

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

Arbeiten mit Modellen im Chemieanfangsunterricht – Ein
Konzept zur Entwicklung der Modellkompetenz bei
Schüler*innen der Sek I

verfasst von / submitted by
Antonia Aigner, BEd

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien, 2022 / Vienna 2022

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

UA 199 504 520 02

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

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach
Chemie Unterrichtsfach Mathematik

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Michael Alfred Anton

Inhalt

1.	Einleitung.....	4
2.	Modelle.....	6
2.1	Modellbegriff.....	6
2.2	Nutzen von Modellen.....	7
2.3	Modellkompetenz.....	9
2.4	Lernen mit Modellen.....	11
2.5	Grenzen und Schwierigkeiten von Modellen.....	13
3.	Lehr-Lernforschung.....	16
3.1	Entwicklungsstufen nach Piaget.....	16
3.2	Der Weg vom Konkreten zum Abstrakten.....	17
3.3	Aneignung von Wissen.....	19
3.4	Bedingungen für erfolgreiches Lernen.....	20
3.5	Piaget und Wygotski als Grundlage des Konstruktivismus.....	23
3.6	Lehrformen.....	25
4.	Fachanalyse.....	28
4.1	Entwicklung des Atombegriffs.....	28
4.2	Schüler*innenvorstellungen.....	31
4.2.1	Schüler*innenvorstellungen im Unterricht.....	31
4.2.2	Schüler*innenvorstellungen zum Atommodell.....	34
5.	Forschungsfrage und Hypothesen.....	37
6.	Fragebogen: Schwierigkeiten mit Modellvorstellungen im Chemieanfangsunterricht.....	39
6.1	Forschungsmethodischer Zugang.....	39
6.2	Hinweise zur Datensammlung.....	40
6.3	Darstellung der Ergebnisse.....	43
6.4	Analyse und Interpretation der Ergebnisse.....	51
7.	Konzeptentwurf Atommodell.....	60
7.1	Didaktische Strukturierung.....	60
7.2	Verortung des Konzepts.....	64

7.2.1	Lehrplanbezug.....	64
7.2.2	Kompetenzen	66
7.2.3	Lernziele	67
7.3	Evaluierung des Konzepts.....	69
7.3.1	Informationen zur Datensammlung	69
7.3.2	Darstellung der Ergebnisse.....	71
7.3.3	Analyse und Interpretation	72
8.	Diskussion und Reflexion	75
9.	Zusammenfassung und Ausblick	77
	Literaturverzeichnis	78
	Abbildungsverzeichnis.....	83
	Tabellenverzeichnis	85
	Abkürzungsverzeichnis.....	85
	Selbstständigkeitserklärung	86
	Anhang	87
	Kurzfassung	87
	Abstract.....	88
	Anhang 1: Fragebogen Schüler*innen	89
	Anhang 2: Fragebogen Lehrer*innen.....	91
	Anhang 3: Datenauswertung Schüler*innen Fragebogen.....	94
	Anhang 4: Datenauswertung Lehrer*innen Fragebogen	99
	Anhang 5: Konzeptentwurf Atommodell	101
	Anhang 6: Fragebogen Konzeptevaluierung	129

1. Einleitung

Die Entwicklung von Kompetenzen im Chemieunterricht rücken mit der Weiterentwicklung der Lehre und der didaktischen Forschungsmethoden vermehrt in den Vordergrund. Unter *Kompetenzen* versteht man die erlernbaren kognitiven Fertigkeiten Probleme zu lösen und diese bei ähnlichen Problemen in verwandten Situationen anzuwenden (vgl. Weinert, 2014). Die Förderung und Forderung von Kompetenzen spielt daher eine wesentliche Rolle bei der Vermittlung von Fachinhalten im Chemieunterricht. Beim Näherbringen des grundlegenden Themas *Atommodelle* werden Lehrpersonen vor die Herausforderung gestellt, die Schüler*innen bei der Entwicklung der Modellkompetenz im formal operationalen Denkstadium zu unterstützen. Dazu haben Krüger, Kauertz und Upmeyer zu Belzen (2018) die Modellkompetenz in fünf Teilbereiche unterteilt, die den Einsatz und den Nutzen von Modellen spezifizieren und diese jeweils in drei verschiedene Wissensstadien eingeteilt (vgl. Krüger, Kauertz, & Upmeyer zu Belzen, 2018). Die Aktualität und Relevanz für Chemielehrpersonen ergibt sich aus der Aufgabe zur Entwicklung und Förderung der Modellkompetenzen im Zuge des Chemieunterrichts zum abstrakten Unterrichtsthema *Atommodelle*. In der folgenden Arbeit wird versucht die Forschungsfrage: „Wie kann die Entwicklung der Modellkompetenz bei Schüler*innen im Chemieanfangsunterricht unterstützt werden?“ zu beantworten. Dazu werden zu Beginn literaturbasiert die vorherrschenden didaktischen Forschungen zusammengefasst, um anschließend spezifische Schwierigkeiten und Probleme mit Modellen in der 4. Klasse AHS Sekundarstufe I zu erheben. Die Ergebnisse dieses Fragebogens werden am Ende der Arbeit genutzt, um ein Unterrichtskonzept zum Thema *Atommodelle* zu entwickeln. Dieses ist als Anhang 5 der Arbeit beigelegt. Es wird davon ausgegangen, dass die Modellkompetenz durch zwei Methoden gestärkt werden kann: Ein Überblick zum geschichtlichen Hintergrund von Atommodellen ist für das Modellverständnis hilfreich (Hypothese I). Unterschiedliche Darstellungsformen der Modelle (z.B.: haptisch, illustrativ, ...) fördern das Modellverständnis (Hypothese II).

Ziel der Arbeit ist es, die Schwierigkeiten von Schüler*innen mit Modellvorstellungen im Chemieanfangsunterricht zu eruieren und Konzepte zur Minimierung dieser Schwierigkeiten zu erarbeiten. Dazu wird im Kapitel 2 der Modellbegriff umrissen und der Nutzen von Modellen und deren Grenzen und Schwierigkeiten im Chemieunterricht dargestellt. Anschließend wird im Kapitel 3 die Entwicklung des formal operationalen Denkens untersucht, um die Bedingungen für erfolgreiches Lernen und die Relevanz aktueller Lehrformen, wie den Konstruktivismus und das Scaffolding zu erläutern. Die Fachanalyse und die Schüler*innenvorstellungen zum Atommodell werden in Kapitel 4 genauer erörtert. Die Forschungsfrage und die Hypothesen werden in Kapitel 5 diskutiert und in Kapitel 6 werden anschließend die Schwierigkeiten mit Modellen von Schüler*innen im

Chemieanfangsunterricht untersucht, die Ergebnisse dargestellt und interpretiert. Diese Ergebnisse dienen wiederum als Grundlage für das Kapitel 7, in welchem das Unterrichtskonzept einer didaktischen Analyse und einer Evaluierung unterzogen wird. Kapitel 8 stellt die abschließende Diskussion und Reflexion dar und Kapitel 9 schließt die Arbeit mit einer Zusammenfassung inklusive Ausblick ab.

2. Modelle

In der Chemie werden viele Theorien durch Modelle verdeutlicht, da die Phänomene auf der mikroskopischen Ebene schwer nachvollziehbar sind. Daher wird im folgenden Abschnitt der Arbeit die Bedeutung von Modellen im Unterricht erläutert. Dazu wird zu Beginn der Begriff *Modell* umrissen, um dann den Nutzen von Modellen für den Unterricht, insbesondere in der Chemie, und die Modellkompetenz zu diskutieren. In weiterer Folge werden verschiedene Arten von Modellen vorgestellt und der Vermittlungsprozess in einem Unterricht mit Modellen wird verdeutlicht. Abschließend werden noch die Grenzen von Modellen und die Schwierigkeiten beim Arbeiten mit Modellen aufgezeigt.

2.1 Modellbegriff

Der Begriff Modell stellt mit seinen diversen Bedeutungen ein Homonym dar. In der Architektur hat das Modell eine andere Bedeutung als in der Mathematik, der Wissenschaft oder bei Kinderspielzeug. Ein Modell im Alltag kann ein Modellflugzeug, ein Modellhaus für die Architektur oder eine Miniatur eines Objekts als Spielzeug für Kinder sein, in der Wissenschaft der Chemie stellt ein Modell meist eine Verkleinerung, Vergrößerung, einen Ausschnitt oder auch einen Zusammenhang dar (vgl. Anton, 2019). Dies zeigt schon die Schwierigkeit den Begriff eindeutig zu definieren. Alle Bereiche haben allerdings gemeinsam, dass ein Modell ein Konstrukt eines Originals ist. Es erklärt den Gegenstand des Originals oder interpretiert Ergebnisse und Beobachtungen von wissenschaftlichen Untersuchungen. Die Realität ist mit einem Modell nicht darstellbar und das Modell ist nur für einen begrenzten Zeitraum gültig. Demnach ist ein Modell sowohl subjekt- und zweckbezogen als auch zeitbezogen. Ebenso kann ein Modell nur gewisse Eigenschaften des Originals wiedergeben, die die Konstrukteur*innen für ausschlaggebend hält. Ein Modell ist somit kein Abbild des Originals, sondern hilft uns wissenschaftliche Phänomene besser zu verstehen (vgl. Krüger, Kauertz, & Upmeyer zu Belzen, 2018; Keller, 1977; Barke, Harsch, Kröger, & Marohn, 2018).

2.2 Nutzen von Modellen

In der Wissenschaft dienen Modelle dem Erkenntnisgewinn über die Realität, aber auch der Kommunikation. Für einen fruchtbaren Diskurs zählt ein gemeinsames Verständnis der Sachverhalte als Grundvoraussetzung. Eine allgemein gültige Auffassung eines Modells unterstützt bei der Kommunikation über chemische Sachverhalte und erleichtert den Weg der Erkenntnisgewinnung (vgl. Bindernagel & Eilks, 2008). Modelle werden verwendet, um von speziellen Ergebnissen oder Beobachtungen allgemeine Konzepte zu entwickeln oder um von allgemeinen Konzepten auf einen speziellen Fall schließen zu können. Dabei werden das Wechselspiel und die Bedeutung der Induktion und der Deduktion für die Wissenschaft aufgezeigt. In der Naturwissenschaft der Chemie wird vor allem der empirisch induktive Weg gewählt. Dabei werden von Beobachtungen bei Experimenten allgemein gültige Modelle und Konzepte entwickelt. Für die Gültigkeit dieser Hypothesen werden weitere empirische Untersuchungen durchgeführt und somit die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass diese als allgemeingültig angenommen werden können (vgl. Keller, 1977). Modelle werden also verwendet, um Erkenntnisse darzustellen und Ergebnisse zu repräsentieren. Bei der Entwicklung von Modellen spielen die Modellierenden eine wesentliche Rolle. Diese entscheiden, welche Art von Anschauung am besten die Ergebnisse darstellt und entscheiden den Kontext der Darstellung (vgl. Bindernagel & Eilks, 2008).

Bei der Vermittlung chemischer Prozesse bewegt man sich zwischen drei Ebenen, die zusammengefasst unter dem Namen *Johnstone Dreieck* oder *chemisches Dreieck* bekannt sind. Es zeigt das Wechselspiel der *Symbolischen*, der *Makroskopischen* und der *Submikroskopischen Ebene* der Chemie, vgl. Abbildung 1. Unter der Makroskopischen Ebene, kurz auch „Makro-Ebene“, versteht man die

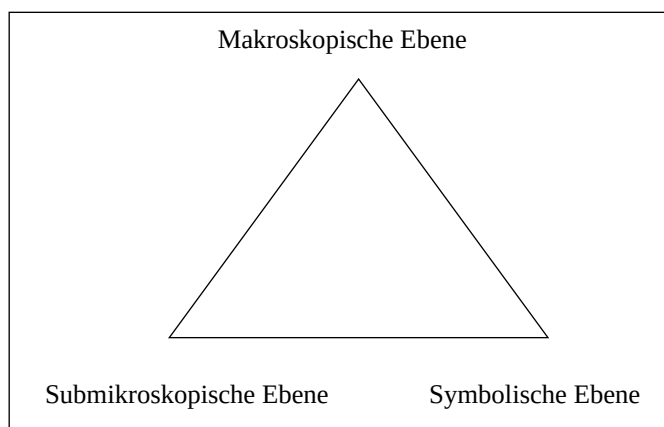


Abbildung 1: Johnstone Dreieck (verändert nach Barke, 2006, S.31)

sichtbaren Stoffe und deren sichtbare Eigenschaften. Die Submikroskopische Ebene, kurz auch „Submikro-Ebene“, beschreibt die Vorgänge auf Teilchenebene, also die Atome und Moleküle. Abgeschlossen wird dies von der dritten Ebene, der Symbolischen Ebene. Unter dieser werden die chemischen Symbole, Formeln und Gleichungen, sowie Tabellen und Graphiken verstanden. Eine Erweiterung des Johnstone Dreiecks wurde 2004 durch Peter Mahaffy durchgeführt, indem er zu den

drei Ebenen noch eine vierte hinzufügte. Im *chemischen Tetraeder* oder *Mahaffy Tetraeder* wird das Johnstone Dreieck mit der menschlichen Komponente (= *human element*) ergänzt, vgl. Abbildung 2. Damit soll der Fokus auf den Bezug zur Alltagswelt der Lernenden und die gesellschaftlichen Aspekte der Chemie gelegt werden. Durch schüler*innenzentrierte Ansätze sollen die chemischen Lernprozesse im Mittelpunkt stehen und vermehrt auch Forschungsliteratur

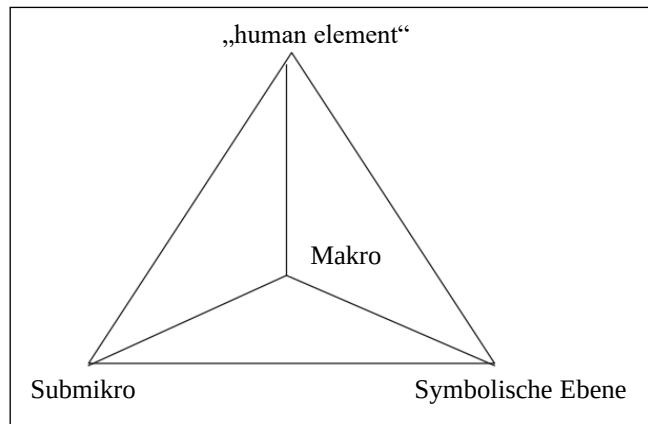


Abbildung 2: Mahaffy Tetraeder (verändert nach Sjöström, 2011, S. 1880)

zur Planung des Unterrichts verwendet werden. Modelle dienen nun zur Unterstützung beim Wechsel zwischen den vier Ebenen und sollen dadurch den wissenschaftlichen Erkenntnisweg den Schüler*innen näherbringen (vgl. Barke, 2006; Krüger, Kauertz, & Upmeier zu Belzen, 2018; Sjöström, 2011).

