig, wirkten beim Unterricht mit und halfen, ihn aktiv zu gestalten.

a.) Deskriptive Darstellung des Unterrichts

Ich begrüßte die Klasse, stellte mich und meine Absichten vor und ging über zur Frage, was denn ein Modell sei. Eine Schülerin antwortete, *„Ein Modell ist eine nicht funktionierende, etwas kleinere Kopie, eine Miniatur.“*, ein anderer sagte *„Atommodelle“*, wieder andere *„Modelleisenbahn“*, *„Apollo 11“*. Ein Schüler sagte, dass etwas Großes klein dargestellt werden würde, worauf ein anderer Schüler erwidert, dass es doch beim Atommodell genau andersrum sei. Dann wurde die Weltkarte gezeigt und die SchülerInnen aufgesagt lassen, was darauf zu erkennen sei. Es wurden die Landmassen, Wassermassen und Gebirge genannt, aber auch *„Wärmeveränderung“* (Klimazonen), Eis bzw. Gletscher. Auf Letzteres hin gab es eine kleine Diskussion, die Schülerin meinte nämlich die weiß eingezeichneten Eisflächen an den Polen (und nannte sie Gletscher); auf meinen Einwand, dass es doch in Zentraleuropa und vor Allem Österreich auch Gletscher gebe, wusste sie nichts zu sagen. Ich wies darauf hin, dass dies genauso ein *„Knackpunkt“* sei, auf den ich ansprechen wollte: Es werde nicht die Realität einfach abgebildet, beispielsweise gebe es nämlich laut Karte Russland und Alaska jeweils gleich zweimal. Mit der Karte von Österreich wurden die Konzepte von Modellmaßstab und Verwendungszweck erläutert: *„Alle diese Karten sind gültige Modelle der Realität, allerdings in unterschiedlichen Maßstäben und Verwendungszwecken. Sie sind richtig, aber nicht zu 100 Prozent realitätsgetreu.“*

Ich ging zur Chemie über und erzählte von der in Kürze vorgestellten Reaktion. Die SchülerInnen verneinten die Frage, ob sie Chlor und/oder Natrium kennen würden. Ich zeigte das Video zu den Stoffeigenschaften von Natrium und kommentierte es; den metallischen Glanz verglich ich mit jenem von Kupfer, Gold, Eisen und Aluminium. Das zweite Video musste ich kurz unterbrechen, da einige SchülerInnen meldeten, dass die grün-gelbliche Farbe von Chlor nicht erkennbar sei. Der Raum wurde entsprechend abgedunkelt und das Video weiterlaufen gelassen. Die SchülerInnen waren während des ganzen Videos zur Reaktion

ruhig. Einzig einE SchülerIn antwortete auf die Frage, was das Produkt sein könnte, kurz angebunden mit „Natriumchlorid“. Ich bestätigte die Antwort. Auf die Frage nach dem Rauch oder dem kleinen, weißen Stück am Kolbenboden bekam ich keine Antwort.

Sodann wurden die Infosheets ausgeteilt und gemeinsam durchgegangen, mit Betonung auf den Modellmaßstab bei jedem Wechsel der Spezifikationsebene. Bevor ich die Arbeitsblätter austeilen ließ, erklärte ich an der Projektion noch kurz die Fragen 1a-1d und dass in die leeren Kästchen Zeichnungen einzufügen waren; außerdem wiederholte ich die dem Infosheet zu Grunde liegenden Logik. Ich versicherte noch, dass es keine Benotung dieser Stunde gebe, dass es weder Richtig noch Falsch gebe und dass mich weder interessiere, was in Büchern stehe noch, was der Lehrer gesagt habe, sondern dass ich an der Vorstellung der SchülerInnen interessiert bin.

Bis zu diesem Zeitpunkt waren etwa 19 Minuten vergangen. Die restliche Zeit saß ich am LehrerInnenpult oder ging durch die Klasse, um Hilfestellung zu leisten.

Persönliche Eindrücke danach:

Beim Stundenbeginn hatte ich fünf Minuten verloren, da die SchülerInnen nur nach und nach in den Chemiesaal kamen und zu ihren Plätzen fanden. Ein richtig wechselseitiges Gespräch fand anfangs nicht statt, während der Input-Phase war es ruhig in der Klasse, die Blicke waren fast die ganze Zeit nach vorne gerichtet. Auch in der Arbeitsphase war es angenehm leise. Gerade während dieser Phase lenkten sich einige SchülerInnen gegenseitig ab oder wurden vom Lehrer abgelenkt: er führte fünf kurze bis mittellange Gespräche mit ganzen Teilen der Klasse über den anstehenden Test in der kommenden Woche, oder redete von der Weihnachtsstunde in zehn Tagen.

b.) Ergebnisse

Eine Zusammenfassung findet sich in **Tabelle 8**.

Klasse 8 n=21	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	0	0	6	0	5	10	13	14	7	15	18	17	15	20	19	18	7,14	55,78	84,76
nicht zufriedenstellend beantwortet	2	0	9	5	6	10	4	7	13	6	3	-	-	-	-	-	19,05	33,33	-
zufriedenstellend beantwortet	19	21	6	16	10	1	4	0	1	0	0	4	6	1	2	3	73,81	10,88	15,24
																	100,0	100,0	100,0

Tabelle 8: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 8.

1a: 19 SchülerInnen konnten diese Frage *zufriedenstellend* beantworten: 12 zeichneten die unterschiedlichen Spezies inklusive Ladung, 9 davon gleich groß, 2 davon zeichneten die Kationen größer und 1 die Anionen. 2 zeichneten unterschiedliche Spezies, allerdings ohne Ladung, je 1-mal mit den Kationen bzw. Anionen größer; 2 zeichneten „Na⁺“ größer als „Cl⁻“. 2 zeichneten nur Ladungen, und zwar gleichgroß, 1 andereR ein Gitter aus kleinen (mit „A“ beschriftet) und großen Kugeln (mit „K“ beschriftet). Die 2 *nicht zufriedenstellenden* Antworten stellten Kugeln mit den Beschriftungen „Na⁺“ und „Na⁻“ und Elektronen dazwischen dar oder ein Gitter, das weder unterschiedliche Ladungen, Spezies noch Größenunterschiede zeigte (1).

1b: Alle SchülerInnen konnten diese Frage *zufriedenstellend* beantworten.

1c: Diese Frage wurde 6-mal *zufriedenstellend* beantwortet, 2-mal davon mit deutlich falscher Elektronenzahl und 1-mal wurde ein Atom mit „N“ beschriftet. 4 weitere SchülerInnen benutzten den richtigen Modellmaßstab, stellten aber entweder nur *ein* Atom, je 1-mal mit bzw. ohne Elektronen, dar oder zeichneten ein Natriumgitter bzw. die elementaren Atome Chlor und Natrium nebeneinander. 2 benutzten den falschen Modellmaßstab, 1 davon stellte eine Elektronenpaarbindung dar. 2 andere zeichneten das Gleiche wie bei 1a und 1 Zeichnung war unverständlich: Der Modellmaßstab war zwar richtig gewählt, jedoch wurde ein Atom aufgezeichnet, das (insgesamt) sechs Elektronen besaß von denen eines eingekreist war. Davon weg weist ein Pfeil mit „*nicht so stark*“ beschriftet hin zu einem Kreis, in dem zwei Punkte gezeichnet sind, darüber steht „*Metal*l“. Das zweite Atom besitzt insgesamt vier

Elektronen, wovon zwei eingekreist sind. Über jenem Pfeil steht „stark“ und er weist auf einen Kreis, in dem vier Punkte gezeichnet sind – dabei steht „nicht Metall“. Eine Art Reaktionsmechanismus wurde insgesamt 5-mal gezeichnet.

1d: Bei 4 der 5 *nicht zufriedenstellenden* Antworten waren nur die halben Lücken ausgefüllt: 2 schrieben in die ersten zwei Lücken „Metall“ und „Nichtmetall“, 1 „Natrium“ und „Chlor“ und 1 weitereR „Metall“ und „Elektron“. 1-mal wurden die Lücken wie folgt ausgefüllt: „Natrium“, „Chlor“, „Natrium“ und „den Raum“.

2: 6 Antworten wurden als *nicht zufriedenstellend* eingestuft, da sie unzureichend waren: 3 SchülerInnen zeichneten kein Produkt, je 1 zeichnete keine Reaktion, nur drei Kolben mit unterschiedlichfarbenen Inhalten oder gar nur ein Bild. Insgesamt waren 10 Zeichnungen beschriftet, davon 8 *zufriedenstellend*. 1-mal wurde das Natriumstück als „Natriumteilchen“ bezeichnet, Chlorgas je 1-mal als „Chlorid“, „Flüssigkeit“ oder „Na“ und der Rauch als „Schaum“ (2), „Dampf“ (1) oder „Gas“ (1).

3a: Die 1 *zufriedenstellende* Antwort kam durch einen Verweis auf die (*zufriedenstellenden*) Antworten zu 1c und 1d. Insgesamt 7 SchülerInnen zeichneten das gleiche wie bei Frage 1a, 3 davon schrieben dazu, dass die Ionenbindung aus „Metall“ und „Nichtmetall“ bestehe, 1 andereR, dass die Elektronen frei beweglich seien. Bei 1 SchülerIn fehlte die Verbalisierung. 2 wussten explizit keine Antwort zu geben (gewertet als *nicht zufriedenstellend*)

3b: 4 SchülerInnen antworteten *zufriedenstellend*, 4 nicht: 2 argumentierten, die Ionen seien an ihren „Gitternetzen“ fest verankert, 1 schrieb stattdessen „Gitterplätzen“. 1 andereR SchülerIn schrieb, das „Metallmolekül ist das stärkere“. 1 wusste explizit keine Antwort zu geben.

4: Alle Antworten zu dieser Frage fielen *nicht zufriedenstellend* aus: 2 antworteten mit der Unterscheidbarkeit, 2 schrieben, dass „sie“ in Wirklichkeit unterschiedlich groß seien, je 1 „Ladung“, „weil sie schwerer sind“ oder „weil sie positiv sind und das Positive ist besser.“. 2 wussten explizit keine Antwort zu geben.

5a: Die 1 *zufriedenstellende* Antwort lautete: „Gas um positive Kationen, in dem sich Elektronen frei bewegen.“. Ansonsten wurde „Gas aus Elektronen“ 3-mal genannt, „negativ geladenes Gas“ 2-mal und je 1-mal „eine Art Wolke“, „Elektronen im gasförmigen Zustand“, „mit Elektronen gefülltes Gas“, „Gas mit mehr Elektronen als Protonen“, „Gas, in dem sich

Elektronen frei bewegen“, „*Gas mit frei beweglichen Elektronen*“, „*Elektronen einer Bindung*“ und „*Gas, das mit einem Magneten verschwindet, weil es vom Magneten angezogen wird.*“.

5b: 3 SchülerInnen gaben hier ein unbegründetes „*Nein*“ ab, 1 schrieb „*Nein, weil es dann kein Metall mehr ist.*“. 1 meinte, es fehle das Elektronengas, um elektrisch leitfähig zu sein, 1 andereR, dass es sehr wohl leite, da Natrium ein Metall sei.

6: Je 1 SchülerIn war der Meinung, dass ionische Bindungen sich verdichten, dass Atome im Metall nicht so nah nebeneinander angeordnet seien oder schlicht „*wegen der Bindungen*“. 3 wussten explizit keine Antwort zu geben.

7: 3 SchülerInnen sahen in Modellen eine Möglichkeit zur vergrößerten bzw. verkleinerten Darstellung von Dingen, 1 konnte sich mittels Modellen Dinge genauer „*anschauen*“, 1 andereR fand, Modelle würden Dinge sichtbar machen.

8a: Explizit „*Nein*“ sagten 4 SchülerInnen, davon begründet nur 1 nicht. Abweichungen von der Realität wären Größe bzw. Maßstab (3 bzw. 1), Genauigkeit (2), Farbe (2), Beschriftung (1) und die Form (1, gemeint war die Dimensionalität).

8b: 1 SchülerIn antwortete auf diese Frage: „*sie sehen anders aus*“.

8c: 1 SchülerIn meinte, das Bohrsche Atommodell sei das Beste, der/die 1 andere meinte, es sei besser (ein Bezug bleibt aus).

9: In den Naturwissenschaften benutze man Modelle laut je 1 SchülerIn um sich Atome vorzustellen, Sachen besser zu untersuchen oder „*weil man sie braucht*“.

c.) Interpretation der Ergebnisse

Die SchülerInnen schienen die Eckpunkte der Ionenbindung verstanden zu haben (*sie wird aus Nichtmetall- und Metallelementen gebildet, Ladungen spielen auch eine Rolle*), das zeigen die Antworten zum Fragenblock 1. Während Frage 2 noch über zwei Drittel versuchten zu beantworten, wagte sich gerade etwas mehr als ein Drittel an die Fragen 3a und 3b. Die Antworten darauf könnten ein Hinweis sein, dass mehr als ein bloßes Vokabelwissen nicht vorhanden zu sein schien. Das Fehlen von Antworten kann allerdings auch als ein Fehlen von Motivation interpretiert werden: Die Umstände in dieser Stunde waren wie schon erwähnt

nicht optimal, es gab zwar bei Frage 5a kurzfristig wieder eine größere Beteiligung (zwei Drittel, allerdings wieder eine Frage an das „Vokabelwissen“), sie nahm anschließend aber wieder deutlich unter ein Drittel ab. Verhältnismäßig gaben insgesamt nicht so viele SchülerInnen Antworten ab, der Anteil *zufriedenstellender* Antworten befindet sich auch nicht erwartungsgemäß auf dem Niveau einer Klasse, die schon die Bindungsmodelle behandelte und abschloss. Zumindest einE SchülerIn konnte zu jeder Frage eine Antwort geben, allerdings mehr provokant: „*Woher sollen wir das wissen?*“, „*Warum fragen Sie mich? Sie sind der Lehrer!*“, „*Schauen Sie ins Internet oder in ein Buch.*“ oder „*Wollen Sie mich verarschen?*“. Die aufrichtig wirkenden Antworten wurden auch in die Wertung aufgenommen, der Rest wurde als *nicht beantwortet* betrachtet. Dass viele die Fragen 7-9 nicht beantworteten, lag wahrscheinlich an den zahlreichen Unterbrechungen durch den Lehrer des Regelunterrichts.

Interessant ist jene Antwort zu Frage 1a, bei der ein Ionengitter aus positiv und negativ geladenen Natriumionen gezeichnet wurde: erstens waren die Ionen in Schichten angeordnet (oben positiv, unten negativ), zweitens befanden sich die Vorzeichen vor dem Elementsymbol und drittens wurde zwischen zwei Natriumionen immer ein „e“ gezeichnet. Es ist also ein Metallgitter zu erkennen, das sowohl Charakteristika eines Ionengitters als auch einer Elektronenpaarbindung aufweist. Diese Person strich bei 1b auch bis zu zweimal ihre Antworten durch: So stand in der ersten Lücke zuerst „*negativ*“, dann „*nicht*“ und dann „*positiv*“ und in der zweiten „*positiv*“ und dann „*negativ*“ – diese Antworten wurden dann als *zufriedenstellend* gewertet. Ursprünglich stellte wohl einE andere SchülerIn bei 1a eine ähnliche Zeichnung her, hier gab es aber nur „*Na*“- und „*Na*⁺“-Atome, die nicht in Schichten angeordnet waren und bei der auch die Elektronen zufälliger verteilt waren. Diese Person besserte die „*Na*“-Atome allerdings mit „*Cl*“-Atomen aus und hatte auf Anhieb eine *zufriedenstellende* Antwort bei 1b. Bei 1c benutzten beide den richtigen Maßstab, ErstererR zeichnete allerdings nur ein Atom ohne Elektronen, ZweitereR zwei Natriumatome mit herausgelösten Elektronen. Bei 1d ließ ErstererR die letzten zwei Lücken leer, ZweitereR antwortete *zufriedenstellend*. Ansonsten beantworteten beide nur noch je eine Frage (entweder Frage 2 oder Frage 5a), zum Rest schrieben sie entweder „*keine Ahnung*“ oder nichts. Ansonsten gab es bei 1c noch 2 Antworten, die als *zufriedenstellend* gewertet wurden, wengleich Diskussionsbedarf besteht: Einerseits wurde der richtige Modellmaßstab verwendet, andererseits gab es die zwei unterschiedlichen Spezies; darüber hinaus wurde per Pfeil sogar ein Elektron übertragen. Beide SchülerInnen hatten aber bei beiden Spezies eine

deutlich falsche Elektronenzahl eingezeichnet: Einer zeichnete ein „Na⁺“-Atom mit fünf Elektronen in der äußersten Schale, wobei eines schon als „fehlend“ (wie etwa auf der Vorlage) markiert wurde und drei inneren Elektronen, von welchen eines zur Übertragung benutzt wurde. „Cl⁻“ hatte in der inneren Schale neun Elektronen und in der Äußeren vierzehn. Der/die andere SchülerIn zeichnete bei „Na“ fünf innere und ein äußeres Elektron, bei „Cl“ zwei innere und vier Außenelektronen.

Die in der Darstellung genannte unverständliche Zeichnung stellt wohl eine Verbildlichung des Lückentextes von 1d dar; dieselbe Person ließ die letzten beiden Lücken allerdings leer.

Zu den Antworten zu Frage 2 gibt es nichts anzumerken, außer dass gut ein Drittel der antwortenden SchülerInnen offensichtlich Probleme hatte, die Reagenzien richtig zu beschriften.

Ab Frage 4 zeigt sich immer mehr, dass die SchülerInnen versuchen, intelligente Antworten zu geben, sie aber am Ende ihrer Ressourcen angelangt waren. Die Antworten beginnen sehr esoterisch auszufallen („*Das Positive ist besser*“), beim Begriff „Elektronengas“ fand wieder eine semantischen De- und Rekonstruktion des Wortes statt und anschließend wurde die *elektrische Leitfähigkeit einzig Metallen zugesprochen* (wenn überhaupt eine Begründung abgegeben wurde). Die Härte von Salzen hatte dann nur mehr mit der *räumlichen Nähe der Gitterbausteine zueinander* zu tun.

Die Antworten auf die Fragen 7-9 fallen sehr spärlich aus; andere Atommodelle als das Bohrsche sind zwar nicht bekannt, dennoch können die antwortenden SchülerInnen klare Abweichungen von der Realität ausmachen. Die Funktion von Modellen können auch einige erkennen, wenngleich die Meldung „*sichtbar machen*“ bei Frage 7 etwas fragwürdig ist; wahrscheinlich war aber wieder nur die *Hervorhebung, also Kontrastierung* gemeint.

5. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

Es soll schon im Vorfeld der Analyse klargelegt werden, dass es sich hierbei nicht um ein Laborexperiment, sondern um eine Feldstudie handelt. Es wurde kein eigenes Setting für die Durchführung geschaffen und es wurden keine Daten von den SchülerInnen (Alter, Geschlechtszugehörigkeit, Note im Fach, persönliche Beziehung zum Fach etc.) erhoben. Vielmehr wurde die Methode an einer größeren SchülerInnenzahl im Kontext des schulischen Alltags durchgeführt und jede Klasse hatte ihre eigenen Startbedingungen – angefangen beim schulischen Einzugsgebiet bis hin zu den fachlichen Unterschieden, was im Regelunterricht schon behandelt wurde. Entsprechend wird eine eher breite Streuung der Ergebnisse erwartet.

Da es sich aber um eine Unterrichtseinheit handelte, die in den Regelunterricht eingebettet war, gab es natürlich vorab definierte Lernziele, an denen gemessen werden soll, wie ertragreich die Sequenz im Bezug zum inhaltlichen Wissen der SchülerInnen war.

5.1. Deskriptive Statistik

Eine Zusammenstellung aller Klassenergebnisse befindet sich im **Anhang. Tabelle 9** fasst die Einzelergebnisse von insgesamt 164 SchülerInnen aus acht Schulklassen in vier verschiedenen Schulen zu einer globalen Statistik zusammen, **Abbildung 4** wurde auf Grund dieser Daten erstellt. Die Fragen wurden zur Auswertung in drei Teile gegliedert: die Fragen 1a-1d wurden zum Fragencluster 1 zusammengefasst und beinhalten die Erstellung und Charakterisierung der Modelle im submikroskopischen Bereich, die Fragen 2-6 beschäftigen sich mit der systematischen Verknüpfung von phänomenologischer und submikroskopischer Ebene und die Fragen 7-9 stellen Metafragen zur Natur der Modelle dar.

Legende zu den statistischen Kennzahlen:

- n ... Anzahl der beteiligten SchülerInnen
- \bar{x} ... Arithmetisches Mittel, von nun an „Mittelwert“ genannt
- σ ... Standardabweichung des Mittelwerts \bar{x}
- Var ... Varianz des Mittelwerts \bar{x}

Global n=164	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
Nicht beantwortet	21	6	49	16	32	76	88	88	62	98	111	84	85	124	116	98	14,0	48,2	61,8
Nicht zufriedenstellend beantwortet	38	5	77	47	45	73	31	69	79	55	47	-	-	-	-	-	25,5	35,2	-
Zufriedenstellend beantwortet	105	153	38	101	87	15	45	7	23	11	6	80	79	40	48	66	60,5	16,6	38,2
																	100,0	100,0	100,0

Global n=164	\bar{x} [1]	σ [1]	Var [1]	\bar{x} [2-6]	σ [2-6]	Var [2-6]	\bar{x} [7-9]	σ [7-9]	Var [7-9]
Nicht beantwortet	23,00	15,95	254,5	79,29	24,06	579,1	101,4	16,17	261,4
Nicht zufriedenstellend beantwortet	41,75	25,66	658,9	57,00	16,07	258,3	-	-	-
Zufriedenstellend beantwortet	99,25	40,86	1669	27,71	27,20	739,6	62,6	16,17	261,4

Tabelle 9: Darstellung der globalen Ergebnisse von 164 SchülerInnen aus 8 Klassen in 4 verschiedenen Schulen

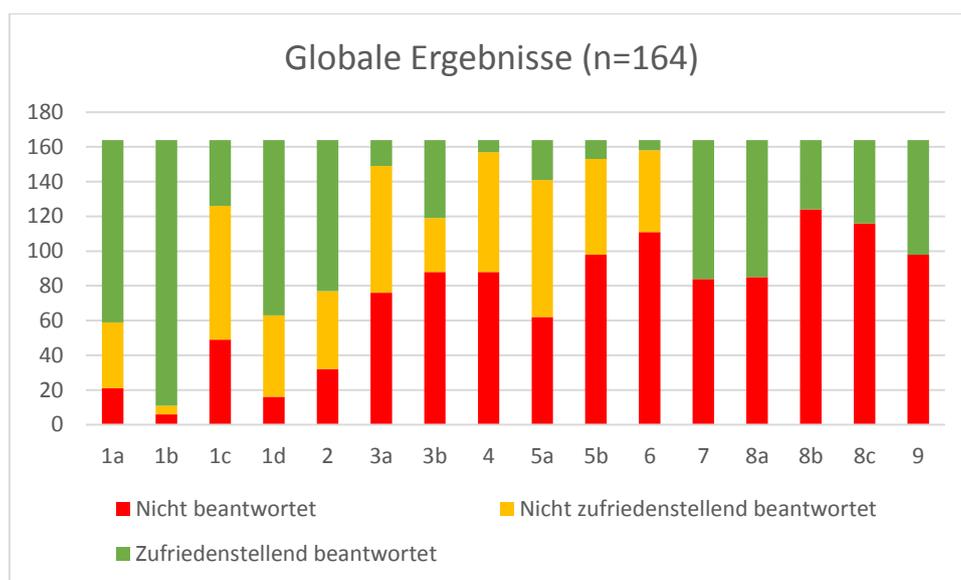


Abbildung 4: Grafische Darstellung der globalen Ergebnisse von 164 SchülerInnen aus 8 Klassen in 4 verschiedenen Schulen.

Durch diese Mittelwertbildung wurden die einzelnen Fragen der Fragencluster [1], [2-6] und [7-9] als solche zusammengefasst. So ergibt sich beispielsweise aus 105 *zufriedenstellenden* Antworten zu 1a, 153 zu 1b, 38 zu 1c und 101 zu 1d ein Mittelwert über diesen Cluster von ca. 99 SchülerInnen – das ist in weiterer Folge so zu verstehen, dass von der Grundgesamtheit von 164 SchülerInnen 99 den Fragencluster [1] *zufriedenstellend* beantworteten, was etwa 60,5 % entspricht. Die Standardabweichung steht dabei für die mittlere Streubreite und

beträgt in diesem Beispiel 40,86, die Varianz steht für die Streustärke und beträgt in diesem Beispiel 1669. Eine hohe Standardabweichung bedeutet eine *breite* Streuung über einen großen SchülerInnenbereich, eine hohe Varianz bedeutet eine *starke* Streuung, also eine oftmalige Abweichung vom Mittelwert.

Außerdem soll es noch eine zusätzliche Aufteilung in der Analyse nach fachlichem *Soll-Wissensstand* geben, um zwischen diesen Gruppen noch einmal besser unterscheiden zu können. Die erste Statistik zeigt die Daten jener Klasse, in welcher die Bindungsmodelle noch nicht angesprochen hatten („Prä-Bindungsmodelle“, siehe **Tabelle 10** und **Abbildung 5**), die zweite zeigt die Daten aller Klassen, die gerade die Bindungsmodelle im Regelunterricht behandelten („In-Bindungsmodelle“, siehe **Tabelle 11** und **Abbildung 6**) und die dritte zeigt die Daten jener Klassen, welche die Bindungsmodelle im Regelunterricht schon abgeschlossen hatten („Post-Bindungsmodelle“, siehe **Tabelle 12** und **Abbildung 7**).

Es sei angemerkt, dass die einzige Prä-Bindungsmodelle-Klasse gleichzeitig der Testung der Sequenz diente. Erkenntnisse daraus wurden ab dem nächsten Durchgang angewandt – etwa dass verdeutlicht wurde, *dass* und *was* in die Kästchen bei den Fragen 1a und 1c einzuzeichnen war. Die In-Bindungsmodelle-Gruppe macht mit fünf Klassen die größte dieser drei Untergruppen aus, wobei sie deswegen nicht unbedingt homogen ist: Manche Klassen hatten zum Zeitpunkt der Intervention schon von der Metallbindung gehört, andere nur von der ionischen Bindung. Eine Klasse hatte gar über alle drei Bindungsmodelle schon Grundsätzliches gehört, das Thema war allerdings noch nicht zur Gänze abgeschlossen. Die Post-Bindungsmodell-Gruppe besteht aus zwei Klassen und stellt in gewisser Maßen eine Referenzgruppe dar. Sie sollten prinzipiell keine Probleme mit dem Ausfüllen der Fragebögen gehabt haben.

Prä-Bindungsmodelle n=18	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
Nicht beantwortet	12	3	14	3	6	13	6	7	5	8	14	2	7	13	8	9	44,4	46,8	43,3
Nicht zufriedenstellend beantwortet	5	2	4	2	6	5	11	10	6	10	4	0	0	0	0	0	18,1	46,8	-
Zufriedenstellend beantwortet	1	13	0	13	6	0	1	1	7	0	0	16	11	5	10	9	37,5	6,3	56,7
																	100,0	100,0	100,0

Prä-Bindungsmodelle n=164	\bar{x} [1]	σ [1]	Var [1]	\bar{x} [2-6]	σ [2-6]	Var [2-6]	\bar{x} [7-9]	σ [7-9]	Var [7-9]
Nicht beantwortet	8,00	5,05	25,50	8,43	3,33	11,10	7,80	3,54	12,56
Nicht zufriedenstellend beantwortet	3,25	1,30	1,69	7,43	2,61	6,82	-	-	-
Zufriedenstellend beantwortet	6,75	6,26	39,19	2,14	2,80	7,84	10,20	3,54	12,56

Tabelle 10: Darstellung der Ergebnisse einer Klasse mit 18 SchülerInnen vor der Behandlung der Bindungsmodelle im Regelunterricht.

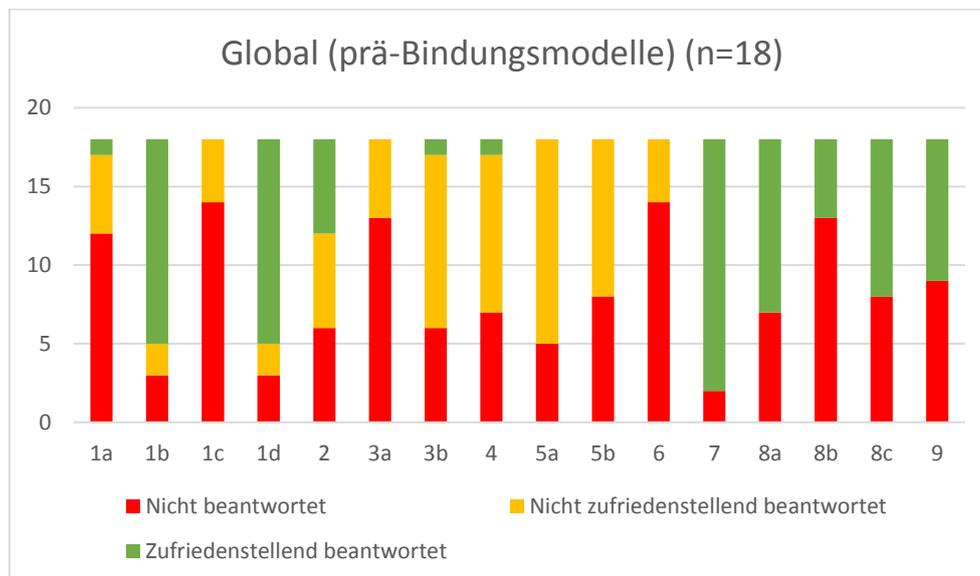


Abbildung 5: Grafische Darstellung der Ergebnisse einer Klasse mit 18 SchülerInnen vor der Behandlung der Bindungsmodelle im Regelunterricht.

In-Bindungsmodelle n=139	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
Nicht beantwortet	13	5	27	12	16	53	72	69	48	68	87	67	67	90	87	66	10,3	42,4	54,2
Nicht zufriedenstellend beantwortet	51	5	64	39	30	68	25	67	81	58	47	0	0	0	0	0	28,6	38,5	-
Zufriedenstellend beantwortet	75	129	48	88	93	18	42	3	10	13	5	72	72	49	52	73	61,2	19,0	45,8
																	100,0	100,0	100,0

In-Bindungsmodelle n=139	\bar{x} [1]	σ [1]	Var [1]	\bar{x} [2-6]	σ [2-6]	Var [2-6]	\bar{x} [7-9]	σ [7-9]	Var [7-9]
Nicht beantwortet	14,25	7,98	63,69	59,00	21,18	448,57	75,40	10,74	115,44
Nicht zufriedenstellend beantwortet	39,75	21,92	480,69	53,71	19,18	367,92	-	-	-
Zufriedenstellend beantwortet	85	29,21	853,50	26,29	29,77	886,20	63,60	10,74	115,44

Tabelle 11: Darstellung der Ergebnisse von 139 SchülerInnen aus 5 Klassen in 3 Schulen während der Behandlung der Bindungsmodelle im Regelunterricht.

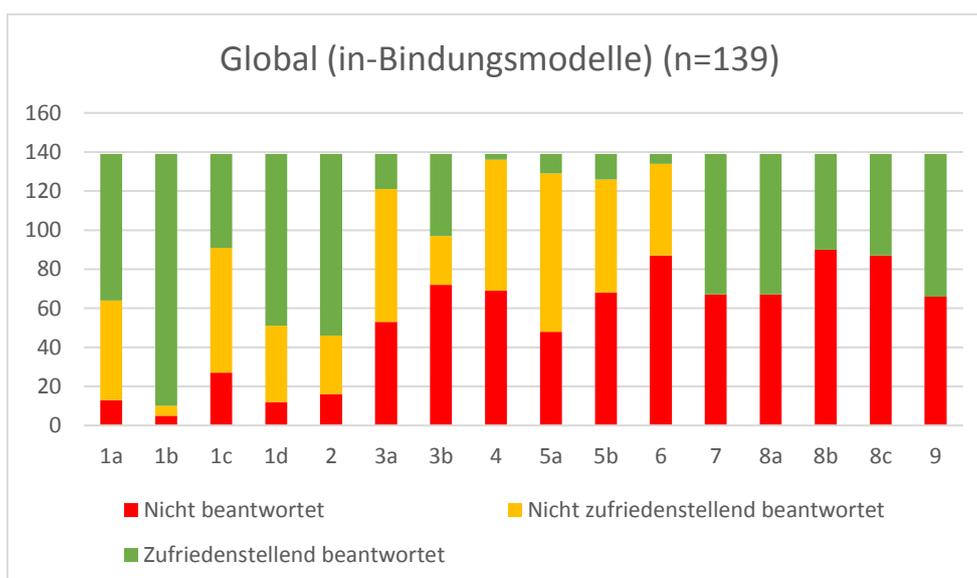


Abbildung 6: Grafische Darstellung der Ergebnisse von 139 SchülerInnen aus 5 Klassen in 3 Schulen während der Behandlung der Bindungsmodelle im Regelunterricht.

Post-Bindungsmodelle n=45	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
Nicht beantwortet	0	0	10	1	10	20	26	28	17	34	32	29	25	41	37	33	6,1	53,0	73,3
Nicht zufriedenstellend beantwortet	4	0	27	12	15	20	7	14	20	8	12	0	0	0	0	0	23,9	30,5	-
Zufriedenstellend beantwortet	41	45	8	32	20	5	12	3	8	3	1	16	20	4	8	12	70,0	16,5	26,7
																	100,0	100,0	100,0

Post-Bindungsmodelle n=45	\bar{x} [1]	σ [1]	Var [1]	\bar{x} [2-6]	σ [2-6]	Var [2-6]	\bar{x} [7-9]	σ [7-9]	Var [7-9]
Nicht beantwortet	2,75	4,21	17,69	24,14	7,86	61,84	33,00	5,66	32,00
Nicht zufriedenstellend beantwortet	10,75	10,33	106,69	13,86	4,05	16,41	-	-	-
Zufriedenstellend beantwortet	31,5	14,36	206,25	7,00	6,55	42,86	12,00	5,66	32,00

Table 12: Darstellung der Ergebnisse von 45 SchülerInnen aus 2 Klassen einer Schule **nach** der Behandlung der Bindungsmodelle im Regelunterricht

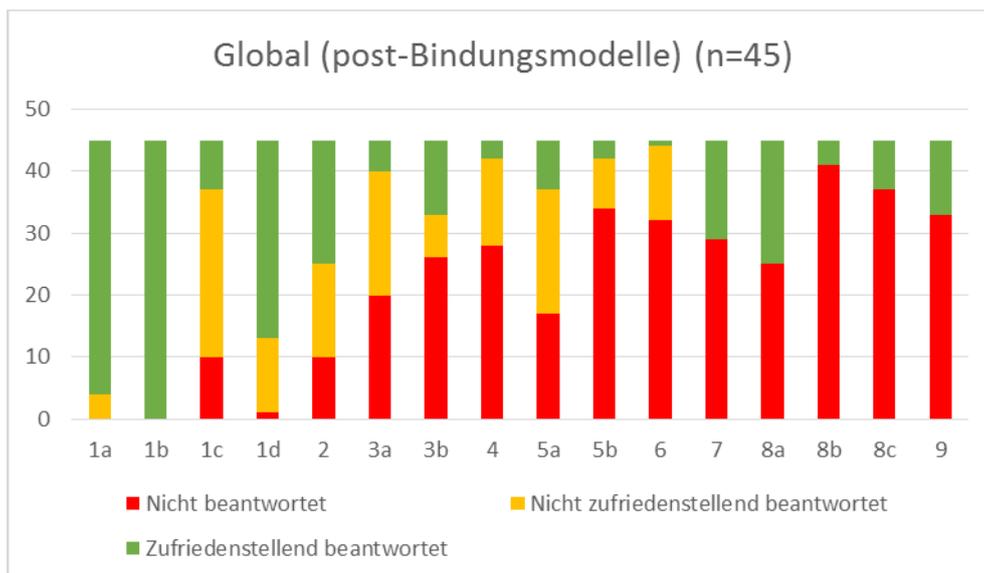


Abbildung 7: Grafische Darstellung der Ergebnisse von 45 SchülerInnen aus 2 Klassen einer Schule **nach** der Behandlung der Bindungsmodelle im Regelunterricht.

5.2. Diskussion der Ergebnisse

Der erste Schritt der Auswertung stellt die Feststellung der Reliabilität dar, dies geschieht etwa durch die Ermittlung des Koeffizienten Alpha nach Cronbach (1951), auch „Cronbachs Alpha“ genannt. Aufgrund der thematischen Divergenz innerhalb des Tests wurde auch hierfür die Gliederung in die drei oben genannten Teile beibehalten, entsprechend ergeben sich drei Koeffizienten für die Testkonsistenz. Die Werte wurden mit *Microsoft Excel* errechnet.

$$\alpha_{[1]} = 0,50$$

$$\alpha_{[2-6]} = 0,72$$

$$\alpha_{[7-9]} = 0,98$$

Bei einem Höchstwert von 1,00 zählen im Allgemeinen Werte ab 0,7 als akzeptabel und ab 0,8 als gut, darunter sollte eine Methode neu überdacht werden. Der Wert für Cronbachs Alpha ist abhängig von der Itemzahl und der Größe der Stichprobe, wobei gilt, dass viele Items und eine große Stichprobe (mit einem damit einhergehendem kleineren Standardfehler) einen höheren Wert ergeben (Streiner 2003). Die Werte sagen nichts über die Qualität der Daten aus, sondern lediglich, wie die Items eines Fragebogens (auf Grund der Beantwortungen) zusammenhängen, oder eben: wie stark eine interne Konsistenz ausgeprägt ist.

Ein verhältnismäßig niedriger Koeffizient für den Fragenkomplex [1] ergibt sich daraus, dass einerseits die Itemzahl mit vier recht gering ist und andererseits weil die Antworten nicht ähnlich verteilt ausfielen. Es zeigt sich, dass diese Verteilung zwischen 1a und 1c sowie zwischen 1b und 1d geringer ist: offensichtlich passen textbasierte und grafische Items nicht zusammen – die Inkonsistenz ergibt sich also schon durch die unterschiedliche Art der Aufgabenstellung und daraus, dass die SchülerInnen diese Art der Beantwortung von Fragen vielleicht nicht kannten. Immerhin handelte es sich nicht nur um fachlich-Rationales, wie es üblicherweise bei Leistungskontrollen verlangt wird, sondern um darstellend-Kreatives; wie sich im folgenden **Abschnitt 5.2.a.)** zeigen wird, war beispielsweise die richtige Wahl des Modellmaßstabs die größte Schwierigkeit für die SchülerInnen. Insofern überrascht ein niedriges $\alpha_{[1]}$ nicht wirklich, möglicherweise könnten für die Zukunft allerdings direktere Instruktionen zu einer Erhöhung beitragen. Von einer weiteren Aufteilung in die zwei

Kategorien für Cronbachs Alpha wurde abgesehen, da somit die Aussagekraft des Koeffizienten nicht mehr gegeben wäre.

Eine akzeptable Reliabilität für den Fragenkomplex [2-6] kommt zustande, weil die Itemzahl mit 7 hoch genug ist und weil die Verteilung der Antworten zu den Items ähnlich ausfiel. Der Wert ist in erster Instanz akzeptabel, könnte aber mitunter erhöht werden, wenn in **Abschnitt 5.4.** dargestellte Änderungsvorschläge umgesetzt werden würden.

Ein Spitzenwert für den Fragenkomplex [7-9] ergibt sich hauptsächlich daraus, dass die Unterscheidung der Antworten in *nicht zufriedenstellend* und *zufriedenstellend* aufgehoben wurde. Diese Reduzierung der Skala hatte zur Folge, dass *wenn* geantwortet wurde, es automatisch *zufriedenstellend* gewertet wurde; die Antworten *konnten* also nur weniger streuen. Zudem waren die SchülerInnen offensichtlicher gewillter bzw. fühlten sich besser in der Lage, diese Fragen zu beantworten: es gab zwar einsilbige Antworten, oftmals wurden aber mehrfache Antworten gegeben und ganze Sätze formuliert. Dies soll aber im folgenden Abschnitt noch genauer geschildert werden.

a.) Globale Ergebnisse

Beim Betrachten von **Abbildung 4** sticht sofort die Beteiligung zu den einzelnen Fragen ins Auge. So war sie beim Fragencluster 1 mit durchschnittlich 86 % am höchsten, sinkt über die Fragen 2-6 allmählich auf durchschnittlich 52 % und weiter bei den Fragen 7-9 auf durchschnittlich 38 %. Hierbei ist aber eine starke Streuung zu beachten, sodass Frage 2 noch eine mit 1 vergleichbare Beteiligung erfuhr, die Fragen 3-6 allerdings immer seltener beantwortet werden, bis ein Wert unter 33 % erreicht wurde – einzig bei der Frage 5a, der Frage nach dem Elektronengas, versuchten es zwischendurch noch einmal ca. zwei Drittel der SchülerInnen. Etwa 50 % schaffen einen Wiedereinstieg bei Frage 7 und beantworten auch Frage 8a, überspringen dann aber oftmals 8b und 8c, um etwa noch zu 40 % die Frage 9 zu beantworten.

Eine abnehmende Beteiligung über den Test deutet in erster Instanz darauf hin, dass die SchülerInnen nicht genug Zeit für die Beantwortung der Fragen hatten. Allerdings nimmt die Beteiligung nicht kontinuierlich ab, sondern erreicht gegen Ende sogar neue (lokale) Maxima, was eher ein Anzeichen für nicht bewältigbare Fragen ist – wahrscheinlich im Sinne der

Schwierigkeit, möglicherweise aber auch im Sinne der Menge, sodass die SchülerInnen mitunter glaubten, eine Beantwortung aller Fragen wäre in der vorgegebenen Zeit nicht möglich. An dieser Stelle muss auch dazu gesagt werden, dass die SchülerInnen darauf hingewiesen wurden, dass Frage 2 eigentlich alle beantworten können sollten und die Fragen 7-9 unabhängig von den anderen Fragen beantwortet werden können. Allerdings schien es auch so, dass die Überschrift „Generelle Überlegungen“ bei den Fragen 7-9 als eine Art Barriere gesehen wurde: Die SchülerInnen fragten so manches Mal, ob dieser Abschnitt auch zu beantworten sei. Möglicherweise erinnerte sie der Aufbau des Arbeitsblattes an Schulaufgaben, bei denen zuletzt die „schweren“ Fragen für die besonders Interessierten kommen.