In weiterer Folge tragen Modelle einen großen Beitrag zu einem naturwissenschaftlichen Grundverständnis (= Nature of Science) bei. Unter einer naturwissenschaftlichen Grundbildung werden die Fähigkeiten naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden verstanden. Das bedeutet, dass naturwissenschaftliche Fragen in Situationen erkannt werden sollen und naturwissenschaftliche Schlussfolgerungen gezogen werden können. Ziel ist es naturwissenschaftliche Kontexte und die damit verbundenen Entscheidungen verstehen zu können, sodass die Welt, das menschliche Handeln und Veränderungen nachvollziehbar sind. Dabei stellt der wissenschaftliche Forschungsprozess, also das Formulieren, Überprüfen und Verwerfen bzw. Akzeptieren einen wesentlichen Beitrag dar. Diese Arbeitsweise hilft den Schüler*innen das Zustandekommen naturwissenschaftlicher Theorien nachvollziehen zu können (vgl. Höttecke & Hopf, 2018; Reiners, 2017). Modelle sollen die Lernenden beim Lernen von Naturwissenschaften, beim Lernen über Naturwissenschaften und beim Forschen unterstützen, um ein naturwissenschaftliches Grundverständnis ausbilden zu können. Dabei ist vor allem die Darstellung der Informationen in Modellen entscheidend, da diese für ein allgemeines Verständnis der Sachverhalte verantwortlich sind (vgl. Justi & Gilbert, 2002).

2.3 Modellkompetenz

Modelle werden in der Naturwissenschaft verwendet, um die Realität besser zu verstehen und dadurch den Weg der Erkenntnisgewinnung zu vereinfachen, sodass ein naturwissenschaftliches Grundverständnis ausgebildet werden kann. Das Arbeiten und Lernen mit Modellen umfasst drei Kategorien, die die Grundpfeiler für eine ausgeprägte Modellkompetenz darstellen: das Modellwissen, die Modellarbeit und das Modellverständnis (vgl. Meisert, 2008). Das Modellwissen wird auch als *learning science* bezeichnet und umfasst das fundierte Fachwissen zu modellbasierten Kenntnissen im Sinne grundlegender Modelle. Dies beinhaltet das deklarative Wissen bzw. Sachwissen über den theoretischen Inhalt der Modelle (vgl. Leisner-Bodenthin, 2006; Meisert, 2008). *Doing science* bezeichnet das Nutzen von Modellen. Modelle werden in fachspezifischen Bereichen für die Erkenntnisgewinnung verwendet und stetig überprüft, sodass die Modelle weiterentwickelt werden und neue Modelle generiert werden. Diese Tätigkeiten werden bei Meisert (2008) als Modellarbeit zusammengefasst und betreffen das prozedurale Wissen, also das Anwenden des theoretischen Inhalts im Lernprozess und in Problemlösesituationen. Für die naturwissenschaftliche Grundbildung bedarf es noch des Modellverständnisses, welches die Umsetzungsfähigkeit des deklarativen und des prozeduralen Wissens misst. Damit wird das Arbeiten mit Modellen und das Verstehen der Bedeutungen von Modellen unter dem Ausdruck *learning about science* oder Selbstständigkeitsgrad zusammengefasst, um das übergeordnete Ziel, das generelle Wissenschaftsverständnis zu erreichen. Zu beachten ist, dass ein Modellverständnis zwar hinreichend, aber nicht notwendig für ein Wissenschaftsverständnis ist (vgl. Leisner-Bodenthin, 2006; Meisert, 2008).

Die Einteilung der Modellkompetenz in die Bereiche Modellwissen, Modellarbeit und Modellverständnis kann auch durch drei Niveaustufen beschrieben werden, die die Fähigkeit, die Modelle im Erkenntnisprozess aktiv zu nutzen, unterteilen. Level 1 beschreibt ein direktes Verständnis, bei welchem die Lernenden von einer direkten Übertragung der Eigenschaften des Originals auf das Modell ausgehen und das Modell dem Original gleichgesetzt ist. Lernende in der zweiten Stufe besitzen bereits das Wissen, dass Modelle nur Repräsentanten des Originals sind. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Modelle die Realität wiedergeben. Für Personen, die bereits ein Modellverständnis auf dem Niveau 3 erreicht haben, dienen Modelle zum Erkenntnisgewinn. Dies zeichnet sich durch das Verständnis, dass Modelle zur Überprüfung von Ideen und weniger als Anschauungsmodell genutzt werden und das aktive Nutzen und Verändern der Modelle, aus (vgl. Bindernagel & Eilks, 2008; Meisert, 2008). Nach Leisner-Bodenthin (2006) wird empfohlen die Modellkompetenz noch in „domänenspezifischer und -übergreifender“ (Leisner-Bodenthin, 2006, S. 94) Kompetenz zu differenzieren, da den Schüler*innen das Übertragen des Wissens über Modelle auf

andere Sachverhalte schwerfällt. Die domänenübergreifende Kompetenz beruht auf mehreren domänenspezifischen Kompetenzen und wird durch die Transferfähigkeit auf neue Modelle ausgebildet (ebd.).

Neben der allumfassenden Modellkompetenz, die durch den naturwissenschaftlichen Unterricht zu einer naturwissenschaftlichen Grundbildung führen soll, kann diese noch in fünf Teilkompetenzen eingeteilt werden, die in Tabelle 1 beschrieben werden. Das Ziel soll sein, in diesen fünf Unterkategorien des Verständnisses über Modelle das wissenschaftliche Niveau III zu erreichen. Bei den *Eigenschaften von Modellen* wird ein Vergleich der Eigenschaften, die im Modell sichtbar sind, mit jenen des Phänomens gezogen. Im vorwissenschaftlichen Niveau I gehen die Lernenden von einem direkten Verhältnis der Eigenschaften zum Original aus und übertragen die Eigenschaften eins zu eins auf das Modell. Je wissenschaftlicher das Verständnis über Modelle ist, desto ausgeprägter ist die Modellkompetenz. Dies wird auch durch die Teilkompetenz *Zweck von Modellen* beschrieben. Dabei wird das Verständnis über den Sinn und die Verwendung verdeutlicht. (vgl. Krüger, Kauertz, & Upmeyer zu Belzen, 2018).

	Niveau I	Niveau II	Niveau III
Eigenschaften von Modellen	Modelle sind Kopien	Modelle sind idealisierte Repräsentationen	Modelle sind theoretische Rekonstruktionen
Zweck von Modellen	Modellobjekte zur Beschreibung / Visualisierung	Modelle erklären bekannte Zusammenhänge von Variablen im Ausgangsobjekt	Modelle sagen Zusammenhänge von Variablen über zukünftige Ereignisse voraus
Alternative Modelle	Unterschiedliche Konstruktionen führen zu unterschiedlichen Modellobjekten	Ausgangsobjekt ermöglicht unterschiedliche Modelle	Verschiedene Hypothesen führen zu verschiedenen Modellen
Testen von Modellen	Modellobjekte überprüfen	Vergleichen des Verhaltens von Modellen und dem Original	Überprüfen von Hypothesen bei der Anwendung
Ändern von Modellen	Mängel am Modellobjekt beheben	Modell aufgrund neuer Erkenntnisse modifizieren	Modelle aufgrund falsifizierter Hypothesen revidieren

Tabelle 1: Teilkompetenzen der Modellkompetenz (verändert nach Krüger, Kauertz, & Upmeyer zu Belzen, 2018, S. 149)

Zwischen dem einfachen Verständnis der Modelle als Anschauungsobjekte, über die Zusammenhänge zwischen den Faktoren des Modells und dem Original bis hin zu zukünftigen Aussagen über bestimmte Variablen wird differenziert. Im Bereich der *alternativen Modelle* wird die Kompetenz der Einzigartigkeit eines Modells für ein bestimmtes Phänomen aufgezeigt. Die beiden letzten Bereiche *Ändern* und *Testen von Modellen* beschreiben die Kompetenz der allgemeinen Gültigkeit von Modellen und deren Überprüfbarkeit. Im Zuge dessen wird ein Verständnis über wissenschaftliche Forschungsmethoden und Hypothesenbildung benötigt (vgl. Krüger, Kauertz, & Upmeyer zu Belzen, 2018).

2.4 Lernen mit Modellen

Für eine ausgeprägte Modellkompetenz wird das Wissen über die Modelle sowie das Arbeiten und Anwenden von Modellen benötigt, sodass ein ausreichendes Modellverständnis vorhanden ist. Dafür muss ein Wechsel zwischen der Erfahrungswelt und der Modellwelt erfolgen. Bei der Erfahrungswelt handelt es sich um direkt wahrnehmbare Ereignisse, die auf alltäglichen Erfahrungen sowie fiktiven oder konkreten Experimenten beruhen. Die Modellwelt beschäftigt sich mit nicht direkt wahrnehmbaren Phänomenen und Annahmen. Dabei kann es sich um mathematische, simulierende, bildhafte oder deskriptive Modelle handeln. Sinnvoll ist es hierbei eine konkrete Differenzierung der beiden Welten zu forcieren und damit die Alterität der Modellwelt und der Erfahrungswelt darzulegen. Dadurch werden die metakonzeptuellen Fähigkeiten gestärkt, also die Fähigkeit zwischen den beiden Welten zu wechseln. In den Naturwissenschaften finden sich alle Arten von Modellen wieder, wobei im Chemieunterricht der Sekundarstufe I hauptsächlich die bildhaften und die deskriptiven Modelle Anwendung finden. Bei der Entwicklung von Modellen wird von der Erfahrungswelt ausgegangen, um ein entsprechendes Denkmodell und ein Anschauungsmodell zu entwickeln. Die Modellierung der Modelle unterliegt der Wahrnehmung der Entwerfenden, sodass in dem abstrakten Denkmodell nur die wesentlichen Informationen enthalten sind, inklusive weiterer für das Verständnis nötige allgemein gültige Gesetze. Bei der Projizierung vom abstrakten zum konkreten Anschauungsmodell werden irrelevante Informationen und Eigenschaften benötigt, um dies in der Realität darzustellen. Das Verständnis über den Entwicklungsprozess eines Denk- und Anschauungsmodells steigert das Modellverständnis. Für Lernende ist es zwar kaum möglich von einem Phänomen ein geeignetes Denkmodell zu entwickeln, sehr wohl ist es aber möglich von dem konkreten Anschauungsmodell ein abstraktes Denkmodell zu entwickeln, in dem zwar anfangs noch irrelevante Informationen enthalten sind, diese aber durch ausführliches Studium als solche identifiziert werden können (vgl. Barke, Harsch, Kröger, & Marohn, 2018; Leisner-Bodenthin, 2006; Mikelskis-Seifert & Leisner, 2004).

Die Modelle können nach drei Kriterien definiert werden: Dem *Abbildungsmerkmal*, das bedeutet, sie sind ein Repräsentant des Originals, also eine Abbildung dessen. Des Weiteren können Modelle nicht alle Eigenschaften des Originals wiedergeben und beinhalten das *Merkmal der Verkürzung*. Das dritte Kriterium von Modellen in der Chemie, das *Subjektivierungsmerkmal*, besagt, dass Modelle nur für eine bestimmte Zeit und für eine bestimmte Zielgruppe gültig sind (vgl. Barke, 2006). In der Chemie der Sekundarstufe I versteht man unter einem Modell entweder ein Denkmodell für konkrete Sachverhalte oder ein Anschauungsmodell, um die Vorgänge zu verdeutlichen (vgl. Barke, Harsch, Kröger, & Marohn, 2018). Die Denkmodelle stehen im ständigen Wechsel durch die neuen Errungenschaften der Wissenschaftler*innen. Ob das Atommodell, das Modell der chemischen Bindungen, der chemischen Struktur oder die verschiedenen Modelle der chemischen Reaktionen, Modelle ziehen sich durch die grundlegenden Theorien der anorganischen Chemie und so durch die Anfänge des Chemieunterrichts. Damit diese Denkmodelle an Abstraktion verlieren, werden verschiedenste Anschauungsmodelle zur Verbildlichung verwendet. Diese können haptische, illustrative oder digitale Darstellungen sein. Haptische und illustrative Modelle werden im Chemieunterricht öfters eingesetzt als digitale Darstellungen, obwohl diese viele neue Möglichkeiten bieten, ein Modellverständnis zu vermitteln. Bei den haptischen und illustrativ-interaktiven Modellen spielen im Chemieanfangsunterricht vor allem jene von Molekülstrukturen eine große Rolle für das Ausbilden von Denkstrukturen zum Aufbau der Materie. Ein Beispiel dafür sind die verschiedenen Darstellungsformen von Molekülstrukturen, wie in Abbildung 3 dargestellt.

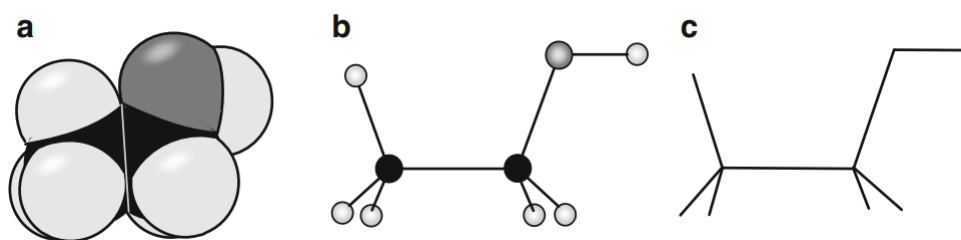


Abbildung 3: a) Kalotten Modell, b) Kugel-Stab-Modell, c) Stabmodell von Ethanol (Barke, Harsch, Kröger, & Marohn, 2018, S. 248)

Hierbei sind Kalotten, Kugel-Stab- und Stabmodelle beliebte Darstellungsformen, die sowohl als Bilder als auch mit den haptischen Molekülbaukästen Anwendung im Unterricht finden. Da diese Modelle für die Schüler*innen in der direkten Erfahrungswelt wahrgenommen werden und nicht alle Eigenschaften der Darstellungen auch in der Modellwelt übernommen werden dürfen, verbirgt sich in den Anschauungsmodellen Potenzial, dass die Schüler*innen Schwierigkeiten beim Ausbilden der Denkmodelle haben (vgl. Barke, Harsch, Kröger, & Marohn, 2018; Przywarra & Risch, 2019). Die zunehmende Digitalisierung birgt auch Vorteile für die Darstellung von Modellen. Die Verwendung von digitalen Medien erhöht nicht nur die Lernmotivation und Leistungsbereitschaft der Lernenden,

sondern minimiert auch die Gefahr die Erkenntnisse der Erfahrungswelt in die Modellwelt zu übertragen. Mit verschiedensten Animationen können die Eigenschaften der illustrativen digitalen Modelle verändert und als variabel für das wissenschaftliche Phänomen, also als irrelevante Informationen, verdeutlicht werden (vgl. Barke, Harsch, Kröger, & Marohn, 2018; Przywarra & Risch, 2019).

2.5 Grenzen und Schwierigkeiten von Modellen

Die in Kapitel 2.1 dargelegte Vielfalt des Begriffs Modell verbirgt bereits die erste Schwierigkeit für Schüler*innen beim Lernen von und mit Modellen. Wenn die Kinder mit Spielzeugen wie kleinen Automodellen oder einem Modell unserer Welt in Form eines Globus konfrontiert werden, wird der Begriff Modell nicht hinterfragt, sondern es wird angenommen, dass die Originale abgesehen von gewissen Eigenschaften, wie der Größe, dem Modell entsprechen. In den Naturwissenschaften muss der Begriff Modell allerdings exakter definiert werden, da die Schüler*innen Kongruenzen des Aussehens zwischen den Modellen und ihren Originalen herstellen und die Erfahrungswelt mit der Modellwelt verbinden. Aus diesem Grund muss bei der Verwendung von Begriffen aus dem Alltag besonders auf die Klärung der Bedeutung des Begriffs geachtet werden. Dies kann mit der Einführung von neuen Fachbegriffen verglichen werden, da die Schüler*innen die Bedeutungen dieser spezifischen Begriffe ebenfalls erst lernen müssen (vgl. Leisen, 2015; Reiners & Saborowski, 2017; Streller, Bolte, Dietz, & Noto La Diega, 2019). Modelle stellen grundlegende Annahmen zu einem naturwissenschaftlichen Phänomen dar, die für den Modellierer von Bedeutung für das Verständnis sind. Demnach können Modelle nur einen Teil der Eigenschaften darstellen und nicht die Wirklichkeit. Es werden also gewisse Aspekte vernachlässigt und bei der Erarbeitung von Anschauungsmodellen bestimmte Eigenschaften hinzugefügt. Die Grenzen und Möglichkeiten der Darstellungsarten verbergen Schwierigkeiten für die Schüler*innen. Die Auswahl der Modelle soll an das Verständnis der Schüler*innen angepasst werden, das bedeutet, dass der Komplexitätsgrad entsprechend gewählt werden muss, sodass die Lernenden mit ihrer bis dato entwickelten Modellkompetenz die grundlegenden Aspekte der Modelle nachvollziehen können. Ebenso spielt aber vor allem das Verständnis des Modellbegriffs eine Rolle beim Lernen mit Modellen. Der Wechsel zwischen der Erfahrungswelt und der Modellwelt ist für die Schüler*innen eine Herausforderung, das bedeutet, dass viele Lernenden die Modelle als Abbildung der Realität wahrnehmen und die Eigenschaften der Modelle auf die tatsächlichen chemischen Sachverhalte projizieren. Demnach besitzen Atome für viele Schüler*innen eine Farbe und sind kreis- oder kugelförmig. Damit werden auch die Schwierigkeiten beschrieben, die beim Wechsel zwischen der Makro-Ebene und der Submikro-Ebene nach dem

Johnstone Dreieck auftreten, vgl. Abschnitt 2.2. Die auf der makroskopischen Ebene anschaulichen Modelle stellen für die Schüler*innen eine Idealisierung von realen Sachverhalten dar und sie projizieren die Eigenschaften auf die Submikro-Ebene. Computersimulationen bieten hierbei neue Möglichkeiten, die für die Sachverhalte irrelevanten Informationen anschaulich herauszufiltern und in verschiedenster Art und Weise in kurzer Zeit verändern zu können (vgl. Fendt, 2019; Reiners, 2017).

Für den Wechsel in die Modellwelt können fehlendes Fachwissen, mangelnde Kreativität oder Kongruenzen hemmend wirken. Werden die in der Erfahrungswelt dargebotenen Inhalte als nicht zielführend angesehen oder die Schüler*innen zu wenig Fachwissen besitzen und die entsprechenden Analogien fehlen, ist ein Wechsel in die Modellwelt für die Lernenden nicht zweckmäßig. Ebenso können bestimmte Worte in der Aufgabenstellung verfälschte Analogien herstellen und die Schüler*innen dadurch in eine andere Richtung lenken sowie die Herstellung der wünschenswerten Modellvorstellung beeinflussen (vgl. Göhner & Krell, 2021).

Ein weiterer Aspekt, der für die Entwicklung von Modellkompetenz eine Rolle spielt, sind die Schüler*innenvorstellungen. Ein Beispiel dafür zeigt sich durch den Wechsel vom kontinuierlichen Aufbau zum Diskontinuum. Zentrale Fragen zum Modelleinsatz stellt hier der Komplexitätsgrad der Modelle dar. Wie einfach bzw. komplex sollen die Modelle dargestellt werden, sodass für die Schüler*innen der Wechsel zwischen den beiden Ebenen möglichst einfach erfolgt. Die Schüler*innenvorstellung des kontinuierlichen Aufbaus der Materie wirkt dem Aufbau des Modellverständnisses entgegen (vgl. Fendt, 2019). Die Schüler*innen benötigen für den Einsatz und das Nutzen von Modellen ein hohes Maß an Abstraktionsvermögen, das sich allerdings erst im Laufe des Teenageralters entwickelt. In der Sekundarstufe I kann davon ausgegangen werden, dass die Lernenden noch kaum das abstrakte Denken beherrschen, weshalb bei der Vermittlung von Modellen darauf Rücksicht genommen werden muss (vgl. Bliss, 1996; Keller, 1977).

Die Vorstellungen der Schüler*innen zur Modell- und Erfahrungswelt können ebenso nach den fünf Teilbereichen der Modellkompetenz eingeteilt werden. Dabei finden sich sowohl fehlerhafte als auch unvollständig ausgebildete Vorstellungen der Schüler*innen zu den Modellen und dem Modellieren. In einer Studie haben Trier, Krüger und Upmeyer zu Belzen (2014) Schüler*innen und Wissenschaftler*innen nach ihren Vorstellungen und ihrer Modellkompetenz interviewt und die Ergebnisse in die Kategorien der Modellkompetenz (vgl. Tabelle 1 in Abschnitt 2.3) *Eigenschaften von Modellen*, *Zweck von Modellen*, *Alternative Modelle*, *Ändern von Modellen* und *Testen von Modellen* eingeteilt. Dabei treffen die Vorstellungen der Lernenden auf die Vorstellungen zu Modellen auf dem

vorwissenschaftlichen Niveau I zu. Das bedeutet für die *Eigenschaften von Modellen*, dass die Schüler*innen von der Gleichheit zwischen dem Original und dem Modell ausgehen und dass das Modell das Phänomen idealisiert darstellt. Schüler*innen verstehen Modelle nicht nur zur Veranschaulichung und Erklärung eines wissenschaftlichen Phänomens, sondern auch für alltäglichere Handlungen, wie zur Dekoration oder für Hobbies. Das bedeutet, dass die Lernenden den Unterschied zwischen Modellen aus dem Alltag und wissenschaftlichen Denk- und Anschauungsmodellen nicht eindeutig nachvollziehen können. Bei *alternativen Modellen* ist die Meinung, dass ein Modell nur für ein Phänomen benutzbar ist und man nur mehrere benötigt, falls eines gebrochen ist, vertreten. Ebenso besitzen die Schüler*innen Vorstellungen, dass die verschiedenen Modelle verschiedene Aspekte des Phänomens zeigen bzw. für verschiedene Zielgruppen aufbereitet sind. Modelle werden durch Experimente, Diskussionen und deren Funktionsfähigkeit stetig behandelt, um Wissen über die Verständlichkeit zu erlangen und um neue Erkenntnisse über das Original zu finden. Beim Aspekt *Ändern von Modellen* reichen die Meinungen der Schüler*innen von „ein Modell ist für immer gültig“ bis zu „ein Modell muss aufgrund neuer Informationen verändert werden“. Die Studie zeigt, dass bei Lernenden sowohl in Bezug auf konkrete Beispiele das Verständnis von Modellen fortgeschritten sein kann, allerdings bei der Anwendbarkeit und beim Prozess des Modellierens sind noch Verbesserungen möglich sind. Dies könnte auf die wenig bis kaum vorhandenen Möglichkeiten, die Modelle in der Schule zu überprüfen, zurückzuführen sein (vgl. Trier, Krüger, & Upmeyer zu Belzen, 2014). Die Modelle sind Produkte wissenschaftlicher Forschungsarbeiten und repräsentieren die Ergebnisse und somit die Natur der Naturwissenschaften. Modelle als Schlussfolgerungen dieser naturwissenschaftlichen Forschung implizieren ein Wissen über diese Arbeitsweisen. Ein unzureichendes Verständnis führt dazu, dass die Schüler*innen die Vorstellung haben, dass die naturwissenschaftlichen Theorien Fakten sind und der Wirklichkeit angehören und nicht bis zum jetzigen Wissensstand vorläufig akzeptierte Hypothesen sind (vgl. Höttecke & Hopf, 2018).

3. Lehr-Lernforschung

Um ein erfolgreiches Unterrichtskonzept zur Entwicklung der Modellkompetenz zusammenstellen zu können, bedarf es eines Wissens über die Theorien der Lehr- und Lernforschung, um die Lerninhalte bestmöglich für die Schüler*innen aufbereiten zu können. In der Lehr- und Lernforschung der Naturwissenschaften sind vor allem zwei Theoretiker vertreten: Jean Piaget und Wygotski. In diesem Kapitel werden die Entwicklungsstufen des menschlichen Denkens erläutert und anschließend die Lerntheorien von Piaget und Wygotski dargestellt und diskutiert, um abschließend die Bedingungen für erfolgreiches Lernen zusammenfassen zu können. Abschließend werden Lehrformen, die sich aus den Bedingungen für erfolgreiches Lernen herauskristallisieren, vorgestellt.

3.1 Entwicklungsstufen nach Piaget

Nach dem Schweizer Entwicklungspsychologen Jean Piaget (1896 – 1980) erfolgt die Entwicklung der Intelligenz und des Denkens nach vier wesentlichen Stufen: der *sensomotorischen Phase*, der *präoperationalen Phase*, der *konkret operationalen Phase* und der *formal operationalen Phase*. Die Altersgrenzen der einzelnen Stufen sind als Richtlinie zu betrachten, da die Entwicklung individuell erfolgt und die Stufen kontinuierlich aufeinander aufbauen, sodass die Grenzen verschwimmen. Eine Weiterentwicklung des Denkens wird durch ein zunehmendes Gleichgewicht zwischen der Organisation des bereits vorhandenen und der Anpassung an neues Wissen vorangetrieben (vgl. Nurrenbern, 2001). Die Anpassung beschreibt die Äquilibration, also das Gleichgewicht zwischen den individuellen Strukturen und den „Anforderungen der Umwelt“ (Gräbern & Stork, 1984, S. 194). Dadurch wird ein kognitiver Konflikt hervorgerufen und die Erweiterung der Denkstrukturen begünstigt. Unter Äquilibration werden die beiden Denkstrukturen der Akkommodation und Assimilation zusammengefasst. Die Akkommodation beschreibt die Anpassung der individuellen Strukturen an die Umwelt. Die Assimilation beschreibt die Anpassung der Umwelt an die individuellen Strukturen (vgl. Gräbern & Stork, 1984).

Die *sensomotorische Phase* beschreibt die erste Stufe der Entwicklung. Von der Geburt bis zum Alter von zwei Jahren begreift das Kind die Welt durch direkte Wahrnehmungen. Seine Umwelt mit realen Objekten wird durch den Tastsinn des Kleinkindes wahrgenommen und begreifbar gemacht. Nach einem Jahr wird eine Objektpermanenz entwickelt, das bedeutet, das Baby weiß, dass es Objekte gibt,

auch wenn diese zu dem Zeitpunkt nicht vorhanden sind. Es wird zwischen einem selbst und der Umwelt unterschieden. Die zweite Phase wird in etwa zwischen zwei und sieben Jahren durchlaufen. In der *präoperationalen* Entwicklungsstufe, die mit dem Erwerb der Sprache beginnt, wird ein symbolisches Denken ausgeprägt und bekannte Modelle werden auf andere Situationen angewendet. Mit vier Jahren entwickelt das Kind nun ein Verständnis für funktionale Beziehungen und schreibt Objekten eine Lebendigkeit zu (vgl. Goerigk & Schmithüsen, 2019; Piaget, Kohler, Goldmann, Moser, & Aebli, 2015).

Ab sieben Jahren befinden sich die Kinder in der Phase des *konkret operationalen* Denkens. In diesem Stadium können logische Schlussfolgerungen mit konkreten Inhalten getroffen und Klassen, Zahlen und Relationen zugeordnet werden (vgl. Goerigk & Schmithüsen, 2019; Piaget, Kohler, Goldmann, Moser, & Aebli, 2015). Die Denkstrukturen beruhen zwar auf konkreten Handlungen und Objekten, können aber teilweise verallgemeinert werden. Kinder sind in der Lage komplexere Handlungen in ihrem Kopf auszuführen und erlernen die „Prinzipien der Invarianz der Menge, des Gewichts und des Volumens“ (Gräber & Stork, 1984, S. 196). Mit elf Jahren beginnen die Kinder das *formal operationale* Denken auszubilden. Die Denkopoperationen werden mit abstrakten, nicht konkret vorstellbaren Inhalten durchgeführt. Hierbei stützt sich das Denken vor allem auf formale Elemente und Symbole. Lernende, die sich in diesem Bereich der Entwicklung befinden, zeichnen sich durch hypothetisch-deduktives Denken aus. Das bedeutet, dass nicht mehr die Erfahrung das Denken allein prägt, sondern Annahmen und Implikationen aufgrund reinen Nachdenkens und Reflektierens getroffen werden (vgl. Goerigk & Schmithüsen, 2019; Piaget, Kohler, Goldmann, Moser, & Aebli, 2015).

3.2 Der Weg vom Konkreten zum Abstrakten

Am Ende der Sekundarstufe I in der 8. Schulstufe befinden sich die Schüler*innen am Übergang zwischen dem konkret operationalen Denken und dem formal operationalen Denken. Gräber W. und Stork H. haben bereits 1984 Studien zur Entwicklung des formal-operationalen Denkens durchgeführt und fanden heraus, dass diese Phase frühestens mit 13 bis 14 Jahren erreicht werden kann. In der 9. Schulstufe mit Schüler*innen zwischen 14 und 15 Jahren haben der Studie nach nur 15 Prozent das Stadium des formal operationalen Denkens erlangt. Weitere Studien ergaben, dass vor allem Studierende von naturwissenschaftlichen Fächern formal-operational denken (vgl. Gräber & Stork, 1984). Diese Studie zeigt bereits, dass im Alter von 13 bis 14 Jahren in der 8. Schulstufe noch nicht die Rede von einem ausgeprägten abstrakten Denken im Sinne des formal operationalen Stadiums nach

Piaget sein kann. Daher müssen der Übergang und die Unterschiede zwischen dem konkret operationalen Denken und dem formal operationalen Denken genauer untersucht werden (vgl. Bliss, 1996). Diesen Ergebnissen anschließend hat man versucht Kinder gezielt zu fördern, um vermehrt die Phase des formal operationalen Denkens zu erreichen. Direkt im Anschluss an die Programme konnte kein signifikantes Ergebnis zur Verbesserung identifiziert werden, allerdings wurde in der Längsschnittstudie Jahre später eine Verbesserung in der Einstellung und der Art des Lernens festgestellt, die das Denken in abstrakten Strukturen und beim Bearbeiten von Aufgaben beeinflussen (vgl. ebd.). Die Studien von Piaget werden hauptsächlich für das Ausblenden der sozio-kulturellen und individuellen Einflüsse auf die kognitive Entwicklung kritisiert. Insbesondere die soziale Interaktion mit anderen und der Umwelt beeinflusst die kognitive Entwicklung von Jugendlichen. Der Mensch lernt von anderen Menschen und die Interaktion ist ein großer Bestandteil des erkenntnistheoretischen Lernens und kann die kognitive Entwicklung begünstigen oder beschränken (vgl. Schröder, 2002). Eberhard Schröder (1989) hat drei ausschlaggebende Punkte für den Unterschied zwischen den beiden Stadien zusammengefasst, die auf dem Wechsel zwischen objektpermanentem und abstraktem Denken beruhen:

1) Wirklichkeit vs. Möglichkeit

Formal operational Denkende lösen Überlegungen von dem Inhalt und versuchen die Aufgaben auf ein höheres Niveau zu bringen. Dadurch suchen sie zuerst nach möglichen Lösungen und vergleichen diese dann mit dem Sachverhalt auf Übereinstimmung. Im Gegensatz dazu bleiben konkret operational Denkende beim Sachverhalt und nehmen diesen als Bezugs- und Vergleichspunkt. Es wird nicht auf eine andere Ebene gewechselt (vgl. ebd.).