Interessant ist auch der Aspekt, dass die Fragen 1b und 1d innerhalb des Clusters 1, sowie Frage 5a anschließend die größte Beteiligung besaßen, und dass alle drei Fragen mehr oder weniger auf ein „Vokabelwissen“ abzielen. Hier bestand wohl der größte Bezug zum Wissensstand der SchülerInnen bzw. der Selbsteinschätzung ihrer Fähigkeiten – aus dem Regelunterricht oder aus meinem vorangegangenen theoretischen Input bzw. den Infosheets.

Fragencluster 1: Erstellung der Modelle der letzten beiden Spezifikationsebenen und verbales Ergänzen des beschreibenden Lückentextes.

Allgemein kann gesagt werden, dass der Einstieg mit dem Fragencluster 1 eher gut gelungen ist. Die textbasierten Fragen 1b und 1d wurden je von mindestens zwei Drittel *zufriedenstellend* beantwortet, ebenso die erste selber zu erstellende bildliche Spezifikation; die Beteiligung liegt jeweils bei über 98 %. Allerdings machte die Frage 1c wider Erwarten große Schwierigkeiten: knapp 23 % gaben eine *zufriedenstellende* Antwort, ein etwas größerer Anteil gab gar keine Antwort. Die *nicht zufriedenstellenden* Antworten sahen Großteils so aus, dass entweder nicht die gewünschte Darstellungsebene benutzt wurde (36-mal, entspricht ca. 50 %) oder die falsche Spezies dargestellt wurde (z.B. ein Metallgitter oder ein Cl₂-Molekül, 15-mal) – dabei wurde vernachlässigt, dass oftmals die Anzahl der dargestellten Elektronen nicht nachvollziehbar war. Jedoch muss auch gesagt werden, dass von den 40 SchülerInnen, die eine *zufriedenstellende* Antwort gaben, gut die Hälfte sogar eine Art Reaktionsmechanismus (Elektronenübertrag) darstellte.

Es ist nicht offensichtlich, warum so viele SchülerInnen eine nicht gewünschte Darstellungsebene für 1c wählten. Es wurde bereits nach der zweiten Intervention ersichtlich, dass die SchülerInnen teilweise nicht wussten, dass und was genau in die leeren Kästchen einzuzeichnen war. Zwar wurde in diesen Einheiten schon gesagt, dass das Arbeitsblatt im gleichen Sinne wie die Infosheets zu vervollständigen sei, ab diesem Zeitpunkt wurde dann aber verstärkt betont, dass das Infosheet eine Vorlage darstellen soll und in den leeren Kästchen genau solche Zeichnungen zu erstellen sind. Einige nahmen dies wohl wortwörtlich, sodass sie die Zeichnungen auf den Infosheets direkt auf das Arbeitsblatt übertrugen. Offensichtlich liegt hier eine von SchülerInnenseite nicht nachvollziehbare Logik vor. Auch schienen die Trennstriche zwischen den Darstellungsebenen für Verwirrung gesorgt zu haben, einige SchülerInnen fragten, ob hier (auf die Zeile) etwas aufzuschreiben sei. Möglicherweise wurden die Infosheets in aller Eile auch nicht so genau genug betrachtet.

Frage 2: „Erstelle eine Bilderserie des vorgeführten Experiments und beschrifte sie. Was hast du beobachten können? Wähle einen geeigneten Modellmaßstab!“

Bei Frage 2 gab es noch eine Beteiligung von 80 %, und mehr als die Hälfte (53 % aller SchülerInnen) konnte *zufriedenstellende* Bilderserien des Versuchs erstellen, 21 dieser SchülerInnen erstellten überdies eine Zeichnung des Experiments der Leitfähigkeitsmessung von Natrium. Etwa ein Viertel versuchte es, scheiterte aber; meistens weil sie als letztes Bild die Reaktion (die Lichtentwicklung) und somit kein Produkt darstellten (27-mal); etwa 6-mal wurde überhaupt nur *ein* Bild gezeichnet (das auch nicht den gesamten Reaktionsverlauf abbildete). Es wurde außerdem sehr oft auf eine Beschriftung vergessen, worüber hinweggesehen wurde, wenn die Bilderserie eindeutig war. Gab es eine Beschriftung, war sie in vielen Fällen nicht nachvollziehbar: der Sand wurde oftmals als „Chlor“ bezeichnet, das „erbsengroße“ Stück Natrium als „Erbse“ oder „Steinchen“. Manchmal wurde auch der NaCl-Rauch als „Chlor“ oder „Elektronengas“ bezeichnet. Überhaupt gab es unterschiedlichste Benennungen für das Gas oder den Rauch, die aber nur vereinzelt auftraten (da ja eine große Gesamtheit die Bilder nicht beschriftet war!), als Beispiele seien genannt: „Nebel“, „Flüssigkeit“, „Chlorid“, „Säure“, „NaCl-Gas“, „kein Gas“ oder „Schleier“. Zwei weitere Auffälligkeiten sind, dass ca. 10 SchülerInnen in ihrer Bilderserie ein komplett schwarzes Bild

zeichneten⁵⁴, andere 10 schrieben „*Boom*“ bei der Reaktion hin, obwohl das Video zur Gänze tonlos war – die Reaktion verlief auch bei der Aufnahme im Labor geräuschlos.

Auch im Nachhinein kann das Video zum Experiment als gut und übersichtlich gestaltet gewertet werden, und gut die Hälfte der SchülerInnen können sie *zufriedenstellend* wiedergeben. Einige hatten wohl das Konzept einer chemischen Reaktion, der Stoffumwandlung, insofern noch nicht erkannt, dass *das Nachher ausgeblendet* wurde. In jeder Klasse gab es mindestens einE SchülerIn, bei dem/der das Produkt fehlte, seltsamerweise aber deutlich mehr in den *Post-Bindungsmodellen*-Klassen und aber keineN in der einen *Prä-Bindungsmodelle*-Klasse. Dies und die Tatsache der unterschiedlichen Benennung der Reagenzien deuten darauf hin, dass eine tatsächliche Aufführung des Experiments inklusive einer Vorstellung der Edukte sowie Produkte einen besseren Effekt gehabt hätten. Möglicherweise fußen die anschließenden Ergebnisse darauf, dass das Experiment nicht unmittelbar erfahrbar und damit nicht „real genug“ für die SchülerInnen war.

Frage 3: a.) „*Wie entsteht ein Ionengitter aus den Elementen (z.B. NaCl)? Erstelle eine oder mehrere Zeichnungen und erkläre in Worten! Wähle einen geeigneten Modellmaßstab!*“

Mit Frage 3a stürzt die allgemeine Beteiligung – mit Ausnahme von Frage 5a – auf unter 50 %. Lediglich 17 % der abgegebenen Antworten gelten als *zufriedenstellend*. Hier kamen zum ersten Mal gleich mehrere Probleme zusammen: Einerseits dachten wohl einige SchülerInnen, dass *die Frage mit 1c schon beantwortet sei* (manchmal gab es einen expliziten Verweis dahin, außerdem wurde bei 1c schon öfters ein Elektronenübertrag dargestellt). Zweitens wurde die Frage wohl nicht richtig verstanden, sodass viele SchülerInnen schon ein fertiges Gitter (auf der Spezifikationsebene der Gitter, Frage 1a) zeichneten. Einige andere SchülerInnen versuchten auch, auf der symbolischen Ebene (die sie eigentlich noch gar nicht kennen dürften und entsprechend unrichtig ausfiel) zu antworten. Weiters antworteten manche SchülerInnen rein verbal.

⁵⁴ Durch die rasche Änderung der Beleuchtungsstärke des Objektivs bei der Reaktion (Lichtentwicklung!) verdunkelte die Kamera die Aufnahme, sodass tatsächlich für eine Sekunde nur ein schwarzes Bild zu sehen war.

Eine der Hauptursachen für die gegebenen Antworten war wohl, dass Frage 1c von vielen wie eher beschrieben beantwortet bzw. nicht beantwortet wurde. Somit stellte sich ein zusätzliches Problem, da die SchülerInnen einen Modellmaßstab wählen hätten sollen, den sie offensichtlich nicht kannten. Abgesehen davon kommt hier einmal mehr zu Tage, wie weltfremd wissenschaftlich-chemische Konzepte für Lailnnen zu sein scheinen:⁵⁵ Viele Zeichnungen zeigten eine Mischung zwischen stofflicher Ebene und Teilchenebene insofern, dass zwar Natrium- und Chlorteilchen beteiligt sind, der Vorgang der Stoffumwandlung allerdings *von Feuer oder Ähnlichem verdeckt* wird; manchmal wurde auch nur ein sich aufeinander Zubewegen der Teilchen mit Pfeilen symbolisiert, woraus dann ein Gitter entstehe. Oftmals wurde auch nicht von den Elementen, sondern von ionisierten Spezies ausgegangen, die lediglich *ihre Plätze im Gitter finden müssen*. Wie bei den Antworten zu Frage 2 war auch hier eine Hürde bei der Auswertung, dass die Zeichnungen teilweise nicht beschriftet wurden – obwohl es in der Fragestellung stand.

An dieser Stelle lässt sich schon eine Folgerung ausformulieren, welche die Zusatzhypothese (siehe **Abschnitt 3.1.**) zumindest teilweise widerlegt:

Eine systematische Verknüpfung zwischen experimentellen Phänomenen und bildlichen Modellen am Beispiel der Synthese von Natriumchlorid aus den Elementen ist für die SchülerInnen zu einem Großteil nicht gelungen!

Eine ausführlichere Auseinandersetzung mit den Hypothesen folgt in **Abschnitt 5.3.**

Frage 3: b.) „Warum hält das Ionengitter zusammen, obwohl es kein ‚Elektronengas‘ gibt?“

Frage 3b wurde, überwiegend (ca. 60 %) *zufriedenstellend* beantwortet, allerdings bei einer Beteiligung von 46 %. Die meisten *nicht zufriedenstellenden* Antworten fielen wieder eher obskur aus: das Gitter halte zusammen, weil *die Gitterbausteine fest verankert sind* (diese Formulierung wurde im Lückentext von Frage 1b benutzt) oder *weil sie eine Edelgaskonfiguration besitzen*. Letzteres zeigt, dass die SchülerInnen eine Regel gelernt haben, wonach „Oktettzustand“ mit „stabil“ gleichzusetzen ist, allerdings offensichtlich *nicht nur in einem energetischen, sondern auch in einem stofflich-materiellen Kontext*; implizierend,

⁵⁵ Es wird ersichtlich, dass chemische Inhalte nicht „einfach nur“ gelernt werden können, sondern ein grundlegender „Konzeptwechsel“ (vgl. Duit 1996) erforderlich ist!

dass *es mehr als diese Regel nicht brauche*. Oftmals wurde auch über eine Bindung der Valenzelektronen argumentiert (*wie etwa bei der Elektronenpaarbindung*) oder gar über ein Elektronengas (5-mal) – dabei steht explizit in der Fragestellung, dass es kein Elektronengas beim Ionengitter gibt.

Frage 4: „*Warum werden beim Ionengittermodell die Anionen und Kationen unterschiedlich groß dargestellt?*“

Hier kamen die bereits im Vorfeld diskutierten Probleme (siehe **Abschnitt 3.5.**) mit der weit verbreiteten SchülerInnenvorstellung zum Vorschein, dass die *Schalen des Atommodells als materiell* gedacht werden. Allerdings auch in einem Ausmaß, das nicht zu erwarten war. Lediglich 7 SchülerInnen, durchschnittlich 1 pro Klasse, konnten explizit erkennen, warum das Kation kleiner als das Anion eingezeichnet wird. Die häufigsten Antworten waren, dass dies der *allgemeinen Unterscheidung* (16-mal) oder *Darstellung unterschiedlicher Ladungen* (ebenso 16-mal, zusammen ca. 50 % der *nicht zufriedenstellenden* Antworten) diene.

Man kann diese Zahlen insofern positiv interpretieren, dass anscheinend ein gewisses Modelldenken vorhanden ist: 8 SchülerInnen schrieben ohne weitere Ausführung, *dass es tatsächlich so sei*, die anderen zeigen implizit auf, dass *ein Modell nicht der Realität entsprechen* muss. Inhaltlich wurde die Frage also zwar überwiegend *nicht zufriedenstellend* beantwortet, allerdings kann auf einer Meta-Ebene durchaus von *zufriedenstellenden* Antworten gesprochen werden – die SchülerInnen erkannten, dass eine Modellierung auch teilweise pragmatisch erfolgt. Auch hier soll in Betracht gezogen werden, dass die Antworten zu dieser Frage möglicherweise anders ausgefallen wären, hätten mehr SchülerInnen Frage 1c *zufriedenstellend* beantworten können, da hier noch einmal deutlich werden würde, dass ein Natriumkation eine „leere äußere Schale“ besitzt.

Vielleicht sollte aber genau aus diesem Grund statt dem Begriff „Schalenmodell“ der Begriff „Energienstufenmodell“ benutzt werden.

Frage 5: a.) „*Was stellst du dir unter einem ‚Elektronengas‘ vor?*“

Dem Problembegriff des Elektronengases bei Frage 5a wurde auch schon in der didaktischen Vorbereitung (siehe **Abschnitt 3.5.**) einige Aufmerksamkeit geschenkt, und es zeigt sich nun,

dass hier ebenfalls die Befürchtungen durchaus berechtigt waren. Zwar sind die Vorstellungen der SchülerInnen nicht zwingend falsch: „herumbewegende“ bzw. „herumschwirrende“ oder „fliegende“ Elektronen werden oft genannt (insgesamt 17-mal, entspricht etwa 20 %), es dominierten aber Formulierungen wie „Gas aus Elektronen“, „Gas mit Elektronen“ usw. (46-mal, etwa 60 % der *nicht zufriedenstellenden* Antworten), was der eher angesprochenen semantischen De- und Rekonstruktion entspricht. Möglicherweise wissen die SchülerInnen aber auch, was das Elektronengas ist, und sie versuchen, es genauer zu beschreiben. Natürlich ist diese Formulierung („Gas aus Elektronen“) fachsprachlich falsch, denn dieses „Gas“ besteht nicht aus Atomen bzw. Molekülen und tritt außerdem nicht ohne den zugehörigen Feststoff, das Metall, auf. Dennoch muss hier ein Zugeständnis gemacht werden, denn das Elektronengas wird modellhaft als Fluid, bestehend aus einzelnen Teilchen, die sich mehr oder weniger frei im (abgegrenzten) Raum bewegen können, dargestellt. Auf diesem Anspruchs- und Sprachniveau eine Antwort zu geben ist nicht leicht, könnte aber im Sinne von „frei bewegliche Elektronen in einem Metallgitter.“ erfolgen. Das Problem bei den von den SchülerInnen gegebenen Antworten war allerdings, dass das Metallgitter, also das „Trägermedium“, nur selten erwähnt wurde und so die „eigentliche Funktion“ des Elektronengases, nämlich das Zusammenhalten der Kationen im Metallelement, vernachlässigt wurde. Alle außer den ersten zwei Klassen hatten die Metallbindung bereits im Regelunterricht behandelt, was darauf hinweist, dass es der konventionelle Unterricht nicht schafft, hier ein Konzept nahezulegen, das zudem durch ein solch problematisches Wort gekennzeichnet ist – möglicherweise genau deswegen. Ein weiteres Problem mit dem Begriff zeigt sich auch in manchen Beschriftungen der erstellten Bilderserien bei Frage 2: Oftmals werden Chlor oder der NaCl-Rauch als „Elektronen“ bezeichnet – ein weiteres Indiz dafür, dass „Elektronengas“ für die SchülerInnen kein hilfreicher und vor Allem kein differenzierender Begriff ist.

Frage 5: b.) „Was hat das mit elektrischer Leitfähigkeit zu tun? Glaubst du, dass ein Natriumchlorid-Kristall Strom leitet? Vergleiche die Modelle und begründe deine Antwort!“

Ausgehend von der vorangegangenen Frage galt es nun, in Frage 5b das Elektronengas bzw. die Verfügbarkeit von freien Ladungsträgern mit der elektrischen Leitfähigkeit in Verbindung zu bringen. 19 SchülerInnen (35 %) geben keine Begründung an und antworten entweder nur

mit „ja“, also dass ein Salzkristall elektrisch leitend sei, oder „nein“; erstere Antwort überwiegt allerdings. Ansonsten waren die meisten *nicht zufriedenstellenden* Antworten stofflich argumentiert: *NaCl leite, da Natrium alleine schon leite* (9 SchülerInnen, ca. 17 %), *eine Mischung mit einem anderen Stoff senke die Leitfähigkeit* mitunter lediglich oder etwa einfach nur, weil *Salze prinzipiell leiten* würden (7 %). Interessant ist auch die SchülerInnenvorstellung, dass *Na⁺-Kationen prinzipiell von einem Elektronengas umgeben seien*, sie kam aber lediglich 5-mal zum Vorschein. Die restlichen *nicht zufriedenstellenden* Antworten wurden meist nur 1-mal genannt und hatten sinngemäß zum Inhalt, dass *Chlor prinzipiell nicht leite*, dass *das Gitter zu eng sei um zu leiten*, *Halogene prinzipiell schon leiten* würden oder *ein Kristall kein Metall mehr sei*.

Es zeigt sich ein weiteres Mal, dass *stoffliches und modellhaftes Denken vermischt* werden. Bei keinem/keiner SchülerIn konnte direkt nachvollzogen werden, dass sie die Gittermodelle miteinander verglichen. Dies kommt wahrscheinlich daher, dass die Anweisung zu unspezifisch ausfiel – einige SchülerInnen fragten, was damit gemeint sei bzw. welche Modelle man miteinander vergleichen solle. Ansonsten kann gesagt werden, dass die SchülerInnen zwar nach einer wissenschaftlichen Argumentation suchen, vermutlich aber wieder am Begriff des Elektronengases scheitern. Andererseits könnte man sagen, dass sich die Antwort zu dieser Frage komplett aus dem Lückentext von 1b erschließen ließe, den doch ein Großteil der SchülerInnen *zufriedenstellend* ausfüllen konnte. Hierzu bedarf es allerdings der Information, dass elektrischer Strom aus bewegten Ladungsträgern besteht. Wie schon angesprochen, hätten sie diesen Sachverhalt im letztjährigen Physikunterricht laut Lehrplan gelernt haben müssen, offensichtlich konnte auf dieses „fachlich eingekapselte Wissen“ aber nicht zugegriffen werden. Zur (Re-)Konstruktion einer solchen Vorstellung im Kontext von Ionengittern und zur allgemeinen Stärkung der Gittermodell-Vorstellung böte es sich an, die Leitfähigkeit von einem Kristall mit jener der solvatisierten Form zu vergleichen.

Frage 6: *„Einige der härtesten Materialien sind ionische Verbindungen (z.B. Titancarbid, TiC; Wolframcarbid, WC;), während Metalle im Elementarzustand eher weich sind (Natrium, Blei, Gold, Kupfer, ...). Womit könnte das zu tun haben? Könnte man dies anhand unserer Modelle erklären?“*

Die abschließende fachliche Frage erwies sich als beinahe unlösbar. Lediglich 6 SchülerInnen, also gerade 3 % konnten eine *zufriedenstellende* Antwort abgeben. Dagegen argumentierten 14 SchülerInnen mit der *prinzipiell höheren Stabilität von Ionengittern gegenüber Metallgittern*, 9 über den *dichteren Aufbau von Ionengittern*, 3 sprechen von *einer intrinsischen Verhakung der Teilchen* oder allgemein, dass *die Reaktion das Material verhärte*.

Ein *dichterer Gitteraufbau* zeigt einen Erklärungsversuch am Modell, allerdings wird wieder nicht darauf eingegangen, warum genau es so sei; die Aussage ist zwar als reflektierter zu sehen als die Argumentation über die *dogmatisch-prinzipielle Stabilität des Verbindungstyps*, geht allerdings auch nicht weit genug. Es muss an dieser Stelle allerdings eingeräumt werden, dass diese Frage eigentlich auf die Sprödigkeit bzw. Duktilität abzielte, die Formulierung aber unbeabsichtigter Weise anders ausfiel. Gerade die Härte der genannten Salze zeichnet sich wohl eher dadurch aus, dass vierwertige Ionen das Gitter bilden und so die elektrostatische Anziehung um einiges stärker ist als etwa bei Natriumchlorid mit seinen einwertigen Ionen. Die mit einer Verschiebung der Gitterebene antizipierte Stoffeigenschaft wäre eigentlich die Sprödigkeit, also die Abstoßung gleichnamiger Ladungen beim Verschieben der Gitterebene. Außerdem ist der Härteunterschied zwischen Metallen und Salzen für SchülerInnen nicht unmittelbar bekannt, die Sprödigkeit allerdings schon – jeder hat bestimmt schon einmal zum Beispiel ein Metallwerkzeug einerseits und einen Porzellanteller andererseits zu Boden fallen sehen. Es muss also klar gesagt werden, dass diese Frage durch einen systematischen Fehler für SchülerInnen tatsächlich nahezu unmöglich war zu beantworten.