2) Empirisch-induktiv vs. Hypothetisch-deduktiv

Dieser Aspekt unterscheidet sich vom ersten Punkt vor allem in der Vorgehensweise, wie eine Aufgabe gelöst wird. Die Lernenden in der konkret operationalen Phase bleiben bei den Daten und versuchen anhand deren zu einer Lösung zu kommen, forschen also empirisch - induktiv. Die formal operational Denkenden abstrahieren die Daten wieder auf eine höhere Ebene und versuchen hierbei zutreffende Ergebnisse durch hypothetische Schlussfolgerungen zu erlangen (vgl. ebd.).

3) Intrapositional vs. Interpropositional

Beim Umgang mit aussagelogischen Aufgaben kann zwischen intrapositionalem und interpropositionalem Denken unterschieden werden. Schließt man nur von einer Form von Aussagen

auf das Ergebnis, so sind die Operationen intrapositional und man ist in der Phase des konkret operationalen Denkens. Betrachtet man mehrere mögliche Aussageformen und kann die Aussage transformieren, so sind die Operationen interpositional und man befindet sich bereits in der Phase des formal operationalen Denkens (vgl. ebd).

3.3 Aneignung von Wissen

Ziel von Unterricht und Lernen soll sein, dass sich die Kinder Wissen und Kompetenzen aneignen. Lernen ist ein komplexer Prozess im Gehirn und bedarf mehr als bloßer Aufnahme von Gesprochenem. Die Inhalte sollen im Gehirn verarbeitet, Synapsen verbunden und im Langzeitgedächtnis nachhaltig verankert werden. Wissen ist die Grundvoraussetzung für das Denken und bedarf der kognitiven Fähigkeit Muster und Strukturen wiederzuerkennen. Um Wissen zu generieren, muss dieses von den Lernenden neu konstruiert werden (vgl. Roth, 2003; Roth, 2017). Unter Wissen wird also „die jeweils domänenspezifisch konsolidierte Integration von Informationen in das Langzeitgedächtnis sowie deren flexible Verfügbarkeit bei Problemlösungen verstanden“ (Anton, 2019, S. 29), wobei dieses generierte Wissen subjektiv ist. In unserem Gedächtnis wird zwischen drei verschiedenen Kategorisierungen unterschieden: dem emotionalen Gedächtnis, dem deklarativen, expliziten und dem prozeduralen, impliziten Gedächtnis. Das emotionale Gedächtnis verknüpft die Erfahrungen mit positiven oder negativen Emotionen und beeinflusst nicht direkt die Aneignung von Wissen, spielt aber eine große Rolle bei der Motivation der Lernenden (vgl. Roth, 2003; Roth, 2017; Streller, Bolte, Dietz, & Noto La Diega, 2019). Das prozedurale Lernen erfolgt größtenteils automatisch und ist für Gewohnheiten und Konditionierungen aber auch für Fertigkeiten und Auswendiglernen in Folge von direkter Unterweisung verantwortlich. Für schulische Zwecke steht daher das deklarative Wissen im Mittelpunkt. Hierbei handelt es sich um das Gedächtnis für Wissen und Vertrautheit und es ist für neue Informationen über Ereignisse und Sachverhalte zuständig. Es sollen Zusammenhänge zwischen Daten und Fakten verstanden werden und dies erfolgt eher automatisch vor allem in offenen Unterrichtssequenzen (vgl. Anton, 2019; Roth, 2003; Roth, 2017).

3.4 Bedingungen für erfolgreiches Lernen

Die Aneignung von Wissen beruht nicht nur auf der Leistungsfähigkeit unseres Gehirns, sondern ist von vielen äußeren Faktoren abhängig. Diese können in drei Gruppen eingeteilt werden und umfassen die Persönlichkeit der Lehrperson, die Lernfähigkeit der Schüler*innen und die Professionalität des Unterrichts.

❖ Persönlichkeit der Lehrperson

Eine wesentliche Rolle für erfolgreiches Lernen im schulischen Kontext spielt die Person, die für die Vermittlung der Inhalte verantwortlich ist. In nur wenigen Sekunden überprüft unser Gehirn die Authentizität der Person durch Betrachtung der Mimik, Gestik und der Körperhaltung, sowie der Stimme der Lehrperson. Die Schüler*innen besitzen somit bereits nach dem Erstkontakt mit der Lehrperson entweder eine positive oder negative Assoziation, die die Motiviertheit und die Lernbereitschaft beeinflusst (vgl. Roth, 2003; Roth, 2017).

Neben dem ersten Eindruck überprüfen die Schüler*innen längerfristig die persönlichen Qualitäten der Lehrperson. Für eine gute Lehrer*innen-Schüler*innen-Beziehung sind Eigenschaften wie gegenseitiger Respekt und Vertrauen Grundbedingungen. Ebenso spielen Gerechtigkeit, Geduld, Humor und Freundlichkeit eine wichtige Rolle, um ein angenehmes und motivierendes Lernklima zu schaffen (vgl. Merzyn, 2017). Eine gute Lehrende-Lernende-Beziehung ist auch von Interesse und Verständnis geprägt, sowie ein gewisses Maß an Toleranz für Misserfolge und Frustrationen. Die Schüler*innen sollen durch die Motivation der Lehrperson und deren Spaß und Freude am Inhalt sowie am Arbeiten mit Lernenden ermutigt werden. Die selbstverständliche Beantwortung von Schüler*innenfragen soll den Lernprozess unterstützen. Um den Unterricht in einem angemessenen und ruhigen Lernklima durchführen zu können, sollte die Lehrperson Autorität und eine mittlere Strenge besitzen. Dadurch wird der Unterricht störungsarm und die Lernzeit kann effizient genutzt werden. Beim Ausmaß der Strenge muss Acht gegeben werden, da zu viel Strenge die Motiviertheit und Aktivität der Schüler*innen mindert und die Unterrichtsqualität senkt. Ein mittleres Maß an Strenge und Autorität sorgt allerdings für ein angenehmes Unterrichtsklima und fördert die Schüler*innenaktivität in der Schule (vgl. Merzyn, 2017; Roth, 2003; Roth, 2017; Weinert, 1998).

❖ Lernfähigkeit der Schüler*innen

Damit Lernen in der Schule erfolgreich gelingen kann, müssen die Schüler*innen gewisse Bedingungen mit sich bringen. Diese gliedern sich allgemein in die kognitive Lernfähigkeit und die Leistungsbereitschaft. Die kognitiven Lernfähigkeiten stellen die Grundbausteine für den Lernprozess dar. Bereits die frühkindlichen Erfahrungen mit dem Lernen beeinflussen die Leistungsbereitschaft in der Schule. Wird Lernen als eine positive Anstrengung empfunden und diese mit Lob anerkannt, steigert dies die Motivation und die positive Assoziation mit dem Lernen (vgl. Roth, 2003; Schneider, 2004). Wissen wird in unserem Gehirn durch Verknüpfungen mit bereits vorhandenen Inhalten strukturiert. Je mehr Informationen zu einem gewissen Thema bereits vorhanden sind, desto leichter kann an dieses Wissen angeknüpft werden und die neuen Inhalte können verankert und abgerufen werden. Das genaue Wissen über das Vorwissen, das die Kinder mit sich bringen, und die Anschlussfähigkeit des Stoffes helfen neue Verbindungen zu schaffen und erleichtern das Erinnern (vgl. Roth, 2017). Ein weiterer Aspekt, der betrachtet werden muss, sind die spezifischen Lernbegabungen der Schüler*innen. Darunter werden sowohl Begabungen in einzelnen Fachbereichen als auch kognitive Prozesse für die Leistungsentwicklung verstanden. Die Geschwindigkeit der Aufnahme und die Problemlösekompetenzen werden als ausschlaggebend angesehen (vgl. Roth, 2003; Schneider, 2004).

Erfolgreiches Lernen hängt nicht nur von den kognitiven Lernfähigkeiten, sondern auch von der Leistungsbereitschaft der Schüler*innen ab. Darunter wird die allgemeine Arbeitshaltung und die Aufmerksamkeit verstanden. Die Bereitschaft, die Inhalte zu lernen, drückt sich durch das Maß an Motivation, Konzentration und Aufmerksamkeit aus, das die Schüler*innen den Inhalten widmen. Eine erhöhte kognitive Anteilnahme unterstützt die Aufnahme detaillierter Informationen und hilft dem Gedächtnis die Sachverhalte ausreichend zu verknüpfen (vgl. Roth, 2017; Schneider, 2004). Motivation ist ein Schlüsselfaktor beim erfolgreichen Lernen, wobei zwischen intrinsischer und extrinsischer Motivation unterschieden wird. Von intrinsischer Motivation wird gesprochen, wenn Interesse und Spaß an der Aktivität vorhanden sind. Die Sache an sich bereitet Freude, man ist neugierig und wählt die Aufgabe selbst aus, das bedeutet, die Schüler*innen besitzen Autonomie. Im Gegensatz dazu steht die extrinsische Motivation, bei welcher die Aufgaben nur für instrumentelle Werte durchgeführt werden. Nach der Self-Determination-Theorie kann diese Art in vier Stufen eingeteilt werden. In die *externe Regulation*, *introjizierte Regulation*, *identifizierte Regulation* und *integrierte Regulation*, wobei die ersten beiden als negativ und die letzten beiden als positiv angesehen werden. Unter der *externen Regulation* versteht man Handlungen, die gemacht werden, um eine andere Person zufrieden zu stellen, zum Beispiel ein Kind lernt Klavier spielen, weil es die Eltern wollen, aber das Kind selbst eigentlich nicht. Die zweite negative Motivationsform, die *introjizierte Regulation*, wird bei Handlungen hervorgerufen, die man aufgrund von Druck oder Schuldgefühlen ausübt. Unter der *identifizierten*

Regulation versteht man Handlungen, die ausgeübt werden, weil die Person denkt, dass es für einen selbst von Bedeutung ist. Diese Form der Motivation beinhaltet schon mehr Autonomie und Selbstbestimmung. Eine weitere positive Form der extrinsischen Motivation ist die *integrierte Regulation*. Hierbei werden die Handlungen aus freiem Willen ausgeübt, man würde sie aber nicht machen, wenn die Übung keinen Nutzen hätte. Im schulischen Kontext wird selten die Form der intrinsischen Motivation erreicht, allerdings ist das Ziel das Interesse und den Nutzen der Aufgaben so darzustellen, dass die beiden positiven Formen der extrinsischen Motivation erreicht werden (vgl. Ryan & Deci, 2000).

Zu der allgemeinen Arbeitshaltung zählen auch die Ausdauer und der Fleiß, die gelernten Inhalte ausreichend zu üben. Erst durch mehrmaliges Wiederholen der Inhalte können diese im Gehirn verankert werden. Dabei ist empfehlenswert die Sachverhalte in möglichst vielen verschiedenen Kontexten einzustudieren, sodass diese in ausreichend unterschiedlichen Verknüpfungen im Gedächtnis vorhanden sind. Ein erneuter Vortrag der Thematik kann nicht dieselbe Wirkung wie aktives Erinnern erzielen, denn dabei werden die Inhalte im Gedächtnis umstrukturiert und leichter abrufbar. Durch das wiederholte Anwenden des Wissens werden die Prozesse automatisiert, sodass geistige Kapazitäten frei werden und kaum mehr Energie für das Verknüpfen und Erkennen von Begriffen und Wissen verwendet werden muss. Diese freien Kapazitäten können für neu zu generierende Inhalte genutzt werden. Aufgrund der Erfolge, die durch den Fleiß und die Ausdauer erzielt werden, werden mit dem leicht anregenden Stress der Lernsituation positive Erinnerungen geschaffen und die Motivation wird für weitere Lernprozesse und Erfolge gesteigert (vgl. Roth, 2003; Roth, 2017; Schneider, 2004; Stern, 2006).

❖ Professionalität des Unterrichts

Die Professionalität des Unterrichts baut auf den Voraussetzungen der Persönlichkeit der Lehrperson auf und besteht sowohl aus fachlichem Wissen als auch aus fachdidaktischem und pädagogischem Wissen und Können. Dabei soll das fachliche Verständnis mit fachdidaktischen und pädagogischen Kompetenzen vermittelt werden. Eine sorgfältige und gut strukturierte Unterrichtseinheit mit ausgewählten Lernzielen, die einen Alltagsbezug und eine entsprechende Aktivierung der Lernenden innehaben, sorgt für einen abwechslungsreichen und interesseweckenden Unterricht. Die fachlichen Kompetenzen sollen mit Hilfe des fachdidaktischen und curricularen Wissens die Grundlage für die anschauliche und altersgerechte Darlegung der Sachverhalte bilden (vgl. Merzyn, 2017). Für die erfolgreiche Vermittlung von Wissen wird eine angenehme Lernumgebung und Atmosphäre im Klassenraum benötigt. Es soll ein Raum für jegliche Art von Fragen geschaffen werden, sodass eine gute Lehrer*innen-Schüler*innen-Beziehung mit vertrauensvollem und respektvollem Umgang

entstehen kann. Dabei ist die Kompetenz der Klassenführung für das Unterrichtsklima vonnöten, die auf die jeweilige Situation und das Ziel der Lernzeit abgestimmt werden soll. Diese kann orientiert nach Leistung, Lernzeit oder Spielzeit variieren und hängt von der Unterrichtsmethode, aber auch von der jeweiligen Klasse ab (vgl. Merzyn, 2017; Weinert, 1998).

Die Auswahl und Vielfalt der Methoden besitzen einen besonderen Stellenwert im Unterricht. Der Unterricht soll variabel gestaltet und je nach Lerninhalten abwechslungsreich mit einem hohen Anteil an Schüler*innenaktivität vermittelt werden. Dabei ist das richtige Maß an instruktiven und selbstregulierenden Lerneinheiten gefragt und muss an das zu erwerbende Ziel angepasst werden. Der Lehrer*innenvortrag bietet die Möglichkeit spezifische Inhalte mit klarer Zielsetzung in einer leistungsbezogenen Sequenz zu vermitteln. Ergänzt soll dieser Unterricht von einer schüler*innenzentrierten Einheit werden, in der die Lernenden in Einzelarbeit oder Gruppenarbeit andere Aspekte des Themas, die ein handlungsorientiertes Ziel innehaben, mit indirekten Hilfen erarbeiten. Hier stehen das aktive Tun und die selbstständige Konstruktion von Wissen im Vordergrund und die Lehrenden dienen als Lernbegleiter und Unterstützer bei Fragen und Unklarheiten. Die Aufgaben dienen dazu, das bereits vorhandene Wissen anzuwenden und zu transferieren, um auf die gesuchte Lösung zu kommen. Ganz im Sinne von *Learning by doing* steht die Handlung im Vordergrund und es kann neues Wissen generiert werden (vgl. Bliss, 1996; Stern, 2006). Abschließend bedarf es noch einer ausreichenden Übung des Gelernten, bei welcher die richtige Auswahl der Aufgaben für die jeweiligen Schüler*innen getroffen werden muss. Die Aufgaben sollen an das jeweilige Niveau der Leistungen der einzelnen Schüler*innen angepasst werden. Leistungsschwächere Schüler*innen sollen demnach nicht überfordert und leistungsstärkere Schüler*innen nicht unterfordert werden. Die inklusive Förderung der Schüler*innen wird oft bei den Begabten nicht ausreichend durchgeführt. Die Lernenden verlieren dadurch an Motivation und Leistungsfähigkeit und können später bei schwierigeren Aufgaben nicht die nötige Konzentrationsfähigkeit und Ausdauer nachweisen, um die Aufgaben zu lösen (vgl. Roth, 2017; Schneider, 2004; Stern, 2006; Weinert, 1998).

3.5 Piaget und Wygotski als Grundlage des Konstruktivismus

Wie im vorherigen Kapitel 3.4 dargestellt, bedarf es für erfolgreiches Lernen in der Schule einer bedeutenden Anzahl an Faktoren, die berücksichtigt werden müssen. Dabei wird bereits seit Anfang des 20. Jahrhunderts über die beste Unterrichtsmethode für die Vermittlung von Wissen diskutiert. Für die Entwicklung der heutigen Theorien über die effektivsten Unterrichtsformen für erfolgreiches

Lernen werden hier zwei Beispiel von wichtigen Theoretikern des 20. Jahrhunderts vorgestellt und ihre Theorien diskutiert.

Jean Piaget (1896 – 1980) war einer der ersten Wissenschaftler*innen, die sich mit dem Lernen im Sinne des Konstruktivismus auseinandergesetzt haben. Sein Hauptinteresse galt der spontanen Entwicklung des Wissens, insbesondere jener im Kindesalter. Der Grundgedanke des Konstruktivismus ist, dass Lernen durch eine aktive Handlung vonstatten geht. Dabei ist nicht das Objekt oder der Sachverhalt der Handlung entscheidend für das Aneignen von Wissen, sondern die Handlung an sich. Die Lernenden reflektieren die Handlung von sich und anderen in ihrer Umwelt und abstrahieren so ihr Wissen über die Klassifikationen von Objekten und Sachverhalten. Dadurch musste die Rolle der Lehrperson und des Lernalters neu definiert werden und es entstand ein Wechsel von der Instruktion zur Konstruktion (vgl. Bliss, 1996).

Lew Semjonowitsch Wygotski (1896 – 1934) war ein sowjetischer Psychologe und sein Hauptinteresse galt den „Auswirkungen des schulischen Lernens und Lehrens auf die kognitive Entwicklung des Wissens“ (Bliss, 1996, S. 12). Wygotskis Lerntheorien beinhalten drei wesentliche Aspekte: das *Scaffolding*, das Potential der Entwicklung und die Sprache mit ihren kulturellen Ausprägungen. Scaffolding stellt einen wichtigen Beitrag für sozial-konstruktivistische Ansätze dar und bezeichnet die Unterstützung von Lernenden durch andere. Im Lernprozess sollen Schüler*innen zu Beginn sehr stark unterstützt werden, wobei die Unterstützung zunehmend rausgenommen werden soll und die Lernenden mehr Autonomie zurückgewinnen. Bei der Auswahl des Lernstoffes soll nicht der derzeitige Niveaustand als Grundlage verwendet werden, sondern immer von dem möglichen Entwicklungsstand, dem mit Hilfe von Lernunterstützer*innen erreichbaren Entwicklungsstand ausgegangen werden, der sogenannten *zone of proximal development* (ZPD). Für Wygotski spielen auch die Sprache und der kulturelle Hintergrund im Lernprozess eine wesentliche Rolle, da die Lernenden Sprache beherrschen müssen, damit überhaupt das Erlernte in qualitativ hochwertiges Wissen transformiert werden kann. Dabei ist auch entscheidend, welche elementaren Funktionen den Kindern aus ihrem kulturellen Erbe mitgegeben wurden und somit die Art des Erkenntnisgewinns verändern (vgl. ebd.). Nach Wygotski beruht der Wissenserwerb auf drei elementaren Bedingungen: Ausstattung der Spezies, der biologischen Reife und der individuellen Erfahrungen, wobei die Erkenntnis sowohl vom bereits vorhandenen Alltagswissen als auch von spontanen Vorstellungen abhängt (vgl. ebd.).

3.6 Lehrformen

Abschließend werden die Grundlagen aus den Kapiteln 3.4 und 3.5 zu den Bedingungen für erfolgreiches Lernen mit den konstruktivistischen Lerntheorien, die sich aus den grundlegenden Formen von Piaget und Wygotski entwickelt haben, verknüpft dargestellt und bilden somit den Abschluss der Betrachtung von den optimalen Lehr- und Lernmethoden. Dazu werden die beiden konstruktivistischen Theorien der *gemäßigte Konstruktivismus* und das *Scaffolding* diskutiert.

❖ Konstruktivismus

Die dargestellten Bedingungen für erfolgreiches Lernen münden in der zurzeit vorherrschenden Lerntheorie des Konstruktivismus, der in zwei verschiedenen Formen mündet:

- Radikaler Konstruktivismus: Wirklichkeit ist „kognitiv konstruierte Wirklichkeit“ (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 1996, S. 42)
- Gemäßigter Konstruktivismus: Wissen ist Konstruktion der Menschen und nicht eine Nachbildung der Wirklichkeit (vgl. ebd.)

Im schulischen Kontext findet sich vor allem der gemäßigte Konstruktivismus wieder und wird als Grundlage für die aktive Konstruktion von Wissen im Lernprozess angesehen. Ein erfolgreicher Lernprozess besteht im Konstruktivismus aus sechs Merkmalen: *Selbststeuerung*, *Aktivität*, *Emotionen*, *Konstruktion*, *Interaktion*, *Situierung*. Lernen ist ein *selbstgesteuerter* und *aktiver* Prozess. Die Schüler*innen müssen sich aktiv beteiligen und selbst den Steuerungsprozess für die Aneignung ihres Wissens leiten. Für den Lernprozess spielen *Emotionen*, insbesondere die Motivation, eine wichtige Rolle. Die Aneignung von Wissen kann nur erfolgen, wenn dieses aktiv in die Gedächtnisstruktur eingebaut wird, also ist Lernen ein *konstruktiver* Prozess und auch ein sozialer Prozess, da Lernen als *interaktive* Handlung angesehen werden kann. Damit das Wissen sinnvoll im Kontext in die Wissensstruktur eingebaut werden kann, werden die Inhalte mit einer entsprechenden Situation in Verbindung gebracht. Lernen ist daher ein *situativer* Prozess (vgl. Mandl, 2006).

Die Lernenden stehen bei der Aneignung von Wissen im Vordergrund und die Lehrenden sind als Unterstützer und Helfer aktiv in den Lernprozess mit eingebunden. Die Aufgabe der Lehrenden ist die Strukturierungsleistung der Inhalte durch die Aufbereitung von Lernunterlagen und die aktive Lenkung (vgl. Fendt, 2019). Die Lernaufgaben werden so entwickelt, dass die Schüler*innen kognitiv aktiviert, also aktiv zum Denkprozess angeregt werden. Dafür eignet sich ein problemorientierter Unterricht, da

in dieser Lernumgebung die Lerninhalte mit authentischen Problemen und in verschiedenen Kontexten dargestellt und angewendet werden können. Ebenso ermöglicht dies das Arbeiten im sozialen Kontext und die Lehrperson unterstützt die Schüler*innen beim Bearbeiten der Probleme mit weiterführenden Informationen und Hilfestellungen. Bei der Unterstützung sollen die Schüler*innen Informationen erhalten, wie sie die Probleme allein bewältigen können. Die Lehrperson muss diese an die jeweiligen individuellen Fähigkeiten der Lernenden anpassen und kann dies beispielsweise durch die Reduktion der Unterrichtsgeschwindigkeit oder einen Verweis auf bereits gelöste ähnliche Probleme bzw. gelernte Inhalte tun (vgl. Fendt, 2019; Streller, Bolte, Dietz, & Noto La Diega, 2019).

Konstruktivist*innen sind der Meinung, dass das Lernen von Naturwissenschaften gleichermaßen abläuft, wie die spontane Entwicklung des Wissens. Schüler*innen müssen also durch die Welt der Naturwissenschaften geführt werden und mit den Begriffen, Funktionen und Arbeitsweisen Stück für Stück bekannt gemacht werden. Es soll ein langsames Hinführen zu wissenschaftlichen Konzepten erfolgen (vgl. Bliss, 1996).

Eine Lehrmethode, die sich von der konstruktivistischen Theorie ableitet, ist das *kumulativ* bzw. *sinnstiftende Lernen*. Hierbei stehen wieder die aktiven Handlungen der Schüler*innen im Mittelpunkt und Wissen soll durch aktive Konstruktion angeeignet werden. Es wird von bereits vorhandenem Wissen ausgegangen und die neu zu erlernenden Inhalte werden darauf aufgebaut. Die Vorstellungen der Schüler*innen bilden die Grundlage für das weitere Lernen, dabei können authentische Lernkontexte entstehen und daran angeknüpft werden. Ziel ist, die Lerninhalte möglichst nachhaltig und sinnstiftend zu internalisieren (vgl. Barke, Harsch, Kröger, & Marohn, 2018).

❖ Scaffolding

Die Konstruktion durch Instruktion kann gut durch die Merkmale von Scaffolding umgesetzt werden. Unter Scaffolding versteht man die Unterstützung der Lernenden durch eine Person, bis der Lernende in der Lage ist, selbstständig die Aufgabe zu bewältigen. Die Unterstützung muss nicht durch eine Lehrkraft erfolgen, es kann sich dabei auch um ältere Tutor*innen handeln. Bei der Auswahl der Aufgabe wird nicht auf den aktuellen Leistungsstand Rücksicht genommen, sondern wird von dem Niveau ausgegangen, welches durch die Hilfe der Lehrenden erreicht werden kann, der Zone der proximalen Entwicklung (ZPD) (vgl. Möller, 2016).

Bei der Unterstützung wird zwischen sechs Möglichkeiten unterschieden, um den Lernenden weiterzuhelfen (vgl. Möller, 2016):

- Interesse wecken
- Vereinfachung der Aufgabe und die damit verbundene Reduktion der Autonomie
- Aktive Lenkung
- Frustrationsmanagement
- Lösungserwartungen aufzeigen
- Hinweisen auf die schwierigen Aufgabenteile für forschendes Lernen

Neben dem gemeinsamen Verständnis des Ziels muss sich der Tutor für die erfolgreiche Unterstützung zweier Aspekte bewusst sein. Einerseits muss die Aufgabe bzw. das Problem samt der Lösungserwartung klar verdeutlicht werden, andererseits muss der Tutor über die Leistungsentwicklung des Lernenden Bescheid wissen, damit zum entsprechenden Zeitpunkt die Hilfe kleinschrittig rausgenommen werden kann und die Lernenden mehr Autonomie und Selbstständigkeit zurückerlangen. Ziel ist dabei nicht nur die korrekte Lösung einer Aufgabe, sondern vor allem die Fähigkeit, das gelernte Wissen auf andere, neue Probleme und Fragestellungen transferieren und anwenden zu können (vgl. Fendt, 2019; Puntambekar & Hubscher, 2005).

4. Fachanalyse

In diesem Kapitel wird die geschichtliche Entwicklung des Atombegriffs und des Atommodells bis in das 20. Jahrhundert beschrieben, um anschließend die heutige Sichtweise des Atommodells darzustellen. In weiterer Folge werden die spezifischen Schüler*innenvorstellungen von den Atommodellen im Chemieunterricht diskutiert.

4.1 Entwicklung des Atombegriffs

Schon im 5. Jahrhundert vor Christus haben sich die Menschen Gedanken über das Dasein der Materie und der Teilchen gemacht. Ein wichtiger Vertreter davon ist Demokrit (460 – 370 v. Chr.), der davon ausgegangen ist, dass die Materie aus nicht teilbaren, sehr kleinen Teilchen besteht. Der Begriff Atom bedeutet unteilbar und kommt aus dem Griechischen vom Wort *atomos*. Diese Atome sollen sich in ihrer Form und Farbe unterscheiden und können sich bewegen. Die weiteren Überlegungen zum naturwissenschaftlichen Dasein wurden bis ins 17. Jahrhundert unterdrückt und somit war Jungius (1586 – 1657) einer der Ersten, der eine Definition im naturwissenschaftlichen Sinne postulierte. Für ihn hatten die Atome Eigenschaften wie Dichte, Härte und Form und waren unteilbare Teilchen. Ebenso erkannte er schon die Bedeutung des Gewichts und der Waage für die chemischen Reaktionen und Veränderungen in dem Komplex aus Atomen (vgl. Kirchhoff, 2001).

Mit der Theorie von John Dalton (1786 – 1844) wurde die Atomtheorie im chemischen Kontext formuliert und stellte den Beginn der neuen Atomtheorie dar. Dalton formulierte dazu drei wichtige Grundgesetze für Atome und chemische Reaktionen. Die Gesetze der Erhaltung der Masse und die Gesetze der konstanten und multiplen Proportionen, sowie seine Untersuchungen zu den Gasmischungen legten den Grundstein für die Atomhypothese von Dalton. Atome sind nach Dalton unveränderlich und für dasselbe Element in Größe und Masse gleich, für unterschiedliche Elemente allerdings unterschiedlich in Masse und Größe. Atome können gemeinsam eine Verbindung in bestimmten Verhältnissen eingehen. Die Zusammensetzung der Atome ist bei der gleichen Verbindung die gleiche und die Masse der Moleküle ist gleich der Masse der Atome, die diese Bindung eingehen. Somit postulierte Dalton wichtige Gesetze, die bis heute Gültigkeit besitzen und schaffte damit neue Wege für die heutige Atomtheorie (vgl. Kirchhoff, 2001; Weyer, 2018).