Frage 7: „*Welche Funktion hat ein Modell (Stadtplan, Atommodell)?*“

Mit Frage 7 stieg die Beteiligung zunächst wieder etwas an, 80 SchülerInnen (ca. 50 %) antworteten, teilweise mehrfach. Die Funktion von Modellen ist laut den meisten Meldungen *die Darstellung* bzw. *das Präsentieren von Sachverhalten* (29-mal), gefolgt von der *Veranschaulichung* (25-mal). 14-mal werden Modelle als *Vorstellungshilfen*, 13-mal als *Erklärungshilfen* gesehen. Die *Vereinfachung der Realität* wird 4-mal genannt. Einige Male wurde noch von einer *Orientierungshilfe* gesprochen – wahrscheinlich in Anlehnung an das angeführte Beispiel des Stadtplans. 3-mal wurde außerdem gesagt, dass *die Realität gezeigt werde*.

Frage 8: a.) *„Entspricht ein Modell der Realität? Wenn nein, wie weichen die gezeigten Atommodelle von der Realität ab?“*

Überdies weichen Modelle laut den Antworten zu Frage 8a hauptsächlich durch ihre *Größe* bzw. ihren Maßstab von der Realität ab (44-mal), gefolgt von den *Farben* mit 9 Nennungen. Vereinzelt wurden auch die *Vereinfachung*, das *Material*, die *Aufschrift* oder die *Dimensionalität* erwähnt (jeweils etwa 4-mal), auch 4-mal wurde sogar die zeitliche Komponente angesprochen: *Man könne nicht wissen, wo sich die Elektronen genau befänden*. Explizit schrieben 12 SchülerInnen, dass *Modelle nicht der Realität entsprechen* würden, 5 waren gegenteiliger Meinung. 9 schrieben, dass *Modelle oftmals zumindest nicht zu 100 % richtig* seien.

Frage 8: b.) *„Kennst du andere Atommodelle? Wie unterscheidet es/sie sich von Bohrs Atommodell?“*

Laut den Antworten zu 8b kennen die meisten SchülerInnen das Melonenmodell (14, 12 davon in einer Klasse), 4 das Orbitalmodell, 5 das Rutherfordsche Atommodell, 1 nennt das Thomsonsche Atommodell.

Es fällt auf, dass kaum SchülerInnen konkret ein Unterscheidungskriterium zum Bohrschen Atommodell nennt. Dass von 40 antwortenden SchülerInnen 14 explizit kein anderes Atommodell kennen, aber auch die geringe Streuung der Antworten über alle Klassen, spricht für die in **Abschnitt 2.3.** angesprochene Unterrepräsentiertheit der Phasen des „*Setzen*“ und „*Prüfen von Modellsituationen*“.

Frage 8: c.) *„Warum glaubst du, arbeiten wir heute trotzdem mit dem Atommodell von Niels Bohr?“*

Die *Einfachheit* wurde als Argument 10-mal genannt, die *Genauigkeit* 4-mal und „*praktisch*“ 5-mal; sonstige Gründe seien *der hohe Realitätsgrad* und die *Aktualität* (je 3-mal), oder dass es überhaupt „*das Beste*“ sei (6-mal). Dem gegenüber steht die *Richtigkeit* mit 9 Nennungen.

Es zeigt sich, dass nicht wenige eine (objektive) Richtigkeit in Modellen sehen, für die überwiegende Mehrheit steht allerdings die *Pragmatik im Vordergrund*. Außerdem kommt zum Vorschein, dass sich *an die Realität angenähert* wird.

Frage 9: „*Warum benutzt man in den Naturwissenschaften Modelle?*“

Die Antworten auf Frage 9 fielen ähnlich wie die auf Frage 7 aus: Modelle würden benutzt werden, um *Dinge darzustellen* (13), zu *verstehen* (10) und zu *veranschaulichen* (8) und um sich etwas *vorzustellen* (8) und sie zu *erklären* (8). Vereinzelt würden sie auch als *Experimentierhilfen*, *Grundlage für neue Ideen und Theorien*, allgemein zum *Forschen*, *Arbeiten* und *Rechnen* benötigt. 8-mal wurde hingegen auch geschrieben, dass so „*Sachen*“ sichtbar gemacht werden würden.

In diesem letzten Abschnitt zeigt sich, dass bei den SchülerInnen die Vielfalt der Modellnutzung erkannt wird. Die Antworten sind in den verschiedenen Klassen oftmals ähnlich, Klasse 4 (siehe **Abschnitt 4.4.**) hebt sich aber etwas davon ab: die Dichte an reflektierten Aussagen ist hoch – es handelt sich hierbei um jene Klasse, von welcher der Lehrer behauptet hat, er würde Metaunterricht über Modelle üblicherweise in seine Stunden implementieren. Allgemein gesehen gibt es jeweils am Ende der gehaltenen Sequenz nur wenige Indizien dafür, dass eine problematische, weit verbreitete Vorstellung zu Modellen besteht – zumindest bei den sich beteiligenden SchülerInnen. Vielmehr wurden in der Sequenz behandelte Konzepte aufgefasst und zur Beantwortung herangezogen – viele der Aussagen schienen beispielsweise durch die Analogie mit den Karten aus der ersten Phase gestützt zu sein.

Es kann also bis zu einem gewissen Grad durchaus gesagt werden:

***Die Sequenz hat dazu beigetragen, dass ein bewusstes Modelldenken
in den SchülerInnen etabliert werden konnte.***

Dies stellt eine teilweise Bestätigung der Hypothese (siehe **Abschnitt 3.1.**) dar. Eine ausführlichere Auseinandersetzung damit folgt in **Abschnitt 5.3.**

Ein prinzipielles Problem bei der Auswertung stellt sicherlich die teilweise niedrige Beteiligung der SchülerInnen dar, allerdings gibt es, wie etwa bei Frage 6 auch systematische Probleme der Untersuchung, die verbesserungswürdig sind. Darauf soll aber genauer in **Abschnitt 5.4.** eingegangen werden.

b.) Vergleich nach Soll-Lernständen

Die folgende Diskussion ist mit Vorsicht zu betrachten, da einerseits die Menge der SchülerInnen stark variiert und andererseits Unterricht auch maßgeblich von der jeweiligen Lehrperson abhängig ist. **Tabelle 13** soll einen Überblick verschaffen:

Gruppe	Soll-Wissensstand	Klassenzahl	Lehrpersonen im Regelunterricht	SchülerInnenzahl	Beteiligung		
					[1]	[2-6]	[7-9]
1	Prä-Bindungsmodelle	1	1	18	55 %	55 %	55 %
2	In-Bindungsmodelle	5	3 (+1)	139	90 %	55 %	45 %
3	Post-Bindungsmodelle	2	1	45	95 %	45 %	25 %

Tabelle 13: Charakteristika der Gruppen für die Auswertung nach Soll-Wissensstand. Man beachte, dass Klasse 2 (In-Bindungsmodelle) teilweise eine zusätzliche Lehrperson hat; sie ist in Klammer angeführt. Die mittlere Beteiligung in Prozent wurde exemplarisch gerundet. Die Beteiligung pro jeweiligem Item lässt sich aus den Abbildungen 5, 6 und 7 herauslesen (siehe Abschnitt 5.1.).

Eine Ähnlichkeit zwischen diesen drei Gruppen besteht bei ausgewählten Fragen: So gelingt das Ausfüllen der Lückentexte im ersten Abschnitt (1b und 1d) immer zu mindestens zwei Drittel; das Erstellen der makroskopischen Bilderserie (Frage 2) bereitet in allen drei Gruppen manchmal Probleme, und warum die Ionenspezies im Gitter unterschiedlich groß eingezeichnet werden (Frage 4), weiß man weder vor, während noch nach der Behandlung von Bindungsmodellen. Nachdem die Beteiligung beim Erstellen der Modelle (Fragen 1a und 1c) der Gruppe 1 so niedrig ausfiel, wurde ab diesem Zeitpunkt verstärkt betont, *was* in die Kästchen einzuzeichnen war. Die hohe Beteiligung der zweiten zwei Gruppen bei diesen Fragen war also eine Konsequenz aus der niedrigen Beteiligung der ersten Gruppe. Hier fällt dann auf, dass sich die SchülerInnen nach den Bindungsmodellen zwar deutlich leichter mit der ersten gefragten Spezifikationsebene (Frage 1a) taten, allerdings anteilmäßig schwerer mit der zweiten gefragten Spezifikationsebene (Frage 1c) als die Klassen, die sich thematisch gerade in den Bindungsmodellen befanden.

Es ist gut möglich, dass dies ein lehrerInnenspezifisches Problem ist, immerhin hatten beide Klassen der post-Bindungsmodelle-Gruppe dieselbe Lehrperson; die zwei Klassen waren auch während der Sequenz verhältnismäßig unruhig, wovor der Lehrer schon im Vorfeld warnte.

Möglicherweise sind die Schalenmodelle bei den SchülerInnen der Gruppe 2 aber auch präsenter als in der Gruppe 3, immerhin behandelten diese zum Zeitpunkt der Intervention die Energetik im Regelunterricht und befanden sich auf einer weitgehend mathematisch-symbolischen Sprachebene. Davon sollte aber eigentlich nicht ausgegangen werden, da das Schalenmodell im Chemieunterricht gerade im ersten Unterrichtsjahr doch omnipräsent ist bzw. sein sollte.

Im Übrigen zeichnet sich bei den Gruppen 2 und 3 eigentlich immer eine ähnliche Aufteilung der Bewertung der Antworten der SchülerInnen ab. Hier muss kritischerweise hinzugefügt werden, dass 3 der 5 Klassen von Gruppe 2 theoretisch alle drei Bindungstypen im Regelunterricht abgehandelt hatten – allerdings gab es bei einer Klasse eine zweiwöchige Pausierung des Chemieunterrichts auf Grund eines Ausfalls der Lehrperson und bei einer anderen Klasse hatten die SchülerInnen Plakate zu gestalten, wodurch die Bindungsmodelle lediglich von SchülerInnen für ihre KlassenkollegInnen aufbereitet wurden; fachlich fiel dies nicht sehr anspruchsvoll aus.

Unterschiede von den Gruppen 2 und 3 zu Gruppe 1 gibt es meist insofern, dass bei Letzterer anteilmäßig oftmals weniger Antworten *zufriedenstellend* ausfielen – die relative Beteiligung ist im Abschnitt 2 oftmals ähnlich verteilt. Auffällig ist allerdings, dass Gruppe 1 bei den Fragen 3b, 4 und 5a eine geringfügig höhere, relative Beteiligung aufweist. Entweder war die Motivation der SchülerInnen höher, oder sie hatten mehr Zeit für diese Items, die sie für den ersten Abschnitt nicht aufbrachten. Frage 3a konnten hingegen deutlich weniger SchülerInnen beantworten – wahrscheinlich ebenfalls deswegen, weil sie schon die Fragen 1a und 1c nicht bearbeiten konnten und so möglicherweise noch nie mit dem Thema „Elektronenübertrag“ in Berührung kamen.

Es scheint, als würde es fachlich-inhaltlich keinen großen Unterschied machen, ob die Sequenz *in* oder *nach* der regulären Behandlung der Bindungsmodellen durchgeführt wird – was entweder nicht für die Sequenz oder nicht für den konventionellen Regelunterricht spricht. Für eine analoge Generalisierung für SchülerInnen *vor* der regulären Behandlung der Bindungsmodelle fehlen repräsentative Daten, da es sich bei der vorliegenden Arbeit um lediglich eine Klasse mit einer durchschnittlichen Beteiligung von 50 % handelte, die überdies als Pilotversuch fungierte. Jedenfalls kann gesagt werden, dass zumindest qualitativ die Antworten von Gruppe 1 zu den Fragen im dritten Abschnitt ähnlich jener der Gruppen 2 und

3 ausfielen, was darauf hinweist, dass die meisten SchülerInnen aller Gruppen mit dieser Sequenz den ersten Kontakt zum bewussten Modelldenken gehabt haben und er nicht ganz unfruchtbar gewesen zu sein scheint.

5.3. Prüfung der Hypothese und Grenzen der Methode

Der Arbeit liegt folgende Hypothese zu Grunde:

„Die kleinschrittige Folge von Darstellungen verschiedener, sequenzieller Modellebenen vom großen Modellmaßstab zum kleinen führt zu einem inhaltlichen Lernerfolg und zu einem bewussten Modelldenken bei den SchülerInnen.“

In weiterer Folge soll dies bedeuten:

„Bewusstes Modelldenken führt zu einem besseren Verständnis von Ursachen für stoffeigenschaftliche Phänomene.“

Der inhaltliche Lernerfolg kann an der Erreichung der im Vorfeld definierten Lernziele zumindest qualitativ gemessen werden. Die Lernziele werden im Folgenden aufgezählt und diskutiert, wobei das erste und gewissermaßen das zweite für den inhaltlichen Lernerfolg formuliert wurden, das dritte für die Etablierung des bewussten Modelldenkens; die Zusatzhypothese fällt mit dem zweiten Lernziel zusammen:

- Die SchülerInnen sollen die drei grundlegenden Bindungstypen (kovalent, metallisch, ionisch) kennen und chemisch-modellhaft auf unterschiedlichen Modellebenen unterscheiden können.

Teilweise ist es den SchülerInnen gelungen, Differenzierungen zu vollziehen, allerdings sind hierfür die Fragen 3b und 4 ausschlaggebend, teilweise auch jene des Fragenkomplex [1]. Dabei soll das Hauptcharakteristikum der ionischen Bindung, die vollständige Übertragung des Elektrons von einer Spezies auf die andere und die damit einhergehende Ladung eines Ions verdeutlicht werden. Diese beiden Fragen wurden global gesehen so beantwortet, dass gesagt werden kann, eine modellhafte Unterscheidung der Bindungstypen konnte nicht gelernt werden.

- Die SchülerInnen sollen phänomenologische Eigenschaften (z.B. elektrische Leitfähigkeit, Sprödigkeit) der drei grundlegenden Bindungstypen durch Modelle erklären und umgekehrt von Modellen auf diese Eigenschaften schließen können.

Indikatorfragen dafür waren wohl 5b über die Leitfähigkeit und 6 über die Härte von Ionengittern. Diese Fragen wurden ebenfalls nur unzureichend beantwortet, sodass auch hier gesagt werden kann, dass dieses Lernziel nicht erreicht werden konnte. An dieser Stelle soll noch einmal auf die Diskussion zu Frage 6 im **Abschnitt 5.2.a.)** hingewiesen werden, wo der systematische Fehler der Fragestellung genauer beleuchtet wird.

- Die SchülerInnen sollen eine anfängliche Idee des *reflektierten Modellbegriffs* entwickeln

Zur Indikation dieses Lernziels dienten die Items 7-9. Die Formulierung „anfängliche Idee eines reflektierten Modellbegriffs“ ist sehr breit gefasst. Die Ergebnisse betrachtend, kann gesagt werden, dass eine so breite Fassung wahrscheinlich gar nicht nötig wäre. Die wenigsten Antworten bezeugten einen naiven Realismus. Allerdings muss hier auch wieder auf die niedrige Beteiligung hingewiesen werden, deren Ursache vorläufig nicht ausfindig gemacht werden kann. Es kann aber wohl behauptet werden, dass dieses Lernziel von den Bearbeitenden erreicht wurde.

Die Hypothese wurde also teilweise falsifiziert: Es war in dieser Art der Vollziehung nicht möglich, einen inhaltlichen Lernerfolg bei den SchülerInnen zu erzielen. Seltsamerweise war bei den Post-Bindungsmodell-Klassen ebenfalls keine Erfüllung der Lernziele festzustellen, obwohl sie insgesamt zweimal über Bindungsmodelle (im Regelunterricht plus durch die Intervention) unterrichtet wurden. Möglicherweise war auch die Aufgabenstellung der Sequenz nicht eingängig genug. Immerhin konnten aber die Anfänge für ein bewusstes Modelldenken gesetzt werden und dies unabhängig davon, auf welchem Wissensstand sich die SchülerInnen in Bezug auf die Bindungsmodelle befanden. Es wirkt, als könnte die Etablierung eines bewussten Modelldenkens auch schon früher erfolgen, allerdings müssten hier auch ontogenetische Aspekte berücksichtigt werden.

Die Erfüllung der Zusatzhypothese ist fraglich: Es kann nämlich nicht gesagt werden, dass der Kern der Hypothese überhaupt getroffen wurde, sodass sie eigentlich weder verifiziert noch falsifiziert wurde. Eine systematische Verknüpfung von stofflicher und modellhafter Welt wurde bei den SchülerInnen durch diese Sequenz nicht erreicht, eventuell ermöglicht ein bewusstes Modelldenken aber auch erst ab einem gewissen Grad diese ebengenannte Verknüpfung und dieser Grad wurde vielleicht noch nicht erreicht. Hierzu sollte es auf jeden Fall noch weitere Untersuchungen geben, eventuell an SchülerInnen, deren bewusstes Modelldenken stärker ausgeprägt ist. Beispielsweise zeigen sich Tendenzen in diese Richtung bei der Klasse 4 (siehe **Abschnitt 4.4.**): 7 der 11 globalen *zufriedenstellenden* Antworten zu Frage 5b (Leitfähigkeit von Salzen) kommen aus dieser Klasse!

Eine Zusammenfassung findet sich in **Tabelle 14**.

	Haupthypothese		Nebenhypothese	Gemessen an den Fragen
	Inhaltlicher Lernerfolg	Bewusstes Modelldenken	Verständnis für Stoffeigenschaften	
Lernziel 1	X	x	-	3b & 4 (& [1])
Lernziel 2	x	X	X	5b & 6
Lernziel 3	-	X	-	7-9
Hypothese verifiziert	-	X	-	
Hypothese falsifiziert	X	-	x	

Tabelle 14: Zusammenfassung der Hypothesenprüfung. Einerseits wird aufgezeigt, welche Items und Lernziele zur Bewertung der Hypothese herangezogen wurden, andererseits wird gezeigt, ob die Hypothesen schlussendlich erfüllt wurden. Ein großes „X“ steht für eine überwiegende, ein kleines „x“ für eine nur teilweise Übereinstimmung.

5.4. Kritik und Ausblick

Der (den Ausgangspunkt betrachtend) eher negative Ausgang dieser Untersuchung liegt wahrscheinlich nicht an der Methode per se, sondern mehr an der Umsetzung und der darauffolgenden Lernzielkontrolle. Zum einen muss gesagt werden, dass die Zeit ein maßgeblicher Faktor ist.⁵⁶ Stünde mehr Zeit zur Verfügung, könnte das Experiment im Unterricht vor Ort durchgeführt werden, das Infosheet mit all seinen Informationshäppchen genauer betrachtet und vor Allem das Arbeitsblatt gemeinsam besprochen werden. Außerdem nimmt die Menge an Fragen auch einiges an Zeit zur Beantwortung in Anspruch.

Auch aus systematischer Sicht gab es Verbesserungswürdigkeiten. So ist beispielsweise die Phase der Präsentation der Phänomene ein wenig inkonsistent gestaltet: Von Natrium werden gleich drei stoffliche Eigenschaften gezeigt (Weichheit, elektrische Leitfähigkeit, metallischer Glanz), während Chlor lediglich als grün-gelber, gasförmiger Stoff, ohne Bezug zu den Eigenschaften von Natrium, präsentiert wird. Vom entstehenden Natriumchlorid wird behauptet, es sei hart und weiß, wobei ersteres nie zum Erleben der SchülerInnen kommt. Es ist zu hinterfragen, ob der kognitive Konflikt über die Reaktion eines weichen, glänzenden, leitfähigen Feststoffs und einem grün-gelben Gas zu einem harten, weißen, nichtleitenden Feststoffs überhaupt ausgelöst wurde. Möglicherweise ist die überaus niedrige Beteiligung auch dadurch zu erklären, dass die SchülerInnen keinen Sinn darin sahen, die Phänomene auf submikroskopischer Ebene zu erklären und sie einfach keine Lust auf eine sinnlose „Beschäftigungstherapie“ hatten.⁵⁷

Daneben gab es auch systematische Fehler beim Arbeitsblatt. Hier rücken die schon eher diskutierten Probleme jener SchülerInnen in den Vordergrund, die Frage 1c nicht beantworten konnten und ihnen dies im weiteren Verlauf Schwierigkeiten bereitete oder etwa die grundsätzlich unpassend gestellte Frage 6. Dennoch kann erwartet werden, dass mit einer, höchstens zwei zusätzlichen Stunden und kleineren Überarbeitungen der Unterlagen ein

⁵⁶ Aus den Gesprächen mit den LehrerInnen kam hervor, dass es höchst unkonventionell sei, erstens die drei Bindungsmodelle parallel zu unterrichten und zweitens dies qualitativ hochwertig innerhalb einer Unterrichtsstunde zu vollziehen – sie würden sich dafür drei bis fünf Unterrichtsstunden Zeit nehmen und die Bindungstypen nacheinander behandeln.

⁵⁷ Stichwort „Sinnstiftendes Lernen“, vgl. (Parchmann, Demuth, Ralle, Paschmann, & Huntemann 2001)

deutlich besseres Ergebnis mit dieser Form der *Kleinschrittigkeit* erzielt werden könnte, als der konventionelle Unterricht es offensichtlich hervorbringt.