Joseph John Thomson (1856 – 1940) entdeckte 1897 kleinere Teilchen als das Atom, die als *Korpuskeln* bezeichnet wurden. Durch weitere Untersuchungen von Thomson mit Hilfe der Röntgenstrahlung und der β -Strahlung konnte er die Korpuskeln in seiner Gasentladungsröhre den Korpuskeln in den Kathodenstrahlen gleichsetzen. Diese Ergebnisse führten zu einer weiteren Spezifizierung des Atoms. Das Atom besteht aus einem positiv geladenen Teil und negativ geladenen Teilchen, den Elektronen. J. J. Thomson beschäftigte sich mit der Anzahl an Elektronen in einem Atom. 1904 postulierte er, dass das Atom durch die positiven Ladungen eine genau bestimmte Anzahl an Elektronen angeordnet haben muss, wobei gleiche innere Schalen ähnliche Eigenschaften besitzen. Dies war das erste Modell, das eine Periodizität, wie das Periodensystem impliziert, hatte (vgl. Kirchhoff, 2001; Weyer, 2018).

Henry Becquerel (1852 – 1908) revolutionierte mit der Entdeckung der radioaktiven Strahlung erneut die Atomtheorie. Ernest Rutherford (1871 – 1937) untersuchte ab 1907 die Ablenkung von α -Strahlung durch dünne Goldfolien – den sogenannten *Rutherfordschen Streuversuch*. Es gelang ihm und seinen Mitarbeitern zu beobachten, dass manche Teilchen durch die Folie hindurch gegangen sind, andere aber sogar zurück gestreut haben. Die Ergebnisse fasst Rutherford 1911 zusammen, sodass das Atom aus einer „zentralen punktförmig konzentrierten elektrischen Ladung besteht, die von einer gleichförmigen sphärischen Ladungsverteilung des entgegengesetzten Vorzeichens umgeben ist“ (Kirchhoff, 2001, S. 51). Das Atom besitzt daher einen Kern und eine Hülle mit entgegengesetzten Ladungen. In der Hülle befinden sich die gleichmäßig verteilten Elektronen. Durch diese Entdeckungen konnten die Eigenschaften der Atome der Hülle bzw. dem Kern konkret zugeordnet werden. Die Radioaktivität wurde dem Kern zugeordnet, der Aggregatzustand und das chemische Verhalten der Elektronenhülle (vgl. Kirchhoff, 2001).

Das Modell der Atome von Rutherford brachte Niels Bohr (1885 – 1962) noch keine ausreichende Zufriedenheit, da man dadurch nicht die Vielfalt der Linienspektren und die Stabilität der Atome erklären konnte. Durch erste Überlegungen des Aufbaus des Atomkerns und der Atomhülle anhand des Wasserstoffatoms gelang es Niels Bohr dann 1913 die Theorie auf alle Elemente zu erweitern. Er postulierte, dass das Atom aus einem positiven Atomkern und einer negativen Elektronenhülle besteht. Der Atomkern befindet sich in der Mitte des Atoms und besitzt 99,9% der Masse, hingegen ein Elektron nur das Atomgewicht von 0,00055 hat. Er erkannte auch, dass im Kern die gleiche Anzahl an positiven Ladungen vorhanden ist, wie in der Hülle negative Ladungen. Die Eigenschaften des Atoms hängen demnach vom Aufbau der Elektronenhülle ab. In der Elektronenhülle kreisen die Elektronen in sieben Bahnen bzw. Schalen rund um den Atomkern, siehe Abbildung 4, wobei jede Bahn

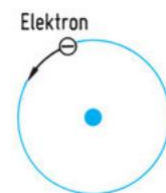


Abbildung 4: Bohrsches Wasserstoffatom mit einer Elektronenbahn (Riedel & Meyer, 2018, S. 39)

maximal $2n^2$ Elektronen aufnehmen kann und n die Hauptquantenzahl ($n = 1, 2, 3, \dots$) bezeichnet. Die Hauptquantenzahl gibt die Schale, in der sich die Elektronen befinden, an. Diese werden auch mit den Buchstaben des Alphabets K bis Q bezeichnet. Das bedeutet in der K-Schale haben $2 \cdot 1^2 = 2$ Elektronen Platz. In einer Periode (= Zeile im Periodensystem) nimmt die Anzahl der Elektronen pro Element zu. Die erste und die zweite Schale sind somit mit den Elementen Helium bzw. Neon voll mit zwei bzw. acht Elektronen in der äußersten Schale. Ab der dritten Periode kann die äußerste Schale immer nur acht Außenelektronen annehmen, die restlichen Plätze werden dann von den Nebengruppen, die zum Zeitpunkt von Bohr noch nicht erforscht waren, aufgefüllt (vgl. Holleman & Wiberg, 2020). Probleme bereiteten diesem Modell die Atomspektren von Mehrelektronenatomen, da die Werte für die Energien der Bahnen nicht zuverlässig berechenbar waren (vgl. Schwarz, 2013). Ebenso, wenn ein Elektron um den Kern kreisen würde, so würde es stetig an Energie verlieren und schließlich in den Kern stürzen. Deshalb verfeinerte Arnold Sommerfeld (1868 – 1951) das Bohrsche Atommodell von den Kreisbahnen auf Ellipsenbahnen rund um den Kern und ihm gelang damit ein wichtiger Schritt in Richtung des quantenmechanischen Atommodells (vgl. Sommerfeld & Eckert, 2013; Weyer, 2018).

In den 1920er Jahren wurde dann das Bohrsche Atommodell vom quantenmechanischen Modell abgelöst. Dieses besagt, dass sich die Elektronen nicht mehr auf Schalen rund um den Kern bewegen, sondern in bestimmten Bereichen mit bestimmter Wahrscheinlichkeit rund um den Kern aufhalten, den sogenannten *Orbitalen*. Weitere wichtige Errungenschaften dieser Zeit waren das Pauli Prinzip und die Hundsche Regel von Wolfgang Paul (1900 – 1958) und Friedrich Hund (1896 – 1997). Das Pauli Prinzip besagt, dass zwei Elektronen in einem Atom niemals denselben Energiezustand besitzen. Die Hundsche Regel gibt an, wie die Orbitale mit Elektronen zu befüllen sind. Zuerst jedes Orbital mit nur einem Elektron mit gleichem Spin und anschließend werden die Orbitale mit antiparallelen Spins

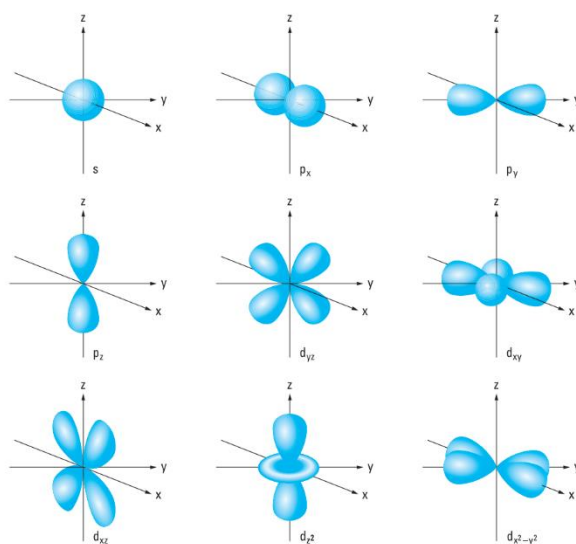


Abbildung 5: Modelle der s-, p-, und d-Orbitale (Riedel & Meyer, 2018, S. 46)

aufgefüllt. Ebenso half die von Werner Karl Heisenberg (1901 – 1976) formulierte Heisenbergsche Unschärferelation für die Konkretisierung der Atomtheorie, die besagt, dass man nie den Ort und den Impuls des Elektrons genau bestimmen kann. Dies widerlegt die Atomtheorie von Bohr bzw. Sommerfeld, dass die Aufenthaltsbereiche keine Bahnen bzw. Schalen sein können, da entweder der Ort oder die Geschwindigkeit nicht konkret bestimmbar sind (vgl. Kirchhoff, 2001). Im quantenmechanischen Atommodell befinden sich die Elektronen in

der Hülle in Aufenthaltsbereichen mit bestimmter Energie, den Orbitalen. Mit den Quantenzahlen n lassen sich Größe, Gestalt und Orientierung im Raum des Orbitals bestimmen und so kann ein Modell der Atomtheorie konstruiert werden. In Abbildung 5 werden die Modelle der s-, p-, und d-Orbitale dargestellt. Die s-Orbitale haben die Form einer Kugel, die p-Orbitale die Form einer Hantel und die d-Orbitale sind rosettenförmig (vgl. Riedel & Meyer, 2018; Weyer, 2018).

Eine weitere Beschreibung des in der Wissenschaft vorherrschenden Atommodells wird an dieser Stelle nicht vorgenommen, da für die Sekundarstufe I das Schalenmodell als Grundlage für den weiteren Chemieunterricht ausreichend ist und die Abstraktheit mit dem weiteren Modell zunimmt.

4.2 Schüler*innenvorstellungen

Im folgenden Abschnitt wird zunächst die Bedeutung von Schüler*innenvorstellungen für den Unterricht diskutiert und anschließend werden Ursachen und Aspekte für den Umgang im Unterricht diskutiert. Im zweiten Teil werden konkrete Schüler*innenvorstellungen zum Thema Atommodelle beschrieben und die Vorstellungen von historischen Wissenschaftler*innen werden zum Vergleich herangezogen.

4.2.1 Schüler*innenvorstellungen im Unterricht

Für das Aneignen von Wissen sind die bereits vorhandenen Vorstellungen von großer Bedeutung, wie in Kapitel 3.4 dargestellt und diskutiert wird. Diese subjektiven Vorstellungen entsprechen allerdings meist nicht dem aktuellen naturwissenschaftlichen Kenntnisstand, sondern sind individuelle Konstrukte aus den Erfahrungen und Beobachtungen der Lernenden, die helfen die Erkenntnisse in die Wissensstruktur einzugliedern und zu erklären. Die Vorstellungen können „ein gedankliches Bild, Modell oder eine Erklärung, die sich eine Person zu einem Phänomen oder einer Situation gemacht hat“ (Streller, Bolte, Dietz, & Noto La Diega, 2019, S. 18), sein. Als Schüler*innenvorstellungen in dieser Arbeit werden Vorstellungen der Lernenden zu naturwissenschaftlichen Phänomenen und Begriffen bezeichnet, die für ein erfolgreiches Verständnis der Naturwissenschaften durch den Unterricht unabdingbar sind. Diese Konstruktionen entstehen ohne ausreichendes naturwissenschaftliches

Verständnis und können daher auch als Präkonzepte oder alternative Vorstellungen bezeichnet werden. Neben diesen ursprünglichen Interpretationen können auch hausgemachte Fehlvorstellungen entstehen. Von diesen Annahmen wird gesprochen, wenn sie durch den Unterricht und die mangelnde Vermittlung der Inhalte von den Lernenden ausgebildet werden. Im Vergleich zu den ursprünglichen Vorstellungen können die hausgemachten Fehlvorstellungen durch einen gewissenhaften Vermittlungsprozess größtenteils vermieden werden. Trotz eines sehr präzisen Unterrichtes können manche Inhalte nicht stringent aufgezeigt werden, da diese entweder zu komplex sind, um in kurzer Zeit den Schüler*innen verständlich vermittelt zu werden oder bestimmte Traditionen der Lehrform oder Sprechweise Widersprüche hervorrufen und somit Fehlvorstellungen herleiten. Als ein Beispiel für die Probleme mit traditionellen Unterrichtskonzepten stellt Barke (2006) die Trennung von chemischen und physikalischen Vorgängen in Bezug auf das Lösen eines Stoffes in Wasser vor. Wird ein Stoff in Wasser gelöst, so wird behauptet, dass es sich hierbei um einen physikalischen Vorgang handelt, da sich der Stoff grundsätzlich nicht verändert. Wird allerdings Natronlauge in Wasser gelöst, so ändert sich der pH-Wert und die Lösung leitet Strom. Dies könnten Indizien für Schüler*innen sein, die eine Fehlvorstellung und widersprüchliche Annahmen ausbilden können, da sich Eigenschaften verändert haben (vgl. Barke, 2006; Fendt, 2019; Streller, Bolte, Dietz, & Noto La Diega, 2019).

Die am häufigsten angeführten Ursachen in der Literatur für die Entstehung von Schüler*innenvorstellungen sind die Alltagssprache sowie Abbildungen und Modelle. Die Sprache ist ein einflussreiches Mittel und ist maßgeblich für die Aneignung von Wissen und Vorstellungen verantwortlich. Unsere alltäglichen Formulierungen unterstützen das Anthropomorphisieren der Teilchen und der Materie durch Aussagen wie „Der Fleck *will* nicht rausgehen“. Ebenso können durch die Sprache Vorstellungen, wie das „Auflösen“ eines Salzes in Wasser, also das Verschwinden der Substanz implizieren. Modelle und Abbildungen in Schulbüchern oder im Internet rufen vor allem

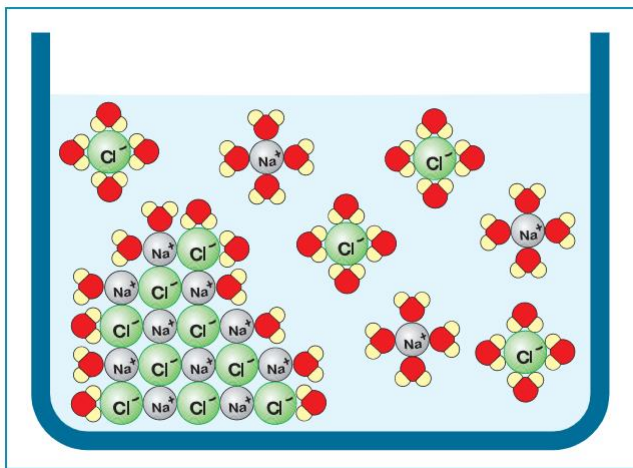


Abbildung 6: Lösen des Salzes NaCl in Wasser (Magyar, Liebhardt, Jelinek, & Faber, 2014, S. 21)

hausgemachte Fehlvorstellungen hervor. Demnach zeigen viele Abbildungen beim Lösen von Salzen in Wasser die Moleküle mit einem blauen Hintergrund, der eine starke Ähnlichkeit mit dem Wasser aufweist, wie in Abbildung 6 dargestellt ist. Dies beeinträchtigt vor allem die Vorstellung des Kontinuums bzw. Diskontinuums der Materie. Ebenso unterstützen die unvollständig ausgeprägten Modellvorstellungen und die Verwechslung der Ebenen nach dem Johnstone Dreieck die

Entwicklung von hausgemachten Fehlvorstellungen, wie in Kapitel 2.5 angedeutet wird (vgl. Steffensky, Parchamann, & Schmidt, 2005; Streller, Bolte, Dietz, & Noto La Diega, 2019).