Die Untersuchung deckt zudem eine gewisse Ideenvielfalt der SchülerInnen auf. Sie antworten oftmals zwar *nicht zufriedenstellend*, jedoch ist ersichtlich, dass sie sich bemühen, Antworten zu geben. Dies gibt gewissermaßen den Blick frei auf Verstehensschwierigkeiten der SchülerInnen, die meist mit dem Satz „Chemie ist halt ein schwieriges Fach“ abgetan werden. Es folgen Änderungsvorschläge der getesteten Urversion.

a.) Phase I: Ankommen im Kontext

Für den erfüllten Teil der Hypothese war wohl zu einem großen Teil der theoretische Input in Phase I verantwortlich (siehe **Abschnitt 3.2.**), der ein Vortrag mit hoher SchülerInnenbeteiligung und -bezug war. Dieser Teil wurde im Laufe der Durchführung der Untersuchung schon teilweise abgeändert und kann eigentlich so beibehalten werden – mit Ausnahme der Weltenprojektion von Hajime Narukawa: Sie sollte wieder aufgenommen werden, da sie erstens verdeutlicht, dass Modelle nicht *richtig* oder *wahr* sind, nur weil sie häufig genutzt werden (z.B. eine Projektion nach Gerhard Mercator) und da sie zweitens zeigt, dass auch in der heutigen Zeit, wo der Mensch scheinbar schon alles weiß, noch neue Erkenntnisse bei vermeintlich längst abgeschlossenen Sachverhalten gewonnen werden können.

Fraglich ist, ob die Einführung des Begriffs „Modellmaßstab“ förderlich war: Möglicherweise fühlten sich einige SchülerInnen verunsichert und antworteten deshalb nicht auf die Fragen. Allerdings versuchten mindestens 55 % der SchülerInnen in beiden Fällen (Frage 2 und 3a) zumindest eine Antwort zu geben, und es ist nicht eindeutig, ob sich SchülerInnen tatsächlich von dieser Formulierung beirren ließen. Interessant sind in diesem Zusammenhang auch etwa jene 10 SchülerInnen (aus drei unterschiedlichen Klassen), die bei ihren Zeichnungen einen konkreten Modellmaßstab „erfanden“: Sie schrieben neben ihre Zeichnungen zum Beispiel „*Maßstab 1:10.000*“ und bei der nächsten Spezifikationsebene „*Maßstab 1:1.000.000*“. Dieser Sachverhalt sollte noch genauer beobachtet werden. Der Begriff sollte zumindest vorerst beibehalten werden – es ist ein einfacheres und umfassenderes Wort für „Abstraktionsebene“ und „Spezifikationsebene“ und in gewisser Maßen auch schon aus dem Alltag bekannt – etwa

vom Modellflugzeugbau. Der einzige Unterschied ist, dass das Wort im Alltag einer Maßstabstreue gehorcht und in der Verwendung in der Sequenz nicht, was aber in erster Linie nicht zu Problemen führen sollte.

b.) Phase II: Präsentation der Phänomene

Es stellt sich die Frage, ob die SchülerInnen das Experiment auf Video wirklich mit dem Arbeitsblatt in Verbindung brachten. Wenn es um die Präsentation der Phänomene geht, sollte das Experiment wahrscheinlich, wie schon öfter erwähnt, vor Ort durchgeführt werden. Dazu bedarf es aber eventuell einer Änderung des Versuchsaufbaus, da für das Befüllen eines Kolbens ein nicht zu unterschätzendes Volumen an Chlorgas benötigt wird – es kommt am besten direkt aus der Gasflasche oder einem Kippschen Apparat. Sollten diese Utensilien nicht zur Verfügung stehen, bietet sich doch der zuvor in **Abschnitt 3.3.** erörterte, eher „unstatische“ Versuchsaufbau an, bei dem die Chlorsynthese etwa nach Obendrauf (2004) erfolgt. Ein Argument gegen die Aufführung einer Videoaufnahme des Experiments wäre die Authentizität, also die Tatsache, dass die SchülerInnen den Versuch nicht unmittelbar in der Situation erleben und interagieren können (z.B. Fragen stellen) – sie nehmen keine mitgestaltende Rolle ein, sondern sind passive ZuseherInnen, in gewisser Maßen vom Experiment ausgeschlossen. Zudem ließen sich dadurch die Stoffeigenschaften womöglich besser demonstrieren – wenn die SchülerInnen beispielsweise das Brotmesser, mit dem der Natriumblock geteilt wird, vorher selber betrachten können; darüber hinaus ist das entstehende Natriumchlorid vor Ort besser untersuchbar als in einem Video. Außerdem wäre es, die Absicht der Untersuchung betrachtend, schlüssiger, wenn nicht von einem Film⁵⁸, sondern von der realen Situation ausgegangen werden würde. Dennoch hat ein Video auch im Regelunterricht ungemeine Vorteile, wie beispielsweise die Konservierung der Situation: beim zukunftsweisenden E-Learning könnte die Videodatei den SchülerInnen zur Verfügung gestellt werden, sodass sie es eventuell mehrere Male oder gar zu anderen Zeitpunkten anschauen könnten, um etwa Vergleiche mit anderen endothermen Reaktionen anzustellen; möglicherweise besteht sogar Interesse, es SchulfreundInnen aus Parallelklassen zu zeigen, was der in **Abschnitt 1.4.** erörterten Thematik entgegenkommen würde. Eine Kombination

⁵⁸ Ein Film ist, laut Definition aus **Abschnitt 2.2.**, eigentlich auch nur ein Modell!

von beidem, also die Videografierung der Aufführung des Versuchs in der Klasse, wäre aus LernerInnenperspektive vermutlich ideal.

Fraglich ist, ob die im vorangegangenen Abschnitt diskutierte Inkonsistenz der Phase reaktions- bzw. reaktantenbedingt ist. Eine Testung auf die elektrische Leitfähigkeit von Chlorgas lässt sich eben nicht so ohne weiteres demonstrieren. So bleibt einer Lehrperson im Chemieunterricht fast nur eine Analogie mit der Leitfähigkeit von Luft zur „Demonstration“ der Leitfähigkeit von Gase allgemein übrig. Aber zumindest diese sollte explizit angesprochen werden. Betrachtet man die Antworten auf die Frage nach der Leitfähigkeit von Salzkristallen (Frage 5b), so fielen die stofflich bezogenen oftmals so aus, dass ein *Salzkristall natürlich leite, weil er zum Teil aus Metallatomen bestehe und Metalle ja leiten* würden – nur vergleichsweise wenige SchülerInnen argumentierten umgekehrt, nämlich *dass er nicht leitfähig sein könne, weil Chlorid schon nicht leite*.

Eine Härte von Gasen zu demonstrieren ist im Übrigen wohl schon ein Widerspruch in sich.

Allerdings könnten dieser Phase der „Präsentation der Phänomene“ jedoch die in Frage 6 antizipierten Stoffeigenschaften der Sprödigkeit und Duktilität hinzugefügt werden: Dazu könnte mit einem Hammer einerseits auf ein Stück Metall, etwa den Gabelschlüssel zum Öffnen und Schließen von Gasflaschen und andererseits auf einen Salzkristall eingeschlagen werden. Eventuell reicht wohl auch ein Gedankenexperiment, der Alltagsbezug dürfte für SchülerInnen groß genug sein.

c.) Phase III: Arbeitsphase

Das Arbeitsblatt muss dahingehend verändert werden, dass Frage 1c beantwortet werden kann – sie ist das Fundament für einen Großteil der restlichen Aufgaben. Die Überlegung ist, die einzelnen Atome auf *Elementarteilchenebene* auszusparen und stattdessen nach den gebundenen Atomen eine andere, *transparentere* (vgl. **Abschnitt 2.3.**) Ebene zu erstellen, in der die Kerne der Atome homogen und die inneren Elektronen ausgeblendet werden würden. Dies würde aber der strengen Linearität und damit der *Kleinschrittigkeit* schaden, was gerade im Anfangsunterricht *nicht* zu verfolgen ist! Natürlich stellt sich aber die Frage, ob die Kerne und die inneren Elektronen der Bildmodelle als hilfreich oder als störend empfunden wurden. Sie stellen in der Tat eine gewisse Redundanz dar, und die SchülerInnen machten beim

Beantworten von Frage 1c oftmals Fehler in dem Sinne, dass sie eine falsche Gesamtelektronenzahl darstellten. Darüber hinaus wurde gerade bei Frage 4 über die unterschiedlich große Darstellung der Ionen oftmals über die Masse argumentiert, was darauf schließen lässt, dass die Darstellung möglicherweise eine falsche Fährte legte. Ein Größenunterschied der Ionen wird andererseits aber erst richtig gut ersichtlich, wenn gesehen wird, dass die Atome im Elementarzustand gleich viele Schalen haben, nach der Ionisierung allerdings beim Natriumatom eine wegfällt!

Somit bliebe der Kern als Möglichkeit zur Abänderung übrig: hier wurde in der Urversion schon eine Reduktion durchgeführt, sodass die Kernteilchen nicht mehr einzelnen, sondern symbolisiert durch Zahlen dargestellt wurden und damit die Unterscheidung der Spezies auf einen Blick ermöglicht wurde (ohne die Elektronen abzählen zu müssen). Diese Darstellungsform wird ohnehin in gängigen Schulbüchern benutzt, sodass sie die SchülerInnen kennen sollten. Zusammenfassend kann gesagt werden: Bei der Darstellung des Atomkerns könnte man auf die Darstellung der einzelnen Kernteilchen verzichten und stattdessen die Anzahl der Protonen und Neutronen symbolisch hinschreiben.

Es scheint aber, dass die sequenzielle Darstellung für die SchülerInnen schon ansprechend sein könnte, es wurde ihnen aber keine Zeit gelassen, sich mit der Vorlage ausgiebig genug zu beschäftigen und die dahinterstehende Logik zu verstehen – in einem Setting, in dem mehr Zeit zur Verfügung stünde und so die Infosheets, das Arbeitsblatt sowie die Arbeitsaufträge gemeinsam und genau durchgegangen werden, würde sich dieses Problem eventuell von selbst lösen. Dabei würden den SchülerInnen nicht nur die Logik des Aufbaus näher gebracht werden, sie würden auch einen Überblick erhalten, sodass die Fülle der Aufgabenstellungen nicht überwältigend wirkt.

d.) Evaluationstechnik

Außerdem sollten die Fragestellungen mancher Items etwas abgeändert werden, um sie eingängiger für die SchülerInnen zu machen.

Frage 2: „Bilderserie“ ist ein den SchülerInnen offensichtlich unbekanntes Wort, so wurde während der Intervention öfter gefragt, was das sei. Hier wären wohl Begriffe wie „Filmleiste“, „Comic“ oder „Fotostory“ geeigneter. Außerdem gab es einige SchülerInnen, die zusätzlich

(dem Wortlaut nach berechtigterweise) eine Bilderserie von der Leitfähigkeitsmessung von Natrium erstellten; entsprechend sollte wohl in der Angabe stehen, dass nicht vom „Experiment“ eine Bilderserie erstellt werden soll, sondern von der „Reaktion“. Außerdem könnte die Formulierung „Wähle einen geeigneten Modellmaßstab“ expliziter erfolgen. Idealerweise werden die verschiedenen Spezifikationsebenen auf einem extra Antwortenblatt für die Fragen 2 und 3a sowie die anschließende Verbalisierung und Symbolisierung dargestellt, wie etwa in der Referenzversion, die nach der Stunde an die SchülerInnen ausgeteilt wurde.

Frage 3a: Diese Frage sollte wohl als Ganzes geändert werden. Es ist irreführend, wenn dort steht, man solle zeigen, wie ein Ionengitter entsteht – vielmehr sollte nach der Entstehung einer ionischen Verbindung, oder gleich konkret Natriumchlorid, gefragt werden.

Frage 5b: Es stellte sich heraus, dass, wenn mehrere Fragen pro Item gestellt werden, selten alle beantwortet werden. Entsprechend würde es sich anbieten, in Frage 5b zu fragen, was das Elektronengas mit der elektrischen Leitfähigkeit zu tun hat und eine neue Frage 5c zu schaffen, bei der beantwortet werden soll, ob und warum Natriumchlorid elektrischen Strom leitet. Die Zusatzinformation sollte beinhalten, dass nicht die *Modelle*, sondern die *Gittermodelle* verglichen werden sollen – einige SchülerInnen taten in dieser Hinsicht ihre Verwirrung kund.

Frage 6: Zur grundsätzlich missglückten Fragenstellung wurde schon einiges gesagt. Der in **Abschnitt 3.5.** eigentlich angedachte Ansatz wurde nie angewandt – möglicherweise sollte man den SchülerInnen insofern entgegenkommen, dass die Frage nicht verbal, sondern nonverbal, mit ebendieser Deformierung des Gitters als Zeichnung gestellt wird. Im Übrigen wirft dieser Vorschlag überhaupt die Frage auf, wie legitim es ist, in einem sprachsensiblen Unterricht nonverbales Verständnis durch verbale Aufgabenstellungen zu testen, immerhin soll die Fachsprache zu diesem Zeitpunkt eine eher untergeordnete Rolle spielen! Andererseits kann eine Bildungssprache nur im Kontakt mit der Fachsprache, in erster Instanz beim Lesen, entstehen (siehe **Abschnitt 1.3.**).

Es stellte sich heraus, dass die Überschrift „Generelle Überlegungen“ beim Wechsel vom inhaltlichen zum metaunterrichtlichen Teil eine Barriere darstellte. Ähnlich bei Bildunterschriften wurde öfters gefragt, ob man das auch lesen sollte. Hier kommt wieder das

Zeitargument zu tragen, nach dem es möglich ist, solche Unklarheiten schon im Vorfeld beim gemeinsamen Durchgehen zu klären.

Außerdem könnte die Bewertungsskala überdacht werden. Die Einteilung in drei Wertungen (*zufriedenstellend*, *nicht zufriedenstellend* und *nicht beantwortet*) erwies sich als etwas ungünstig, da die SchülerInnen oftmals unterschiedliche Stufen von *zufriedenstellend* erfüllten. Einerseits wären die Ergebnisse breiter aufgefächert, wodurch ein differenzierender Überblick entstünde, andererseits wäre die Analyse einfacher, da so die Zuordnungen leichter fallen würden. Es böte sich an, eine Skala mit fünf Stufen (eine davon *nicht beantwortet*) heranzuziehen, um auch die *Tendenz zur Mitte* (vgl. Schnell, Hill & Esser 1999) zu vermeiden. Darüber hinaus sollte überlegt werden, Antworten auf die Fragen 7-9 auch mit *nicht zufriedenstellend* bewerten zu können. Die ursprüngliche Argumentation war, dass nach der Meinung der SchülerInnen gefragt werde, und eine solche an sich nicht *nicht zufriedenstellend* sein könne. Allerdings würde auch durch diese Maßnahme die Analyse leichter und übersichtlicher ausfallen.

Abschließend soll noch gesagt sein, dass es für die Sequenz eigentlich wichtig gewesen wäre, noch die symbolische Ebene einzuführen. Es wäre mathematisch ein passender Abschluss gewesen, der allerdings auch einen Ausblick auf ein folgendes Kapitel, etwa jenes der chemischen Reaktion bzw. der chemischen Reaktionsgleichung gegeben hätte. Wie schon erwähnt, wurde darauf aus zeitlichen Gründen verzichtet. Dies sollte bei Möglichkeit aber unterlassen werden, vor Allem vor dem Hintergrund der in **Abschnitt 2.4.** besprochenen Aspekte!

5.5. Didaktische Erkenntnisse

Im Laufe der Analyse kam es zu einigen Erkenntnissen, die an dieser Stelle aufgeführt und diskutiert werden sollen. Es handelt sich zumeist um „Kleinigkeiten“ – man könnte aber auch von „Elementarem“ sprechen!

Der hier untersuchte Gegenstand, die Schaffung einer systematischen Verknüpfung von stofflicher und Teilchenebene, deckte eine gewisse Tendenz auf: SchülerInnen schreiben einzelnen Teilchen stofflichen Charakter zu, sie vermischen beide Ebenen. So besteht ein

stoffliches Metall zwar aus Metallatomen, die wiederum den Metallelementen zugehörig sind, was fachlich bis zu dieser Stelle nicht problematisch ist. Allerdings steckt in diesen Formulierungen großes Gefahrenpotenzial: Metallatome könnten aus SchülerInnenperspektive demnach nicht nur in ihrer Gesamtheit, sondern *auch isoliert typisch metallische Eigenschaften tragen!* Und so wird einem *Salz plötzlich metallischer Charakter zugeschrieben* (etwa die elektrische Leitfähigkeit), da es in dieser Vorstellung *zu einem Teil aus Metallelementen, wie im Beispiel von Natriumchlorid sogar zur Hälfte, besteht!* Diese Klassifizierung in Metall- und Nichtmetallelemente scheint der Untersuchung nach zumindest für manche AnfängerInnen irreführend zu sein und es stellt sich die Frage, ob ihr einziger Vorteil in diesem Sinne – die Einteilung des Periodensystems – es Wert ist, solche SchülerInnenvorstellungen zu riskieren. Gerade die anfänglichen Charakterisierungen des Verhaltens dieser Teilchen lassen sich gut etwa über die Elektronegativität erklären.

Außerdem wurde bei den didaktischen Überlegungen im Vorfeld der Untersuchung festgelegt, dass der Begriff „Kation“ allein den Salzen vorbehalten sein soll und erst später bei den Metallgittern zum Einsatz kommen sollte – um eine Brücke zu schlagen. Zwar ist die Bezeichnung „positive Atomrümpfe“ im Zusammenhang mit Metallgittern beispielsweise in Schulbüchern wie gezeigt nicht unüblich. Allerdings ist es nicht zielführend, für das gleiche Phänomen unterschiedliche Bezeichnungen einzuführen, wobei zudem eine („positiv geladene Atomrümpfe“) sprachlich schon sehr anspruchsvoll ist! Man muss sich nur überlegen: Ein Ionengitter hält zusammen, weil sich die Kationen und Anionen gegenseitig anziehen. Diese Binarität klingt einfach und eingängig, die Teilchen (Ionen) bekommen einfach einen neuen Namen, weil sich ihr Zustand (Ladung) verändert hat. Jetzt müsste es doch einen kognitiven Konflikt auslösen, wenn beim Metall ebenfalls von Kationen die Rede wäre: *Warum sollten Kationen alleine ein Gitter bilden? Und warum und wie halten sie zusammen, sie müssten sich doch abstoßen? Wie kommt es überhaupt zu diesen Kationen, wenn kein anderes Atom da ist, das die Elektronen aufnehmen könnte? Und wenn das Atom dennoch ein Elektron abgibt und zum Kation wird, was passiert dann mit dem Elektron?* Es lässt sich dann auch mit der Oktettregel bzw. der angestrebten Edelgaskonfiguration argumentieren, und auf einmal ist das Elektronengas nicht mehr nur tolerierte Nebenerscheinung des Metallgitters, sondern hat seinen Ursprung direkt in den Teilchen(-eigenschaften) selbst, welche somit (in-)direkt die stofflichen Eigenschaften bestimmen!

Neben fachlichen kam es auch zu allgemeinen Erkenntnissen. Zum Beispiel kommt bei der Betrachtung der Beteiligung der Gedanke auf, dass die SchülerInnen möglicherweise keinerlei Motivation verspürten, die Aufgabenstellungen zu erfüllen. Es wurde auch nicht wirklich ein Sinn geschildert, warum es wichtig oder nützlich ist, sich stoffliche Eigenschaften auf einer submikroskopischen Ebene erklären zu können. Dieses Dilemma könnte unter Umständen gelöst werden, indem eine klar definierte Problemstellung gegeben wird, an deren Lösung die SchülerInnen direkt interessiert sind und sie sich somit daran beteiligen *wollen*. Werkzeuge zur Unterrichtsplanung in diese Richtung gibt es, beispielsweise sei jenes der „5 E“ (BSCS online⁵⁹) genannt.

Eine weitere Erkenntnis, welche eine große Problematik am Schulunterricht generell aufzeigt, wurde durch die prinzipielle Herangehensweise deutlich: Den SchülerInnen wurde von der ersten Stunde an gesagt, dass es kein *richtig* oder *falsch* gebe; es sei nicht interessant, was in ihren Heften oder Büchern stünde, sondern lediglich *ihre* Vorstellungen und Ausdrücke. Gehört wurde das vermutlich schon, verstanden allerdings nicht. Zu viele SchülerInnen fragten im Laufe der Intervention, ob etwas, das sie hingeschrieben hatten, richtig gewesen sei. Ein großes Hindernis bei der Motivation ist die Angst, etwas falsch zu machen, und jene scheint in den SchülerInnen schon zu einem gewissen Grad ausgeprägt zu sein. Dies lässt sich als Produkt einer Umwelt interpretieren, in der es verpönt ist, Fehler zu machen, in der nur zählt, was richtig gemacht wurde. LehrerInnen, vor Allem angehende, sollten diese Kultur nicht weitertragen, sondern den SchülerInnen klar machen, dass nicht die fachliche Richtigkeit, sondern der Weg dahin zählt. Fehler zu machen und in weiterer Folge daraus zu lernen ist im Eigentlichen das, woran der Mensch wächst (vgl. Weinert 1999; Oser, Hascher & Spychiger, 1999).

⁵⁹ <https://bscs.org/bscs-5e-instructional-model> (letzter Zugriff am: 25.6.2017)

6. Zusammenfassung

Es wurde eine einstündige Unterrichtssequenz erstellt, die bei SchülerInnen zur systematischen Verknüpfung der phänomenologisch-erfahrbaren Welt mit einer modellhaft-denkbaren Welt („Zwiedenken“) führen sollte. Die SchülerInnen sollten dabei ein bewusstes Modelldenken entwickeln und sich dessen insofern bedienen können, dass sie Stoffeigenschaften wie etwa die Sprödigkeit oder die elektrische Leitfähigkeit von Natriumchlorid herleiten können. Dazu wurden Informations- und Arbeitsblätter für den Unterricht erstellt, die von einer phänomenologischen Darstellungsebene ausgehen und „kleinschrittig“ auf eine höhere Spezifikation der Teilchenebene voranschreiten. Evaluiert wurde die Methode an Hand der von den SchülerInnen ausgefüllten Arbeitsblätter. Der Anforderungsbereich spannte sich vom Ausfüllen von Lückentexten über die Erstellung eigener Modelle nach Vorlage hin zur Beantwortung grundlegender, die Ionenbindung betreffende Fragen und der Ableitung stoffeigenschaftlicher Sachverhalte aus den erstellten Modellen.

Die Intervention erfolgte in den achten Schulstufen verschiedener (Real-)Gymnasien im städtischen Bereich. Zwar blieben die systematische Verknüpfung der makroskopischen Ebene mit der submikroskopischen und damit die Aneignung inhaltlicher Kompetenzen unerreicht, allerdings konnten anfängliche Erfolge im Sinne des bewussten Modelldenkens erzielt werden. Darüber hinaus konnten neue SchülerInnenvorstellungen und Präkonzepte aufgezeigt werden, die sicherlich eine Relevanz für die weitere didaktische Forschung darstellen.

Die Grenzen in der Untersuchung lagen wahrscheinlich nicht in der Methodik, sondern in der Umsetzung, in der beispielsweise der zeitliche Faktor zu knapp bemessen war.

I. Literaturverzeichnis

Ammon, U. (1995). *Die deutsche Sprache in Deutschland, Österreich und der Schweiz – Das Problem der nationalen Varietäten* (S. 117-228). Berlin: De Gruyter.

Anton, M. A. (2005). Guter Chemieunterricht in schlechten Zeiten. *Plus Lucis* 1-2/2005, 16-22, <https://www.univie.ac.at/pluslucis/PlusLucis/051/artikel07.pdf> (letzter Zugriff: 25.6.2017).

Anton, M. A. (2010). „Wie heißt das auf Chemisch?“ – Sprachebenen der Kommunikation im und nach dem Chemieunterricht. In: G. Fenkart et al. (Hrsg.): *Sprache, Mathematik und Naturwissenschaften* (S. 64-86). Innsbruck: StudienVerlag.

Anton, M. A. (2016). Professionalität zur Weiterentwicklung von Chemieunterricht. Lehren und Lernen in Chemie von der Effektivität zur Effizienz. Von der Mathematik der Begabung zur Didaktik der Förderung. München: Manuskript.

Ashcroft, N.W. & Mermin, N. D. (2005). *Festkörperphysik*, 2. Auflage, S. 81-105. München: Oldenburger Wissenschaftsverlag GmbH.

bifie (2011). Bildungsstandards. *Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation und Entwicklung. Bildungsstandards*. <https://www.bifie.at/bildungsstandards> (letzter Zugriff am: 25.6.2017).

bifie (2015). PISA 2015: Grundkompetenzen am Ende der Pflichtschulzeit im internationalen Vergleich. *Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation und Entwicklung. Bildungsstandards*. https://www.bifie.at/system/files/buch/pdf/PISA15_Erstbericht_Gesamt_final_web.pdf (letzter Zugriff am: 25.6.2017).

Bindernagel, J. A., Eilks, I. (2008). Modelle und Modelldenken im Chemieunterricht und ein Einblick in das Verständnis von erfahrenen Chemielehrkräften: *CHEMKON* 15, 181-186 DOI: 10.1002/ckon.200810081.

Blanchard, M. R., Southerland S. A., Osborne J.W., Sampson V. D., Annetta, L. A., Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability? – A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education* 94(4), 577-764.

bmb (2016). Lehrpläne der Allgemein bildenden Schulen. *Bundesministerium für Bildung*. https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_abs.html (letzter Zugriff am: 25.6.2017).

BSCS (online). The 5E Instructional Model. *Biological Sciences Curriculum Study*. <http://www.bsccs.org> (letzter Zugriff: 25.6.2017).

Buchholz R. & Krücken, W. (1994): *Die Mercator-Projektion. Zu Ehren von Gerhard Mercator (1512–1594)*. Becker: Velten.

- Buddensiek, W., Kaiser, F. J. & Kaminski, H. (1980). Grundprobleme des Modelldenken im sozio-ökonomischen Lernbereich. In Stachowiak, H. (Hrsg.): *Modelle und Modelldenken im Unterricht* (S. 92-122). Bad Heilbrunn/Obb: Verlag Julius Klinkhardt.
- Cathomas, R. (2007): Neue Tendenzen der Fremdsprachendidaktik – Das Ende der kommunikativen Wende? *Beiträge zur Lehrerbildung* 25(2), 180-191, http://www.pedocs.de/frontdoor.php?source_opus=13643&la=de (letzter Zugriff am: 25.6.2017).
- Christen, H. R. (1990). Chemieunterricht: Eine praxisorientierte Didaktik. Basel: Springer AG
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-334.
- van Driel, J. H. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education* 21, 1141-1153, zitiert nach Bindernagel et al. (2008).
- Duden (online). Rechtschreibwörterbuch der deutschen Sprache. www.duden.de (letzter Zugriff am: 25.6.2017).
- Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 905-923.
- Duit, R. (1996). Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Duit, R., von Rhöneck, Ch. (Hrsg): *Lernen in den Naturwissenschaften* (S. 145-162). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Falkenburg, B. (1997). Modelle, Korrespondenz und Vereinheitlichung in der Physik. *DIALEKTIK – Enzyklopädische Zeitschrift für Philosophie und Wissenschaften: Modelldenken in den Wissenschaften* 1997/1, 27-42.
- Feilke, H. (2012). Bildungssprachliche Kompetenzen – Fördern und entwickeln. <http://www.uni-giessen.de/fbz/fb05/germanistik/absprache/sprachdidaktik/aufsaetzelinks/pdbbildungssprache> (letzter Zugriff am: 25.6.2017).
- Gruber-Kalteis, G., Obermüller, M., Straub, G. & Reitingner, J. (2016). *Impuls Chemie 4*. Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG.
- Halliday, M.A.K. (1993). Towards a Language-Based Theory of Learning. *Linguistics and Education: An international Research Journal* 5, S. 93-116.
- Hand B. M., Gunel, M., Ulu, C. (2009): Sequencing embedded multimodal representations in a writing to learn approach to teaching of electricity. *Journal of Research in Science Teaching* 46, 225-247.

- Härtig, H., Bernholt, S., Pechtl, H., & Retelsdorf, J. (2015). Unterrichtssprache im Fachunterricht – Stand der Forschung und Forschungsperspektiven am Beispiel des Textverständnisses. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 21, 55-67.
- Hartmann, H. (2017). *Small-Step Teaching im Chemieunterricht zur Verbesserung des Verstehens* (Abschlussarbeit zum ersten Staatsexamen für das Lehramt an Gymnasien). München: Ludwig-Maximilians-Universität.
- Hinz, A. (2006). Inklusion. In: G. Antor, U. Bleidick (Hrsg.): *Handlexikon der - Behindertenpädagogik: Schlüsselbegriffe aus Theorie und Praxis*, 2. Auflage (S. 97-99). Stuttgart: Kohlhammer.
- Höttecke, D. (2001). *Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen* (Dissertation). Berlin: Logos-Verlag).
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry – Logical or psychological? *Chemistry Education: Research and Practice*, 1(1), 9-15, http://www.chem.uoi.gr/cerp/2000_January/pdf/056johnstonef.pdf.
- Keys, C.W. (1999). Revitalizing instruction in scientific genres: connecting, knowledge production in the writing to learn in science. *Science Education* 83, S. 115-130.
- Klaus, G. (1963). *Kybernetik in philosophischer Sicht*. Berlin: Dietz-Verlag.
- Leisen, J. online. *Sprachlernen im sprachsensiblen Unterricht* <http://www.sprachsensiblerfachunterricht.de> (letzter Zugriff am: 25.6.2017).
- Leisen, J. (2010). Leseverstehen und Leseförderung in den Naturwissenschaften. In G. Fenkart et al. (Hrsg.): *Sprache, Mathematik und Naturwissenschaften* (S. 212-231). Innsbruck: StudienVerlag.
- Leisen, J. (2011). *Praktische Ansätze schulischer Sprachförderung – Der sprachensible Fachunterricht* https://www.hss.de/fileadmin/media/downloads/Berichte/111027_RM_Leisen.pdf (letzter Zugriff am: 25.6.2017).
- Lück, G. (2008). Naturphänomene sprachlich erfassen. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* 19, S. 84-87.
- Magyar, R., Liebhart, W., Jelinek, G. & Faber, W. (2014). *Stoffe*. Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG.
- Maslow, A. H. (1943). A Theory of Human Motivation. *Psychological Review* 50, 370-396.
- Morrison, M. (1997). Models, Pragmatics and Heuristics. *DIALEKTIK – Enzyklopädische Zeitschrift für Philosophie und Wissenschaften: Modelldenken in den Wissenschaften* 1997/1, 13-26.

- Mortimer, C. E. & Müller, U. (2015). *Das Basiswissen Chemie*, 12. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Müller, R. (1980). Zur Geschichte des Modellbegriffs und des Modelldenkens im Bezugsfeld der Pädagogik. In Stachowiak, H. (Hrsg.): *Modelle und Modelldenken im Unterricht* (S. 202-224). Bad Heilbrunn/Obb: Verlag Julius Klinkhardt.
- Narukawa, H. (2015). *Autha Graph Map*. <http://narukawa-lab.jp/> (letzter Zugriff am: 25.6.2017).
- Neugebauer, W. (1980). Didaktische Modellsituationen. In Stachowiak, H. (Hrsg.): *Modelle und Modelldenken im Unterricht* (S. 50-73). Bad Heilbrunn/Obb: Verlag Julius Klinkhardt.
- Nieswandt, M. (2010). Verstehen durch Schreiben im naturwissenschaftlichen Unterricht. In G. Fenkart et al. (Hrsg.): *Sprache, Mathematik und Naturwissenschaften* (S. 250-266). Innsbruck: StudienVerlag.
- Obendrauf, V. (2004). Toxisches Chlor vernünftig dosiert. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* 81, 22-27.
- Oser, F. Hascher, T., Spychiger, M. (1999). Lernen aus Fehlern. Zur Psychologie des „negativen Wissens“. In Althof, W. (Hrsg.): *Fehlerwelten: Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern* (S. 11-42). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften
- Parchmann, I., Demuth, R., Ralle, B., Paschmann, A. & Huntemann, H. (2001). Chemie im Kontext - Begründung und Realisierung eines Lernens in sinnstiftenden Kontexten. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* 50, 2-7.
- Roelcke, T. (2010). *Fachsprachen (Grundlagen der Germanistik (GrG), Band 37)*. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG.
- Ropohl, G. (1980). Modelle im Technikunterricht. In Stachowiak, H. (Hrsg.): *Modelle und Modelldenken im Unterricht* (S. 123-143). Bad Heilbrunn/Obb: Verlag Julius Klinkhardt.
- Salzmann, C. (1974). Bedeutung des Modellbegriffs in Unterrichtsforschung und Unterrichtsplanung. In Roth, L. et al. (Hrsg.): *Unterrichtsanalysen in der Diskussion*. Hannover: Schroedel.
- Sandt, N. (2017). *Animationen im Chemieunterricht* (Abschlussarbeit zum ersten Staatsexamen für das Lehramt an Gymnasien). München: Ludwig-Maximilians-Universität.
- Schmölzer-Eibinger, S. (2013). Sprache als Medium des Lernens im Fach. In M. Becker-Mrotzek et al. (Hrsg.): *Sprache im Fach: Sprachlichkeit und fachliches Lernen* (S.25-40). Münster: Waxmann.
- Schmölzer-Eibinger, S., Langer, E. (2010). Sprachförderung im naturwissenschaftlichen Unterricht in mehrsprachigen Klassen. Ein didaktisches Modell für das Fach Chemie. In: B. Ahrenholz (Hrsg.): *Fachunterricht und Deutsch als Zweitsprache* (S. 203-217). Tübingen: Narr.

- Schnell, R., Hill, P. B. & Esser, E. (1999). *Methoden der empirischen Sozialforschung*. (S. 330f) München: Oldenbourg.
- Sommer, K., Klein, M., Steff, H. & Pfeifer, P. (2012): Modellexperimente - Zwischen Anschauungselement und Erkenntnisgewinnung. *Unterricht Chemie* 23, 2-9
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien: Springer-Verlag
- Statistik Austria (2017). Bildung in Zahlen 2015/16: Schlüssenindikatoren und Analysen. Online: https://uniko.ac.at/modules/download.php?key=13584_DE_O&cs=4BAE S. 100-101 (letzter Zugriff am: 25.6.2017).
- Streiner, D. L. (2003). Starting at the beginning: An introduction to coefficient alpha and internal consistency. *Journal of Personality Assessment* 80(1), S. 99-103.
- Vollmer, H. J., Thürmann, E. (online): Zur Sprachlichkeit des Fachlernens: Modellierung eines Referenzrahmens für Deutsch als Zweitsprache. http://oesz.at/download/Artikel_Prof.Vollmer.pdf (letzter Zugriff am: 25.6.2017).
- Wagner, P., Reischl, G. & Steiner, G. (2014). *Einführung in die Physik*, 3. Auflage. Wien: Facultas Verlags- und Buchhandels AG.
- Warwitz, S. & Rudolf, A. (1977). Das Prinzip des mehrdimensionalen Lehrens und Lernens. In: Warwitz, S. & Rudolf, A. (Hrsg.): *Projektunterricht. Didaktische Grundlagen und Modelle* (S. 15-22). Schorndorf: Hofmann-Verlag
- Weinert, F.E. (1999). Aus Fehlern lernen und Fehler vermeiden lernen. In Althof, W. (Hrsg.): *Fehlerwelten: Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern* (S. 101-110). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften
- Wohlmuth, M. (2002). *Chemie begeifen*. Wien: ÖBV:HPT VerlagsgmbH & Co. KG.

II. Abbildungsverzeichnis

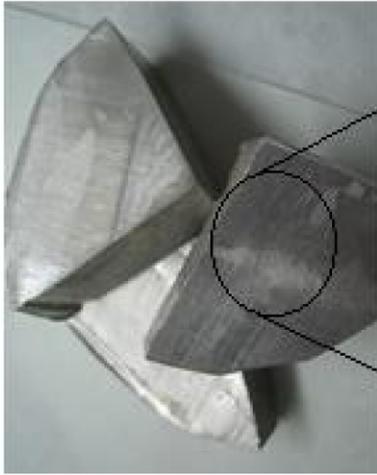
- Abbildung 1:** Darstellung verschiedener Sprachfelder, die sich teilweise überlappen (Quelle: Feilke 2012, S. 6)..... 4
- Abbildung 2:** Kommunikationssysteme im sprachlichen Kontext. Das geschriebene Wort „Wasserstoff“ mit lateinischen Buchstaben (sekundäres Kommunikationssystem) wird links in Braille, rechts im Binärcode (über die ASCII-Kodierung) (jeweils tertiäres Kommunikationssystem) dargestellt. Orange Pfeile stehen für eine Reduktion, grüne für eine Erweiterung des Informationsgehaltes. Man bedenke, dass der Binärcode eigentlich auch nur eine Darstellungsform für die Zustände „Stromfluss“ und „kein Stromfluss“ ist..... 19
- Abbildung 3:** Grüne Pfeile stehen für eine chemisch-fachliche Spezifikation bei gleichzeitiger sprachlicher Abstraktion, orange Pfeile stehen für eine chemisch-fachliche Abstraktion bei gleichzeitiger sprachlicher Spezifikation. Eine nicht-Einhaltung der Hierarchie wird beispielsweise ersichtlich beim Übergang vom Protium-Isotop zum grafischen Atommodell – geht man beim Elementsymbol „H“ von der nominellen Masse aus, kann die Symbolebene „ ^{11}H “ ausgelassen..... 20
- Abbildung 4:** Grafische Darstellung der globalen Ergebnisse von 164 SchülerInnen aus 8 Klassen in 4 verschiedenen Schulen..... 107
- Abbildung 5:** Grafische Darstellung der Ergebnisse einer Klasse mit 18 SchülerInnen **vor** der Behandlung der Bindungsmodelle im Regelunterricht..... 109
- Abbildung 6:** Grafische Darstellung der Ergebnisse von 139 SchülerInnen aus 5 Klassen in 3 Schulen **während** der Behandlung der Bindungsmodelle im Regelunterricht..... 110
- Abbildung 7:** Grafische Darstellung der Ergebnisse von 45 SchülerInnen aus 2 Klassen einer Schule **nach** der Behandlung der Bindungsmodelle im Regelunterricht. 111

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 1.....	47
Tabelle 2: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 2.....	53
Tabelle 3: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 3.....	61
Tabelle 4: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 4.....	68
Tabelle 5: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 5.....	75
Tabelle 6: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 6.....	83
Tabelle 7: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 7.....	93
Tabelle 8: Ergebnisse der SchülerInnen der Klasse 8.....	101
Tabelle 9: Darstellung der globalen Ergebnisse von 164 SchülerInnen aus 8 Klassen in 4 verschiedenen Schulen.....	107
Tabelle 10: Darstellung der Ergebnisse einer Klasse mit 18 SchülerInnen vor der Behandlung der Bindungsmodelle im Regelunterricht.	109
Tabelle 11: Darstellung der Ergebnisse von 139 SchülerInnen aus 5 Klassen in 3 Schulen während der Behandlung der Bindungsmodelle im Regelunterricht.....	110
Tabelle 12: Darstellung der Ergebnisse von 45 SchülerInnen aus 2 Klassen einer Schule nach der Behandlung der Bindungsmodelle im Regelunterricht	111
Tabelle 13: Charakteristika der Gruppen für die Auswertung nach Soll-Wissensstand. Man beachte, dass Klasse 2 (In-Bindungsmodelle) teilweise eine zusätzliche Lehrperson hat; sie ist in Klammer angeführt. Die mittlere Beteiligung in Prozent wurde exemplarisch gerundet. Die Beteiligung pro jeweiligem Item lässt sich aus den Abbildungen 5, 6 und 7 herauslesen (siehe Abschnitt 5.1.).....	124
Tabelle 14: Zusammenfassung der Hypothesenprüfung. Einerseits wird aufgezeigt, welche Items und Lernziele zur Bewertung der Hypothese herangezogen wurden, andererseits wird gezeigt, ob die Hypothesen schlussendlich erfüllt wurden. Ein großes „X“ steht für eine überwiegende, ein kleines „X“ für eine nur teilweise Übereinstimmung.	128

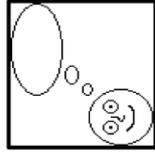
IV. Anhang

1. Unterrichtsmaterialien



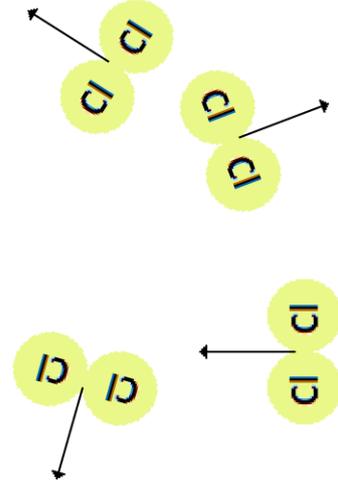
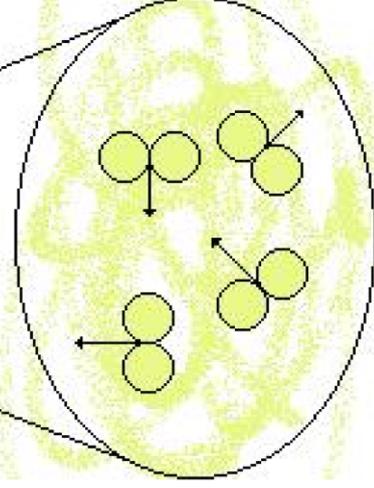
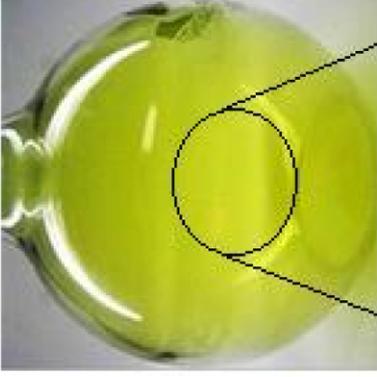
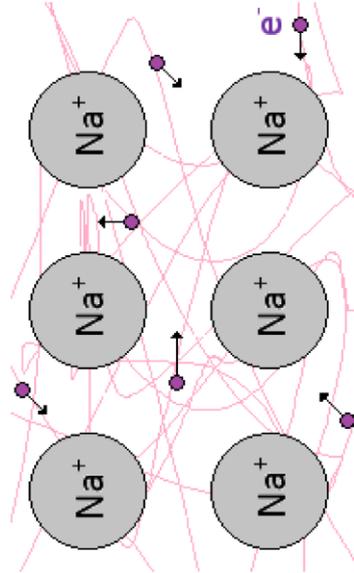
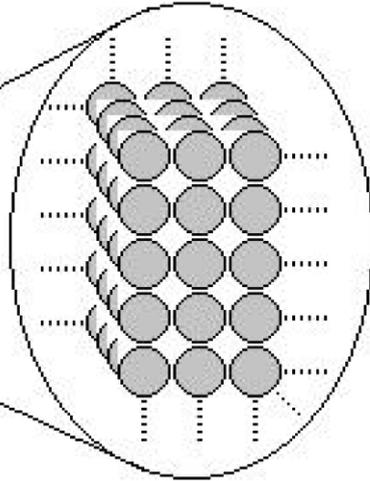
Natrium (Na): Festkörper, metallischer Glanz,
weich, guter Stromleiter;

Chlor (Cl₂): Gas, gelb-grünlich, stechender
Geruch;



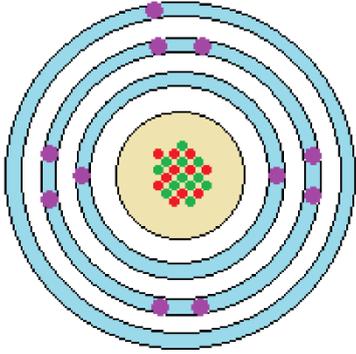
Natrium ist ein Metallelement. Es besteht aus
Natriumatomen, die in einem kontinuierlichen
Metallgitter angeordnet sind.