Die Vorstellungen von Lernenden sind die Grundlage für die weitere Wissensaneignung und müssen daher von den Lehrenden bei der Durchführung und Planung des Unterrichts beachtet werden. Damit die Schüler*innen ihre ursprüngliche Vorstellung verwerfen, muss das neue Konzept verständlich, plausibel und fruchtbar sein und eine Unzufriedenheit mit der alten Idee hervorrufen. Es soll also ein Widerspruch mit dem bereits vorhandenen Wissen und den neuen Erkenntnissen entstehen und die neuen Ideen müssen für die Erklärung der Phänomene und Beobachtungen sinnvoller erscheinen. Die Vorstellungen der Schüler*innen sollen Wertschätzung und Anlass für vertiefende Diskussionen sein, sodass die Motivation und Lernbereitschaft der Lernenden steigen. Im Sinne des Konstruktivismus werden auch hier die aktive Auseinandersetzung und kognitive Aktivierung mit den Inhalten für die Entwicklung der Wissensstrukturen mit den neuen Vorstellungen vorausgesetzt (vgl. Fendt, 2019; Langlet, 2021; Steffensky, Parchamann, & Schmidt, 2005; Streller, Bolte, Dietz, & Noto La Diega, 2019). Auch Barke (2006) verweist hier auf die Theorien der Akkommodation und Assimilation nach Piaget bei der Veränderung der Schüler*innenvorstellungen (vgl. Kapitel 3.1). An dieser Stelle ist wichtig zu betonen, dass die Vorstellungen der Lernenden nicht komplett verworfen werden müssen, da diese je nach verwendetem Kontext durchaus ihre Daseinsberechtigung haben und nützlich sein können. Diese Hybridstadien zwischen den neuen und den alten Konzepten können nicht nur zwischen wissenschaftlichen und alltäglichen Situationen beobachtet werden, sondern können auch in rein naturwissenschaftlichem Kontext zwischen verschiedenen Inhalten festgestellt werden. Ein Beispiel dafür ist die Diskussion um den Aufbau der Materie. So kann das Wasser einerseits als Teilchen aber auch als kontinuierliche Materie aufgefasst werden. Dies ist in Abbildung 6 ersichtlich, in welcher das Wasser einerseits als rot-gelbe Moleküle und andererseits als der blaue Hintergrund gesehen werden kann (vgl. Barke, 2006; Fendt, 2019; Steffensky, Parchamann, & Schmidt, 2005; Streller, Bolte, Dietz, & Noto La Diega, 2019).

Schüler*innenvorstellungen stellen den Ausgangspunkt für die Unterrichtsplanung dar, um an den Alltagserfahrungen der Lernenden anzuknüpfen. Somit muss die Lehrperson nicht nur in Kenntnis der möglichen Vorstellungen der Schüler*innen sein, sondern diese aktiv bei der Unterrichtsplanung berücksichtigen. Ebenso müssen die Aussagen von den Lernenden im Unterricht, die mögliche im naturwissenschaftlichen Kontext nicht ganz richtigen Annahmen implizieren, ernst genommen werden und für weitere Diskussionen aufbereitet werden. Da diese Vorstellungen zumeist von mehreren Schüler*innen angenommen werden, steigen durch die Auseinandersetzung mit den Ideen der Kinder die Autonomie und die Lernmotivation an. Die Schüler*innenvorstellungen können mit verschiedenen

Unterrichtsmitteln aufgegriffen werden, um einen kognitiven Konflikt hervorzurufen. Beispiele dafür sind Concept Cartoons, Analogien zu historischen Vorstellungen oder Experimente. In der Chemie ist die eindrucksvollste Art und Weise die naturwissenschaftlichen Konzepte mit Experimenten darzulegen. Vor allem zu Alltagsvorstellungen, wie zum Beispiel „Bei einer Kerze verbrennt der Docht“, können einfache Experimente geplant und verwendet werden, um den Schüler*innen die Funktionsweise einer Kerze zu vermitteln. Nicht immer sind die aufwendige Planung und Durchführung von Experimenten nötig, um die Schüler*innen von den naturwissenschaftlichen Inhalten zu überzeugen. In manchen Situationen genügt es auf bereits gelernte Themen hinzuweisen und diese anhand neuer Erkenntnisse zu reflektieren. Dies impliziert die Trägheit von Vorstellungen und die Wichtigkeit die Vorstellungen der Schüler*innen ernst zu nehmen, damit diese ihre Wissensstrukturen mit den naturwissenschaftlichen Konzepten ausbauen können. Unterstützt wird das Aufbauen der neuen Inhalte durch wiederkehrende Reflexionen des eigenen Wissensstandes und der für selbstverständlich angenommenen Vorstellungen durch die Schüler*innen selbst aber auch die Reflexion der Lehrpersonen mit dem Umgang dessen (vgl. Barke, 2006; Fendt, 2019; Streller, Bolte, Dietz, & Noto La Diega, 2019).

4.2.2 Schüler*innenvorstellungen zum Atommodell

Von den Basiskonzepten des Chemieunterrichts sind für ein ausreichendes Verständnis der Atomtheorie und Modelle vor allem das Stoff-Teilchen Konzept und die Struktur-Eigenschafts-Beziehungen von Bedeutung. Zum Stoff-Teilchen-Konzept wird die Trennung der Stoffebene und der Teilchenebene im Sinne des Johnston Dreiecks gezählt. Bei den Struktur-Eigenschafts-Beziehungen ist der Fokus auf dem Aufbau der Teilchen und Teilchenverbände sowie auf den Wechselwirkungen von Teilchen (vgl. Barke, 2006; Habelitz-Tkotz, 2003). Im folgenden Teil der Arbeit werden die wichtigsten Schüler*innenvorstellungen zu den Atommodellen diskutiert und mit den Vorstellungen der historischen Wissenschaftler in Verbindung gebracht.

❖ Teilchenbegriff

Beim Wort *Teilchen* steckt die Problematik hinter der alltäglichen Verwendung des Wortes für kleine Stücke oder Stoffportionen. Das Teilchen wird als Oberbegriff für Atome, Ionen und Moleküle verwendet und die Schüler*innen müssen aus dem Kontext die jeweilige Bedeutung herausfiltern. Die eindeutige Verwendung des Begriffs stellt daher eine große Schwierigkeit für die Schüler*innen dar,

ein Beispiel dafür ist das Wasser. Hier führt Barke (2006) an, dass den Lernenden die Wasserstoff-Atome und die Sauerstoff-Atome als kleinste Teilchen des Wassers vermittelt werden und somit die Schüler*innen in Versuchung geraten zu denken, dass beim Wasserdampf Sauerstoffatome und Wasserstoffatome aufsteigen, also beim Verdampfen von Wasser das Molekül in ihre Atome aufgespalten wird. Ebenso impliziert das Wort Teilchen, dass dies ein Teil von etwas Ganzem ist und nicht, dass das Ganze aus diesen Teilchen besteht (vgl. Barke, 2006; Steffensky, Parchamann, & Schmidt, 2005).

❖ Aufbau der Materie

Bereits im 5. Jahrhundert v. Chr. diskutierten die Philosophen, ob die Materie kontinuierlich oder diskontinuierlich aufgebaut ist. Diese Diskussion setzt sich heute noch in den Köpfen der Schüler*innen fort. Die Vorstellung des diskontinuierlichen Aufbaus der Materie ist für die Lernenden kaum begreifbar, da diese Tatsache nicht sichtbar ist und viel Abstraktionsvermögen beim Erlernen des Konzeptes benötigt wird. Die augenscheinliche Umwelt ist kontinuierlich aufgebaut, sodass die Vorstellung von einer aus Teilchen aufgebauten Materie mit leerem Raum, anstatt Luft, zwischen den Teilchen erst begreifbar gemacht und aufgebaut werden muss. Ebenso sind viele Schüler*innen der Meinung, dass sich diese Teilchen ab einem gewissen Zeitpunkt nicht mehr bewegen und zur Ruhe kommen (vgl. Barke, 2006; Mikelskis-Seifert & Leisner, 2004; Petermann, Friedrich, & Oetken, 2009).

❖ Makro-Ebene ↔ Submikro-Ebene

Die Trennung der makroskopischen und der submikroskopischen Ebene fällt den Schüler*innen schwer. Die Lernenden übertragen die Eigenschaften, wie Farbe, Geruch, Aussehen usw., auf die einzelnen Atome oder Moleküle. Diese Vorstellungen sind ebenso mit der Vorstellung von Demokrit zu vergleichen, der den einzelnen Atomen die Eigenschaften der Stoffe zugeordnet hat (vgl. Abschnitt 4.1). Die im Unterricht verwendeten Modelle verstärken diese Annahmen, sodass bei der Verwendung von Molekülbaukästen das Kohlenstoffatom immer mit der Farbe schwarz dargestellt und das aus Kohlenstoff bestehende Grafit ebenso die Farbe schwarz hat. Des Weiteren gehen die Lernenden davon aus, dass trotz der Veränderung gewisser Eigenschaften, der Stoff immer noch derselbe ist, obwohl ganz am Beginn des Chemieunterrichts gelehrt wird, dass eine chemische Reaktion eine Änderung der Stoffeigenschaften hervorruft. Demnach kann das aus Kupfer bestehende Dach die Farben rotbraun und grün besitzen (vgl. Barke, 2006; Fendt, 2019; Streller, Bolte, Dietz, & Noto La Diega, 2019).

❖ Form und Struktur von Atomen

Die Verwendung des Molekülbaukastens impliziert nicht nur die Vorstellung der Farbe eines Atoms, sondern auch der Form von Atomen. Schüler*innen sind der Meinung, dass Atome entweder eine Kugel bzw. kugelförmig sind oder flach bzw. kreisförmig. In diesen kugelförmigen Atomen wird das Vorhandensein von Komponenten oder Elektronen auf Bahnen angenommen. Das bedeutet, dass die Schüler*innen sich mit ihren Vorstellungen im Bereich der Theorien der Wissenschaftler John Dalton und Niels Bohr befinden. Die Abbildungen in den Schulbüchern implizieren auch, dass Atome unter dem Mikroskop sichtbar sind und die Abbildung tatsächliche Bilder der Atome und Moleküle sind (vgl. Fendt, 2019; Barke, 2006).

❖ Modellvorstellungen

Die Vor- und Nachteile der Verwendung von Modellen sind bereits ausführlich in Kapitel 2 dargestellt. An dieser Stelle soll aber nochmals die Bedeutung für die Vorstellungen der Schüler*innen angeführt werden. Einerseits ist es für die Lernenden schwer begreifbar, dass Modelle nicht die Wirklichkeit darstellen, sondern nur bestimmte Eigenschaften repräsentieren. Andererseits werden die Schüler*innen durch die verschiedenen Anschauungsmodelle für die unterschiedlichen Teilchenarten verwirrt, da die Lehrpersonen häufig Kreissymbole für Atome, Ionen und Moleküle verwenden im Sinne des Kugel-Teilchenmodells und im nächsten Augenblick das Dalton-Atommodell verwenden, bei welchem Kreissymbole nur für die Atome stehen, vgl. Abbildung 7 (vgl. Barke, 2006; Habelitz-Tkotch, 2006).

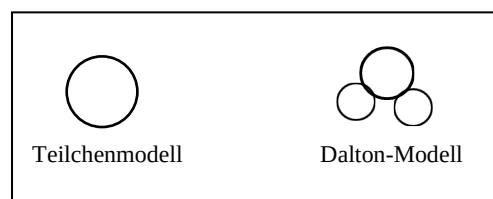


Abbildung 7: Darstellung des Wassermoleküls im Teilchenmodell und Dalton-Modell (eigene Abbildung)

5. Forschungsfrage und Hypothesen

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist, die Schwierigkeiten von Schüler*innen mit Modellvorstellungen im Chemieanfangsunterricht zu eruieren, um ein Konzept zur Minimierung dieser Probleme zu erarbeiten. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde mit den in Kapitel 2.3 in der Tabelle 1 dargestellten Modellkompetenzen als Grundlage ein Fragebogen entwickelt, damit die spezifischen Schwierigkeiten der Schüler*innen erfragt werden können. Diese erfragten Schwierigkeiten mit den Modellen im Chemieunterricht in der Sekundarstufe I sollen genützt werden, um die zentrale Forschungsfrage zu beantworten:

*Wie kann die Entwicklung der Modellkompetenz bei Schüler*innen im Chemieanfangsunterricht unterstützt werden?*

Das bedeutet, welche subjektiven und objektiven Schwierigkeiten der Schüler*innen mit Modellen können nach einem Unterricht über Atommodelle noch festgestellt werden und auf welche Bereiche in Zukunft vermehrt ein Fokus gelegt werden sollte, um diese Schwierigkeiten minimieren zu können und die Entwicklung eines Modellverständnisses zu fördern. Da die befragten Schüler*innen bereits einen Unterricht zu den Atommodellen erfahren haben, wird davon ausgegangen, dass die Lernenden bereits über eine gewisse Modellkompetenz verfügen. Trotzdem wird vermutet, dass die Proband*innen noch kein ausgeprägtes Verständnis über Modelle besitzen, da dieses abstrakte Denken erst erlernt werden muss (vgl. Abschnitt 3), und einige Schwierigkeiten, die in Kapitel 2.5 beschrieben werden, auftreten werden. Die erhobenen Schwierigkeiten werden anschließend mit dem theoretischen Wissen aus den vorherigen Kapiteln zu einem Unterrichtskonzept zu den Atommodellen ausgearbeitet. Dabei werden folgende Annahmen vermutet, die die Modellkompetenz unterstützen:

Hypothese 1: Ein Überblick zum geschichtlichen Hintergrund von Atommodellen ist hilfreich für das Modellverständnis.

Hypothese 2: Unterschiedliche Darstellungsformen der Modelle (z.B.: haptisch, illustrativ, ...) fördern das Modellverständnis.

Ein Überblick über die geschichtliche Entwicklung des Atommodells zeigt die Vorstellungen der Wissenschaftler*innen auf und es können Similaritäten zu den Vorstellungen der Schüler*innen zum Atommodell getroffen werden. Die Lernenden können sich somit mit den Vorstellungen der Wissenschaftler*innen identifizieren und durch die Darstellung der Grenzen der einzelnen Modelle die Argumente für das Schalenmodell besser nachvollziehen (vgl. Kapitel 4). Die variablen Darstellungsformen der Atommodelle sollen die Eigenschaften vom Original und die Eigenschaften

vom Modell unterscheiden helfen und so eine Trennung von Erfahrungswelt und Modellwelt unterstützen (vgl. Kapitel 2). Um die Hypothesen zu überprüfen, folgt im Anschluss an die Vorstellung des Unterrichtskonzepts eine Evaluierung im Zuge eines Expertenratings.

6. Fragebogen: Schwierigkeiten mit Modellvorstellungen im Chemieanfangsunterricht

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Schwierigkeiten von Schüler*innen mit Modellen in der 8. Schulstufe der Sekundarstufe I AHS mit Hilfe eines Fragebogens erforscht und die Ergebnisse der Umfrage anschließend dargestellt und interpretiert.