Chlor ist ein Nichtmetallelement. Es besteht aus
zwei Chloratomen, die sich zu einem Molekül
zusammengeschlossen haben.



Ein Metallgitter besteht aus positiv geladenen
Atomrümpfen, die fest an ihren Gitterplätzen
verankert sind, und frei beweglichen
Elektronen („Elektronengas“).

Gasmoleküle sind im Raum frei beweglich.

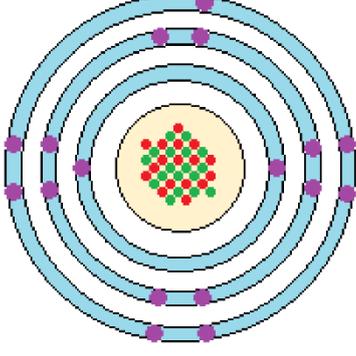


Ein $^{23}_{11}\text{Na}$ -Atom mit einem Elektron in der äußersten Schale

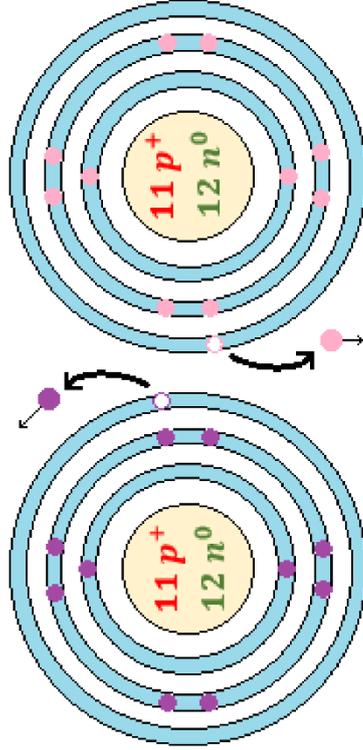
Elektronenschalenmodell (nach Niels Bohr):

Ein $^{23}_{11}\text{Na}$ -Atom besitzt ein Valenzelektron (siehe Periodensystem!)

Ein $^{35}_{17}\text{Cl}$ -Atom besitzt sieben Valenzelektronen (siehe Periodensystem!)



Ein $^{35}_{17}\text{Cl}$ -Atom mit sieben Elektronen in der äußersten Schale



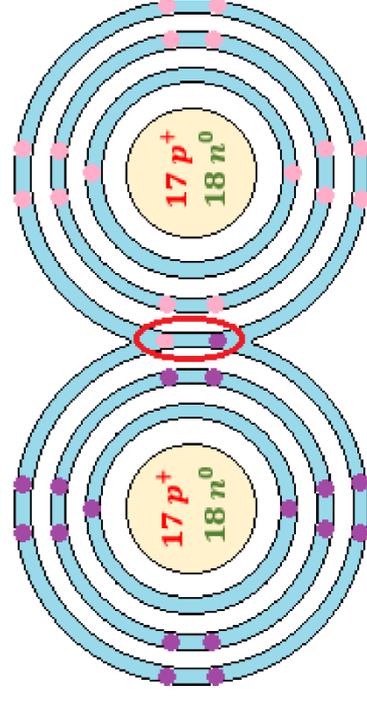
Ausschnitt aus einem Metallgitter: Zwei Na^+ -Atomrümpfe und deren zwei herausgelösten Elektronen (Metallbindung)

Metallelemente ziehen ihre Valenzelektronen nicht so stark an. Die Valenzelektronen sind aus der Schale herausgelöst und frei beweglich. Die herumschwirrenden Elektronen („Elektronengas“) halten die positiv geladenen Atomrümpfe zusammen.

→ **Metallbindung**

Nichtmetallelemente ziehen ihre Valenzelektronen stark an und können sogar noch Elektronen aufnehmen. Wenn sich zwei Nichtmetallelemente verbinden, dann teilen sie sich ihre Valenzelektronen.

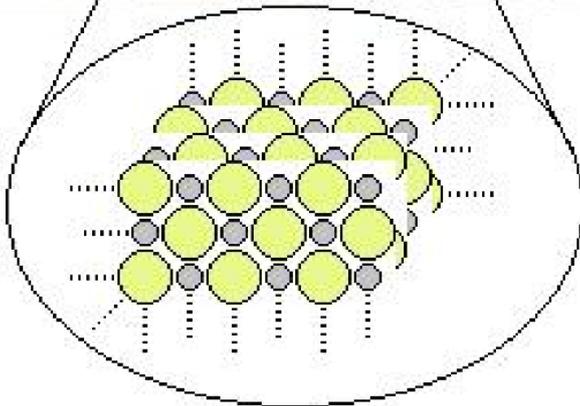
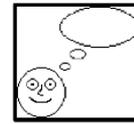
→ **Elektronenpaarbindung**



Zwei Cl-Atome teilen sich je ein Valenzelektron (gemeinsames Elektronenpaar) und sind somit miteinander verbunden. (Elektronenpaarbindung)



Natriumchlorid (NaCl; Kochsalz): Festkörper, weiß, hart;



Natriumchlorid ist eine gemischte Verbindung (kein Element!). Es besteht aus geladenen Natriumatomen und geladenen Chloratomen („Ionen“), die in einem kontinuierlichen Ionengitter angeordnet sind.



Ein Ionengitter besteht aus _____ geladenen Natriumionen („Kationen“) und _____ geladenen Chloridionen („Anionen“), die fest an ihren Gitterplätzen verankert sind.

Es gibt keine frei beweglichen Elektronen!



_____ zieht sein Valenzelektron nicht stark an.
_____ hingegen zieht seine Valenzelektronen stark an, und kann sogar noch weitere aufnehmen.
_____ gibt seine Valenzelektronen an _____ ab und die Atome werden zu Ionen.
Anionen und Kationen ziehen sich elektrostatisch an.

→ **Ionische Bindung**

Weiterführende Fragen zum Stoff (bitte auf die Vorder- bzw. Rückseite der Arbeitsblätter!):

1. Ergänze das Arbeitsblatt!
2. Erstelle eine Bilderserie des vorgeführten Experiments und beschrifte sie. Was hast du beobachten können? Wähle einen geeigneten Modellmaßstab!
3. a.) Wie entsteht ein Ionengitter aus Elementen (zB NaCl)? Erstelle eine oder mehrere Zeichnungen und erkläre in Worten! Wähle einen geeigneten Modellmaßstab!
b.) Warum hält das Ionengitter zusammen, obwohl es kein „Elektronengas“ gibt?
4. Warum werden beim Ionengittermodell die Anionen und Kationen unterschiedlich groß dargestellt?
5. a.) Was stellst du dir unter einem „Elektronengas“ vor?
b.) Was hat das mit elektrischer Leitfähigkeit zu tun? Glaubst du, dass ein Natriumchlorid-Kristall Strom leitet? Vergleiche die Modelle und begründe deine Antwort!
6. Einige der härtesten Materialien sind ionische Verbindungen (zB Titancarbid, TiC; Wolframcarbid, WC;), während Metalle im elementarzustand eher weich sind (Natrium, Blei, Gold, Kupfer, ...). Womit könnte das zu tun haben? Könnte man dies anhand unserer Modelle erklären?

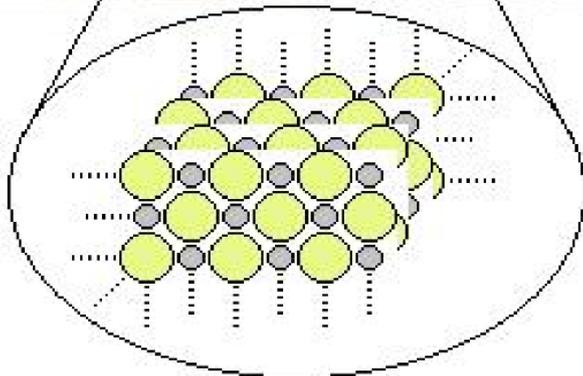
Generelle Überlegungen:

7. Welche Funktion hat ein Modell (Stadtplan, Atommodell)?
8. a.) Entspricht ein Modell der Realität? Wenn nein, wie weichen die gezeigten Atommodelle von der Realität ab?
b.) Kennst du andere Atommodelle? Wie unterscheidet es/sie sich von Bohrs Atommodell?
c.) Warum glaubst du, arbeiten wir heute trotzdem mit dem Atommodell von Niels Bohr?
9. Warum benutzt man in den Naturwissenschaften Modelle?

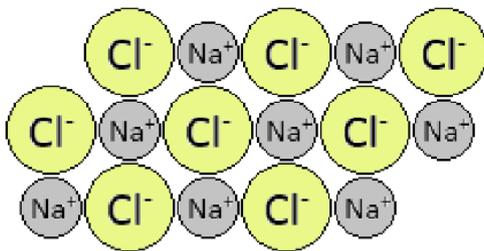
2. Ausgearbeitete Referenzversion



Natriumchlorid (NaCl; Kochsalz): Festkörper, weiß, hart; schlechter Stromleiter

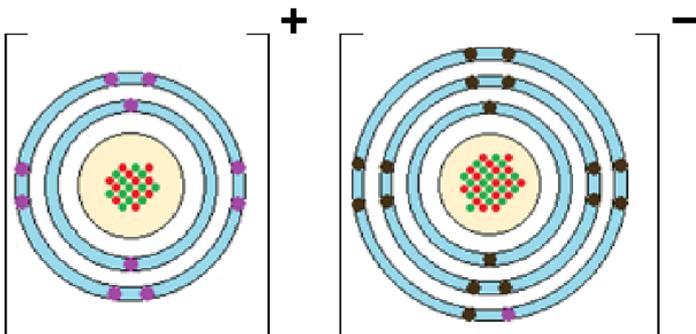


Natriumchlorid ist eine gemischte Verbindung (kein Element!). Es besteht aus geladenen Natriumatomen und geladenen Chloratomen („**Ionen**“), die in einem kontinuierlichen Ionengitter angeordnet sind.



Ein Ionengitter besteht aus positiv geladenen Natriumionen („**Kationen**“) und negativ geladenen Chloridionen („**Anionen**“), die fest an ihren Gitterplätzen verankert sind.

Es gibt keine frei beweglichen Elektronen! Das Gitter hält durch elektrostatische Anziehung der Ionen zusammen!

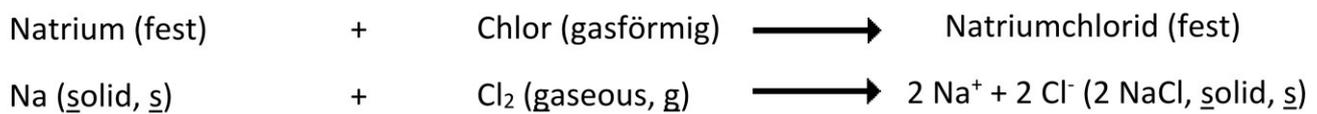
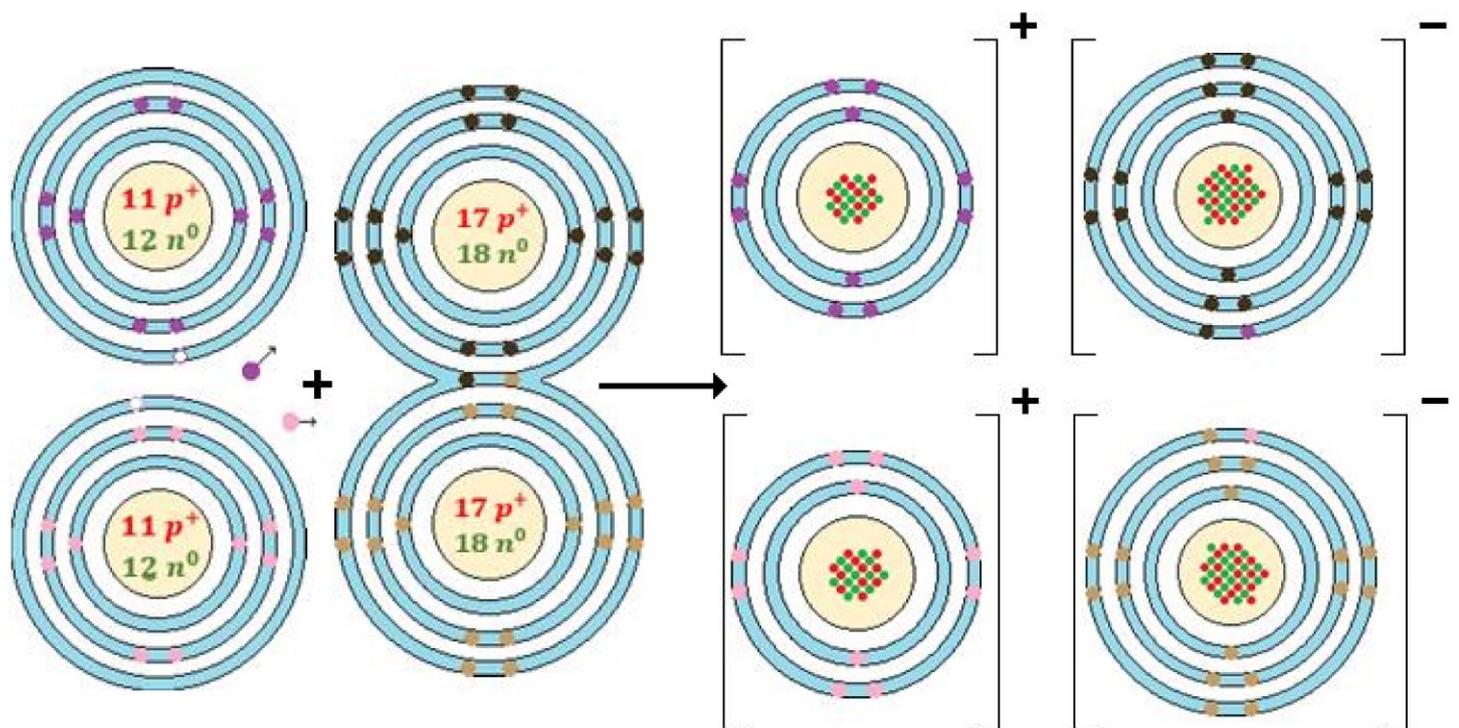
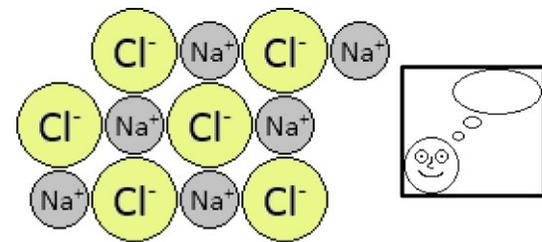
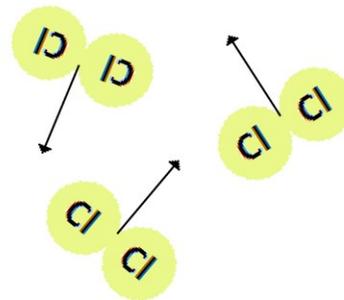
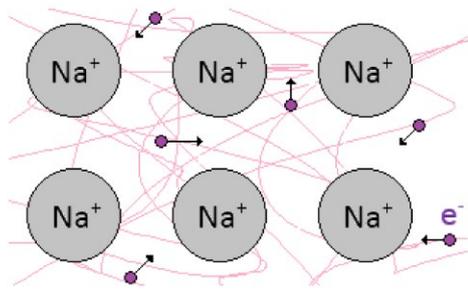
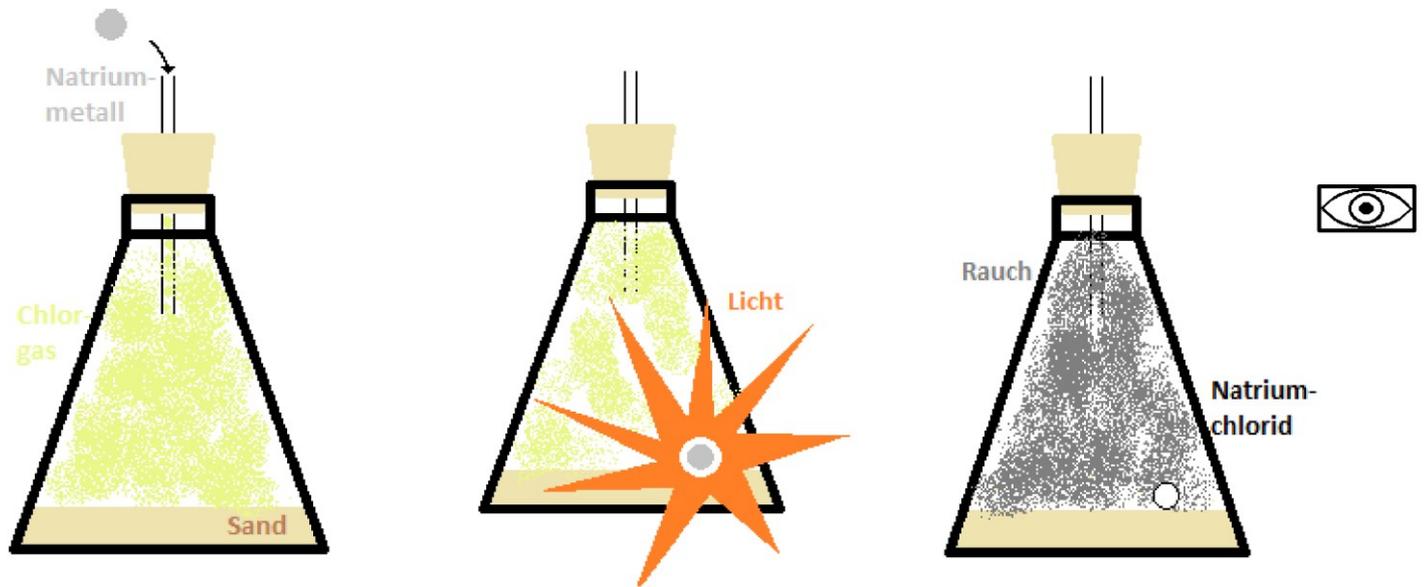


Natrium zieht sein Valenzelektron nicht stark an. Chlor hingegen zieht seine Valenzelektronen stark an, und kann sogar noch weitere aufnehmen. Natrium gibt seine Valenzelektronen an Chlor ab und die Atome werden zu Ionen.

Anionen und Kationen ziehen sich elektrostatisch an.

Ausschnitt aus einem Ionengitter: Das zusätzliche Elektron von Chlorid (rechts) kommt von Natrium (links), das nun sogar eine Schale weniger hat und somit kleiner geworden ist (ionische Bindung)

→ **Ionische Bindung**



Lösungen zum Arbeitsblatt „Natriumchlorid“

Frage 2:

Natrium hat den typischen metallischen Glanz, leitet Strom und ist weich (man kann es mit einem Brotmesser schneiden!). Chlorgas ist gelblich-grün.

Die Reaktion zwischen Natrium und Chlor verläuft heftig mit viel Hitze und Licht! Außerdem bildet sich weißes Natriumchlorid. Der Rauch war ein Gemisch aus heißer Luft und kleinen Natriumchlorid-Partikeln (Festkörper-Gas-Gemisch).

Frage 3:

Ein Atom überträgt ein oder mehrere Valenzelektronen auf ein anderes Atom. Das erste wird zum positiv geladenen Kation, das andere zum negativ geladenen Anion. Plus und Minus ziehen sich gegenseitig an.

Frage 4:

Die Ionen werden unterschiedlich groß dargestellt, weil das Kation meistens eine ganze Elektronenschale weniger hat. Dadurch wird sein Gesamtdurchmesser kleiner! (Vergleiche mit $1c!$)

Frage 5:

Ein „Elektronengas“ ist die Menge an freibeweglichen Elektronen in einem Metall, das die positiven Atomrümpfe zusammenhält. Vom Elektronengas kommt auch der typische metallische Glanz!

Ein elektrischer Strom besteht oftmals aus Elektronen. Strom kann besser geleitet werden, wenn sich die Elektronen im Stoff eh schon frei bewegen können. Natriumchlorid als Festkörper leitet Strom schlecht, da es keine freien Elektronen besitzt und die Ionen im Gitter sich auch nicht bewegen können.

Frage 6

Ionengitter sind hart weil die unterschiedlich geladenen Ionen („+“ und „-“) einander fest anziehen. Wird das Gitter verschoben (z.B. durch einen Hammerschlag), treffen sich zwei gleiche Ladungen („+“ und „+“) und stoßen sich sofort ab – der Salzkristall zerspringt. Solche Materialien nennt man „**spröde**“.

Im Metallgitter haben die Gitterbausteine nur positive Ladungen („+“ und „+“), sie werden aber vom Elektronengas zusammengehalten. Wird dieses Gitter verschoben, ist „+“ immer noch neben „+“, das Elektronengas hält sie immer noch zusammen. Es hat sich für den einzelnen Atomrumpf fast nichts geändert – Das Material zerspringt nicht, sondern verformt sich nur: es knickt oder kriegt eine Delle. Solche Materialien nennt man „**duktil**“.

Frage 7:

Ein Modell dient dazu, die Realität vereinfacht (auch: „abstrahiert“) darzustellen. Je nach Verwendungszweck gibt es verschiedene Modelle: Eine Länderkarte von Österreich zeigt die Grenzen der einzelnen Bundesländer, während eine physische Karte Gebirge und Straßen und eine thematische Karte Industriestandorte zeigt. Alle diese Karten sind gültige Modelle, allerdings zeigen sie unterschiedliche Aspekte von derselben Sache und sind nicht für jede Verwendung gleich nützlich.

Frage 8:

- a.) Ein Modell kann nicht der Realität entsprechen, da „Unwichtiges“ einfach weggelassen wird. Unsere Modelle sind nicht realistisch, weil:
- Elektronenschalen von Atomen sind nicht kugelartig; das **Orbitalmodell** würde diesen Aspekt realitätsnaher abbilden.
 - Elektronen, Protonen und Neutronen haben keine Farben; Schalen und Kerne auch nicht.
 - Ein Atomkern hat keine Aufschrift (zB „17 p⁺“ und „18 n⁰“).
 - Die Größenverhältnisse: wenn das Atom 5 cm groß wäre, müsste der Kern 0,0005 cm groß sein.
- b.) Neben dem Bohrschen Atommodell und dem Orbitalmodell gibt es noch das Thomson-Modell, das Rutherford-Modell oder das Schrödinger-Modell. Sogar im antiken Griechenland gab es ein Atommodell!
- c.) Wir haben trotzdem mit dem Bohrschen Atommodell gearbeitet, weil:
- Es ist leicht und übersichtlicher darzustellen
 - Die Bindungsmodelle sind gut darstellbar (Elektronenpaarbindung, Metallbindung, ionische Bindung).
 - Die vorhin aufgezählten Abweichungen von der Realität sind für Bindungsmodelle nicht so wichtig.
 - Es ist **gültig** für unseren Verwendungszweck

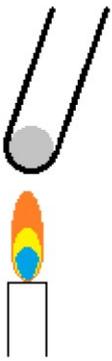
Frage 9:

Modelle werden benutzt, um sehr große oder sehr kleine Sachen anschaulich darzustellen. Wir können keine Atome „sehen“, deswegen nehmen NaturwissenschaftlerInnen Modelle. So zeigen sie, wie sie sich etwas vorstellen. Außerdem vereinfachen Modelle die naturwissenschaftliche Arbeit, da „Unwichtiges“ ausgeblendet wird und somit nicht ablenkt.

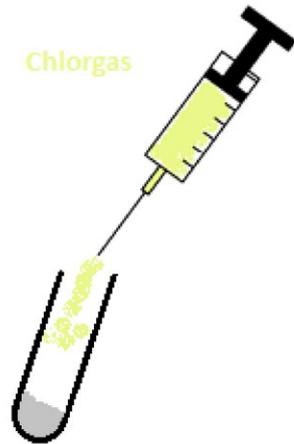
Eine chemische Reaktionsgleichung ist auch eine Art Modell. So müssen wir für „Natrium“ nicht ständig 11 Protonen und 12 Neutronen und 11 Elektronen zeichnen, sondern schreiben einfach nur zwei Buchstaben („Na“). Und wenn wir hinschreiben, dass $\text{Na} + \text{Cl}_2$ zu NaCl reagiert, stellen wir uns alle diese Bilder im Kopf vor – wir müssen sie aber nicht ständig aufzeichnen, da uns auch so klar ist, was gemeint ist ☺

3. Alternativer Versuchsaufbau

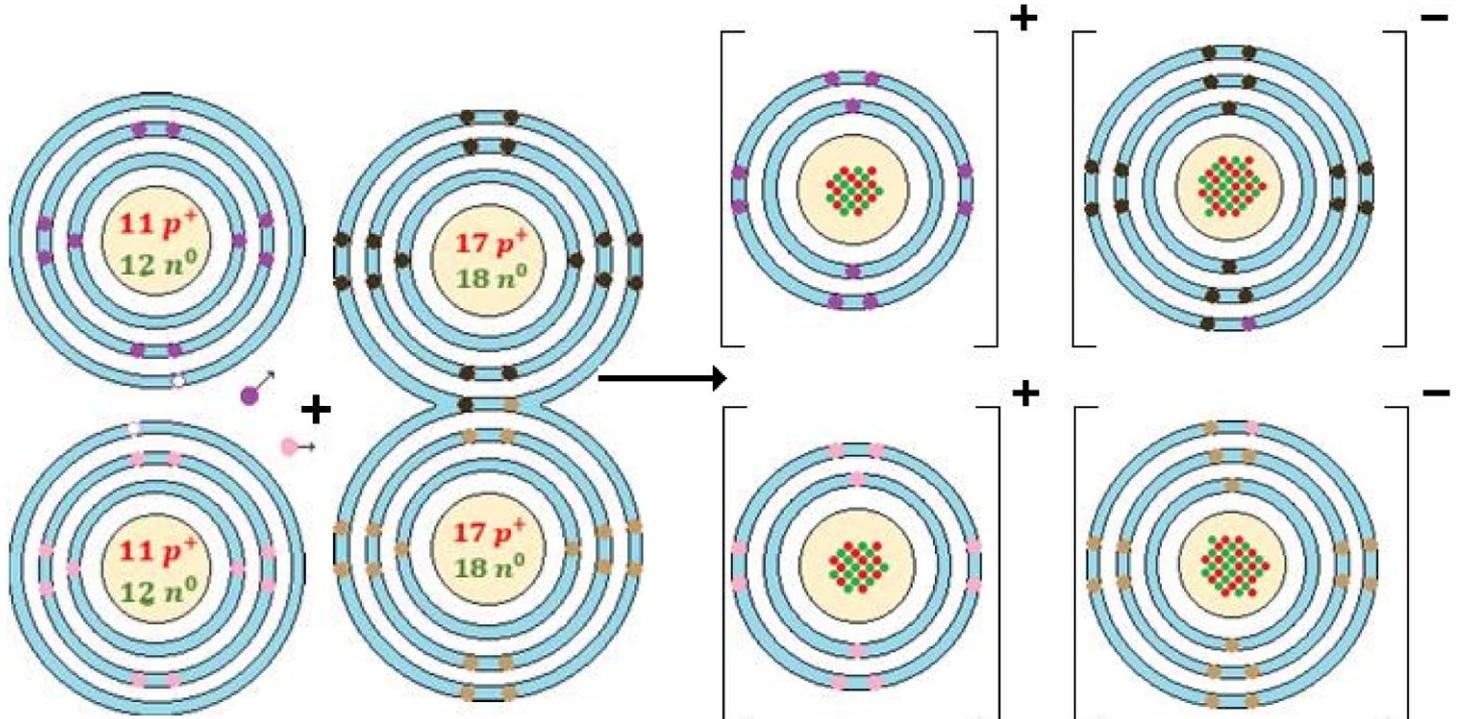
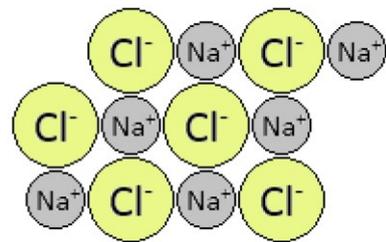
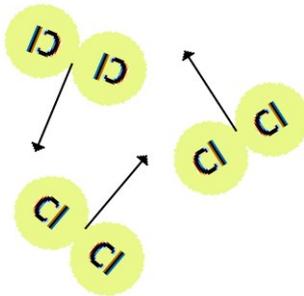
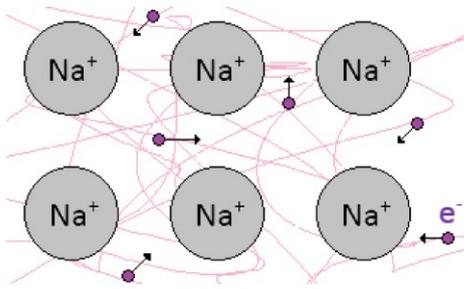
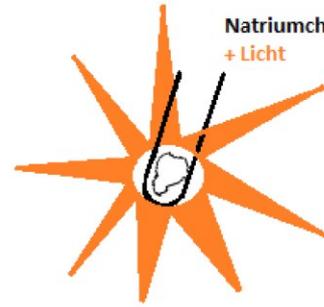
Natriummetall



Chlorgas



Natriumchlorid
+ Licht



Natrium (fest)

+

Chlor (gasförmig)



Natriumchlorid (fest)

Na (solid, s)

+

Cl₂ (gaseous, g)



2 Na⁺ + 2 Cl⁻ (2 NaCl, solid, s)

4. Ergebnisse sortiert nach Klassen

Klasse 1 n=18	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	12	3	14	3	6	13	6	7	5	8	14	2	7	13	8	9	44,44	46,83	43,33
nicht zufriedenstellend beantwortet	5	2	4	2	6	5	11	10	13	10	4	-	-	-	-	-	18,06	46,83	-
zufriedenstellend beantwortet	1	13	0	13	6	0	1	1	0	0	0	16	11	5	10	9	37,50	6,35	56,67
																	100	100	100
Klasse 2 n=22	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	1	0	11	7	1	13	18	18	14	16	16	16	13	17	20	14	21,59	62,34	72,73
nicht zufriedenstellend beantwortet	10	1	4	12	8	7	2	3	5	6	5	-	-	-	-	-	30,68	23,38	-
zufriedenstellend beantwortet	11	21	7	3	13	2	2	1	3	0	1	6	9	5	2	8	47,73	14,29	27,27
																	100	100	100
Klasse 3 n=17	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	1	0	2	1	9	7	11	12	11	14	15	8	12	16	16	13	5,88	66,39	76,47
nicht zufriedenstellend beantwortet	1	0	6	5	2	9	3	5	6	2	2	-	-	-	-	-	17,65	24,37	-
zufriedenstellend beantwortet	15	17	9	11	6	1	3	0	0	1	0	9	5	1	1	4	76,47	9,24	23,53
																	100,0	100,0	100,0
Klasse 4 n=19	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	0	1	4	1	4	8	10	5	6	9	11	10	10	15	14	11	7,89	39,85	63,16
nicht zufriedenstellend beantwortet	3	1	11	5	4	9	1	12	10	3	5	-	-	-	-	-	26,32	33,08	-
zufriedenstellend beantwortet	16	17	4	13	11	2	8	2	3	7	3	9	9	4	5	8	65,79	27,07	36,84
																	100	100	100
Klasse 5 n=19	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	2	1	1	0	0	6	8	8	4	6	11	7	7	10	8	5	5,26	32,33	38,95
nicht zufriedenstellend beantwortet	11	1	9	3	3	9	6	11	14	12	8	-	-	-	-	-	31,58	47,37	-
zufriedenstellend beantwortet	6	17	9	16	16	4	5	0	1	1	0	12	12	9	11	14	63,16	20,30	61,05
																	100	100	100

Klasse 6 n=24	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	5	1	7	3	2	7	9	10	5	11	12	12	11	12	13	13	16,67	33,33	50,83
nicht zufriedenstellend beantwortet	4	0	16	8	7	16	1	14	18	10	11	-	-	-	-	-	29,17	45,83	-
zufriedenstellend beantwortet	15	23	1	13	15	1	14	0	1	3	1	12	13	12	11	11	54,17	20,83	49,17
																	100	100	100
Klasse 7 n=24	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	0	0	4	1	5	10	13	14	10	19	14	12	10	21	18	15	5,21	50,60	63,33
nicht zufriedenstellend beantwortet	2	0	18	7	9	10	3	7	7	2	9	-	-	-	-	-	28,13	27,98	-
zufriedenstellend beantwortet	22	24	2	16	10	4	8	3	7	3	1	12	14	3	6	9	66,67	21,43	36,67
																	100	100	100
Klasse 8 n=21	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
nicht beantwortet	0	0	6	0	5	10	13	14	7	15	18	17	15	20	19	18	7,14	55,78	84,76
nicht zufriedenstellend beantwortet	2	0	9	5	6	10	4	7	13	6	3	-	-	-	-	-	19,05	33,33	-
zufriedenstellend beantwortet	19	21	6	16	10	1	4	0	1	0	0	4	6	1	2	3	73,81	10,88	15,24
																	100	100	100

5. Tabellen und Diagramme der globalen Auswertung

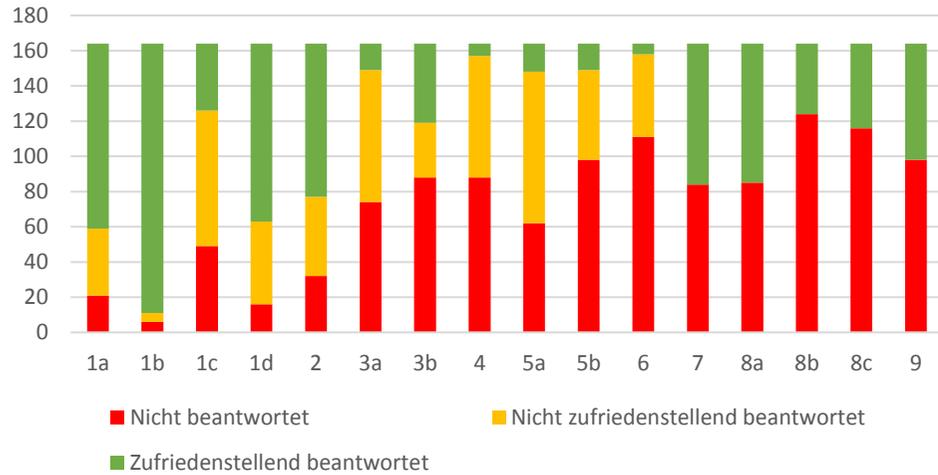
Global n=164	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
Nicht beantwortet	21	6	49	16	32	74	88	88	62	98	111	84	85	124	116	98	14,0	48,2	61,8
Nicht zufriedenstellend beantwortet	38	5	77	47	45	75	31	69	86	51	47	-	-	-	-	-	25,5	35,2	-
Zufriedenstellend beantwortet	105	153	38	101	87	15	45	7	16	15	6	80	79	40	48	66	60,5	16,6	38,2
																	100	100	100

Prä-Bindungsmodelle n=18	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
Nicht beantwortet	12	3	14	3	6	13	6	7	5	8	14	2	7	13	8	9	44,4	46,8	43,3
Nicht zufriedenstellend beantwortet	5	2	4	2	6	5	11	10	13	10	4	-	-	-	-	-	18,1	46,8	-
Zufriedenstellend beantwortet	1	13	-	13	6	-	1	1	-	-	-	16	11	5	10	9	37,5	6,3	56,7
																	100	100	100

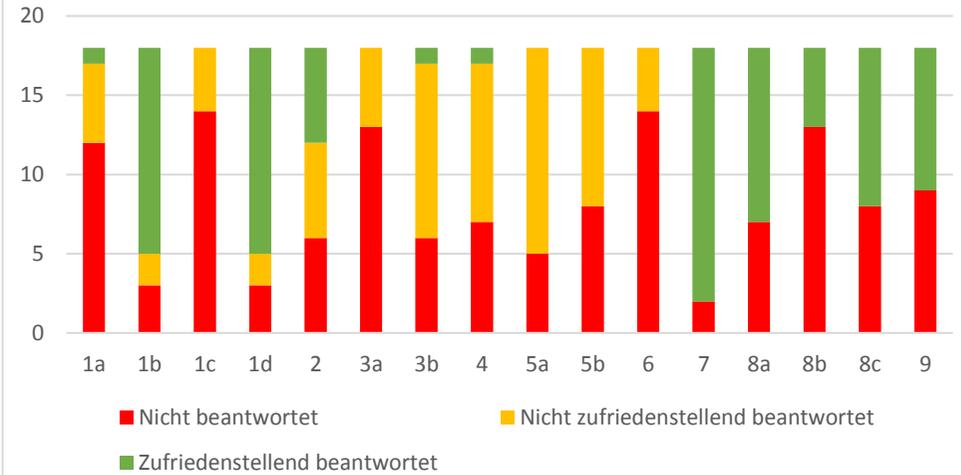
In-Bindungsmodelle n=139	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
Nicht beantwortet	13	5	27	12	16	53	72	69	48	68	87	67	67	90	87	66	10,3	42,4	54,2
Nicht zufriedenstellend beantwortet	51	5	64	39	30	68	25	67	81	57	47	-	-	-	-	-	28,6	38,5	-
Zufriedenstellend beantwortet	75	129	48	88	93	18	42	3	10	14	5	72	72	49	52	73	61,2	19,0	45,8
																	100	100	100

Post-Bindungsmodelle n=45	1a	1b	1c	1d	2	3a	3b	4	5a	5b	6	7	8a	8b	8c	9	% 1	% 2-6	% 7-9
Nicht beantwortet	-	-	10	1	10	20	26	28	17	34	32	29	25	41	37	33	6,1	53,0	73,3
Nicht zufriedenstellend beantwortet	4	-	27	12	15	20	7	14	20	8	12	-	-	-	-	-	23,9	30,5	-
Zufriedenstellend beantwortet	41	45	8	32	20	5	12	3	8	3	1	16	20	4	8	12	70,0	16,5	26,7
																	100	100	100

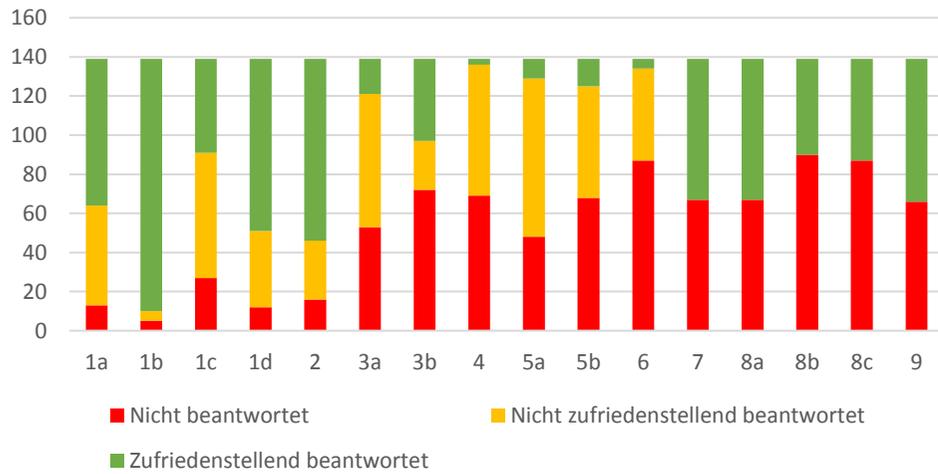
Globale Ergebnisse (n=164)



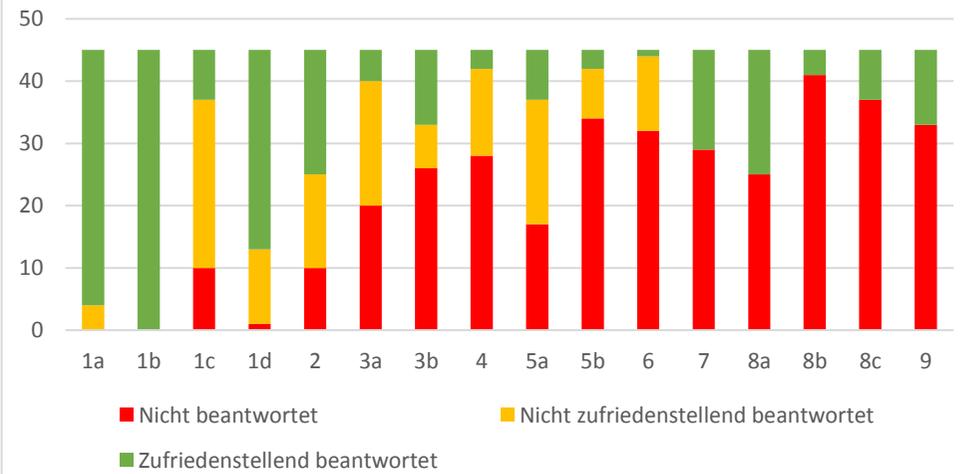
Prä-Bindungsmodelle (n=18)



In-Bindungsmodelle (n=139)



Global (post-Bindungsmodelle) (n=45)



6. Eidesstattliche Erklärung

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, am

Maximilian FRITSCHÉ