6.1 Forschungsmethodischer Zugang

Für die erfolgreiche Planung von Unterricht sieht das Modell der didaktischen Rekonstruktion ein Zusammenspiel aus den drei Bereichen der Fachwissenschaft, der Fachdidaktik und der Schüler*innenperspektiven vor, (vgl. Abbildung 8). Die fachliche Klärung bildet dabei den

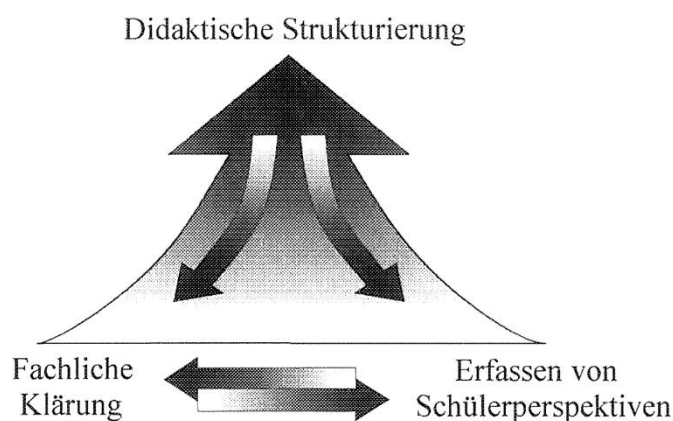


Abbildung 8: Konzept der didaktischen Rekonstruktion (Kattman, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 4)

Grundbaustein der Planung von Unterricht, da diese Inhalte altersgerecht für die Schüler*innen aufbereitet werden sollen. Dafür sollen vor allem der derzeitige Stand der Wissenschaft und die historischen Konzepte ausgearbeitet werden, um sich ein umfangreiches Wissen zu diesem Thema anzueignen. Die historischen Konzepte und Vorstellungen früherer Wissenschaftler*innen weisen auf mögliche Schüler*innenvorstellungen hin. Die Schüler*innenvorstellungen

bilden den zweiten Grundbaustein der didaktischen Rekonstruktion. Wie in Abschnitt 4.2 dargestellt tragen die Präkonzepte der Lernenden eine wichtige Rolle zum Chemieunterricht bei, die in der Planung des Unterrichts berücksichtigt werden sollten. Empirische Methoden wie Interviews oder Fragebögen mit den Schüler*innen eignen sich um die spezifischen Vorstellungen der Schüler*innen zu dem Thema, seinen Fachbegriffen und ihren lebensweltlichen Erfahrungen zu eruieren. Dabei stehen das Verständnis, die Kenntnisse und Kompetenzen, die die Schüler*innen zum Zeitpunkt der Befragung zur Materie aufweisen, im Vordergrund. Die Erkenntnisse der fachlichen Klärung und der Erhebung

der Schüler*innenvorstellungen werden im Zuge der didaktischen Strukturierung und Analyse für die Konstruktion des Unterrichts verwendet. Die drei Bereiche der didaktischen Rekonstruktion stehen im Wechselspiel zueinander und können nicht als drei voneinander unabhängige Bereiche betrachtet werden, sondern sind durch einen stetigen Wechsel der Perspektiven geprägt, bis ein ausführliches Verständnis entwickelt wurde (vgl. Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997). Für die Erhebung der Schüler*innenvorstellungen wurde ein Fragebogen verwendet.

6.2 Hinweise zur Datensammlung

Um die Vorstellungen der Schüler*innen zu Modellen zu erfragen, wurde ein Fragebogen entwickelt. Dazu wurden Items aus den fünf Teilkategorien der Modellkompetenz *Eigenschaften von Modellen*, *Alternative Modelle*, *Zweck von Modellen* und *Ändern* sowie *Testen von Modellen* ausgewählt (vgl. Kapitel 2, Tabelle 1). Dadurch sollen das Verständnis über Modelle und mögliche Schwierigkeiten identifiziert werden, angelehnt an die Interviewstudie von Trier, Krüger und Upmeyer zu Belzen (2014). Des Weiteren wurde der gleiche Fragebogen mit weiteren ergänzenden Statements den Lehrpersonen der Schüler*innen gegeben, um deren Einschätzung des Leistungsstandes ihrer Schüler*innen zu erfragen und die Bedeutung und Durchführung des Themas *Atommodell* in ihrem Unterricht zu erfahren. Die einzelnen Items werden in der Tabelle 2 präsentiert. Dabei beziehen sich die ersten 25 Items auf die Vorstellungen der Schüler*innen, die auch von den Lehrpersonen einzuschätzen sind. Die Items 26 bis 36 sind nur den Lehrer*innen vorgelegt worden. Dabei wird die Bedeutung des Themas *Atommodelle* in ihrem Unterricht untersucht und auf die Durchführung der Unterrichtssequenzen eingegangen. Beim Fragebogen wurde eine vierteilige Likert Skala für die Items 1 bis 24 und 26 bis 33 verwendet (1 = „Stimmt keinesfalls“, 2 = „Stimmt eher nicht“, 3 = „Stimmt eher schon“, 4 = „Stimmt genau“), die Fragen 25 und 34 bis 36 sind offene Fragen.

Legende Fragebogen	
Interesse an Chemie	- Item 1: Mein Interesse an Chemie ist sehr groß. - Item 2: Chemie macht mir sehr viel Spaß. - Item 3: In der Chemie tue ich mir sehr leicht.
Eigenschaften von Modellen	- Item 4: Ein Modell kann nie alle Eigenschaften des Originals darstellen. - Item 5: Ein Modell ist ein Nachbau des Originals. - Item 6: Ein Modell besitzt nur die Eigenschaften, die der Entwickler für notwendig empfindet. - Item 7: Das Original sieht genauso aus wie das Modell. - Item 8: Im Alltag werden auch oft Modelle verwendet. - Item 9: Man weiß ganz genau, wie ein Atom aussieht. - Item 10: Ein Atom besitzt eine ganz bestimmte Farbe. - Item 11: Ein Atom ist immer kugelförmig.
Zweck von Modellen	- Item 12: Modelle dienen ausschließlich zur Veranschaulichung. - Item 13: Modelle beschreiben nur wissenschaftliche Phänomene. - Item 14: Modelle helfen, Vorhersagen zu wissenschaftlichen Experimenten zu treffen. - Item 15: Modelle sind nur für den Unterricht entwickelt.
Alternative Modelle	- Item 16: Für ein Phänomen gibt es immer nur ein einziges Modell. - Item 17: Jedes Modell stellt einen anderen wissenschaftlichen Inhalt dar.
Ändern von Modellen	- Item 18: Modelle sind für immer gültig. - Item 19: Modelle können nicht verändert werden. - Item 20: Neue Erkenntnisse zu einem Phänomen ändern nichts an einem Modell. - Item 21: Bei neuen Beobachtungen muss ein ganz neues Modell entwickelt werden.

Testen von Modellen	- Item 22: Modelle werden nie überprüft. - Item 23: Modelle werden getestet, damit Hypothesen zum Original überprüft werden. - Item 24: Verschiedene Wissenschaftler*innen überprüfen ständig die Gültigkeit der Modelle.
Offene Frage	Item 25: Was ist dir besonders schwer gefallen beim Lernen des Atommodells?
Teil 2: Lehrer*innenbefragung	
Item 26: Das Thema Atommodelle ist für mich sehr wichtig für den Chemieunterricht. Item 27: Den Schüler*innen fällt das Thema sehr leicht. Item 28: Der Begriff „Modell“ ist für den Unterricht von sehr großer Bedeutung. Item 29: Die Eigenaktivität der Schüler*innen bei diesem Thema ist sehr hoch. Item 30: Die geschichtliche Entwicklung des Atommodells spielt eine sehr große Rolle im Unterricht. Item 31: Ich verwende sehr viele verschiedene Darstellungsarten des Atoms. Item 32: Ich verwende viele digitale Darstellungen von Modellen. Item 33: Ich verwende Modelle, um den Schüler*innen den wissenschaftlichen Forschungsweg näherzubringen. Item 34: Wie viele Unterrichtseinheiten verwendest du für die Atommodelle? Item 35: Wie steigst du in die Atomtheorie ein? Beschreibe deine Vorgehensweise in ein paar Sätzen. Item 36: Welche Darstellungsarten verwendest du für die Atommodelle?	

Tabelle 2: Legende der Items (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen des Fragebogens)

Im nachfolgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Schüler*innenbefragung dargestellt. Dazu werden im ersten Teil der Befragung allgemeine Daten (Alter, Geschlecht, Notendurchschnitt der Schularbeiten Fächer Deutsch, Mathematik und Englisch und die Semesternote in Chemie) abgefragt. Anschließend werden anhand von 25 Items (siehe Anhang 3: Datenauswertung Schüler*innen) die Vorstellungen und das Wissen der Schüler*innen abgefragt. Die Items 1 – 24 werden mittels einer vierteiligen Likert Skala (1 = „Stimmt keinesfalls“, 2 = „Stimmt eher nicht“, 3 = „Stimmt eher schon“, 4 = „Stimmt genau“) beantwortet. Bei Item 25 handelt es sich um eine offene Frage, die mit Hilfe eines Kategoriensystem ausgewertet wurde (vgl. Hammann & Jördens, 2014). Um die technischen Bedingungen und die äußeren Faktoren zu testen, wurde der Fragebogen in einer Pilotphase an fünf Schüler*innen erprobt (vgl. Heller & Rosemann, 1974). Bei der Lehrer*innenbefragung wurden ebenfalls zuerst allgemeine Daten (Alter, Geschlecht, Anzahl der Dienstjahre und das Zweitfach) abgefragt. Die Items 1 bis 24 und

26 bis 33 sind mit Hilfe der vierteiligen Likert Skala abgefragt worden, die Items 25 und 33 bis 36 sind offene Fragen, die qualitativ ausgewertet werden. An der tatsächlichen Befragung nahmen 56 Schüler*innen der 4. Klassen (8. Schulstufe) eines Gymnasiums in Wien teil, für die Auswertung können allerdings nur die Antworten von 53 Proband*innen verwendet werden, da drei Fragebogen unvollständig ausgefüllt worden sind. Die 53 Proband*innen waren zwischen 13 und 14 Jahre alt, vgl. die Altersverteilung in Abbildung 9. Die Geschlechterverteilung der Schüler*innen ist in Abbildung 10 dargestellt. Es nahmen 26 weibliche, 26 männliche und 1 divers Schüler*innen teil. Die drei Schulklassen sind auf zwei Lehrerinnen mit einem Durchschnittsalter von 27,5 Jahren und einer durchschnittlichen Anzahl von 4 Dienstjahren aufgeteilt, die entweder Biologie oder Italienisch als Zweitfach unterrichten.

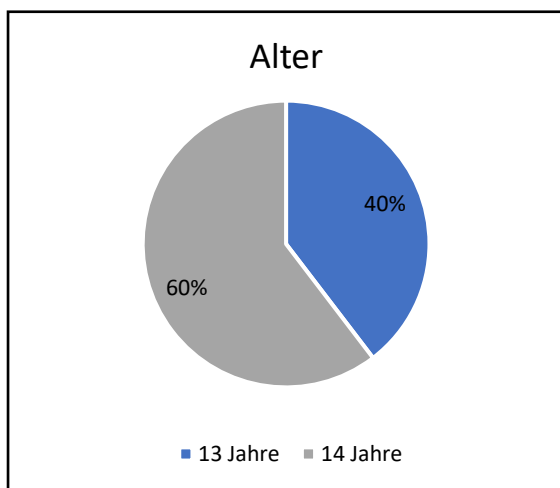


Abbildung 9: Altersverteilung der Proband*innen (eigene Darstellung basierend auf der Schüler*innenbefragung)

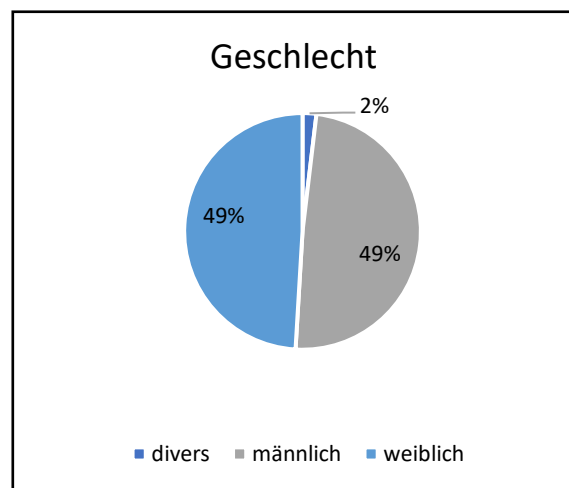


Abbildung 10: Geschlechterverteilung der Proband*innen (eigene Darstellung basierend auf der Schüler*innenbefragung)

6.3 Darstellung der Ergebnisse

Die Antworten der Schüler*innen werden im Anhang 3, die der Lehrpersonen im Anhang 4 dargestellt, eine Zusammenfassung der Ergebnisse wird nachfolgend in Abbildungen präsentiert. Dazu werden die Ergebnisse in fünf inhaltlich zusammengehörige Kategorien der Teilbereiche der Modellkompetenz (vgl. Abschnitt 2.3) zusammengefasst. In der Legende in Tabelle 2 werden die Items des Fragebogens zusammengefasst und den Kategorien zugeordnet.

Bei den allgemeinen Daten wurde neben dem Alter und dem Geschlecht auch die Note in Chemie in der Schulnachricht im Schuljahr 2021/ 22 abgefragt. Diese werden in der Abbildung 11 zusammengefasst. Dabei haben 55% der Befragten angegeben, dass sie die Note „Sehr gut“ und 21 % die Note „Gut“ hatten. Ein „Befriedigend“ in der Schulnachricht hatten 22% und lediglich 2 % der Schüler*innen hatten die Note „Genügend“. Niemand hatte eine negative Beurteilung, das bedeutet kein „Nicht genügend“ als Semesternote.

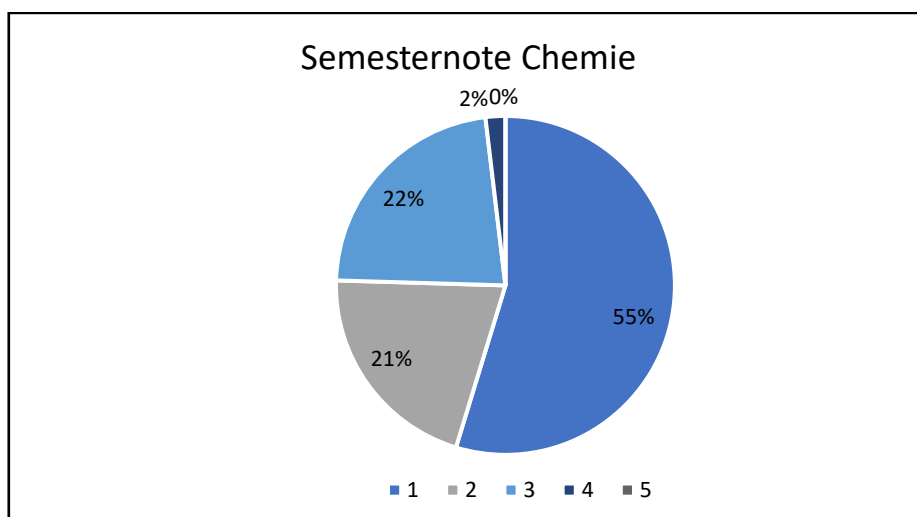


Abbildung 11: Noten in Chemie der Schüler*innen in der Schulnachricht im Schuljahr 2021/22 (1 = Sehr gut, 2 = Gut, 3 = Befriedigend, 4 = Genügend, 5 =Nicht genügend) (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung)

In Abbildung 12 werden grundlegende Angaben zum Chemieunterricht dargestellt. Dabei handelt es sich um die Items 1 bis 3, die sich mit dem Interesse und Spaß am Chemieunterricht beschäftigen, sowie der Erlernbarkeit von Chemie.

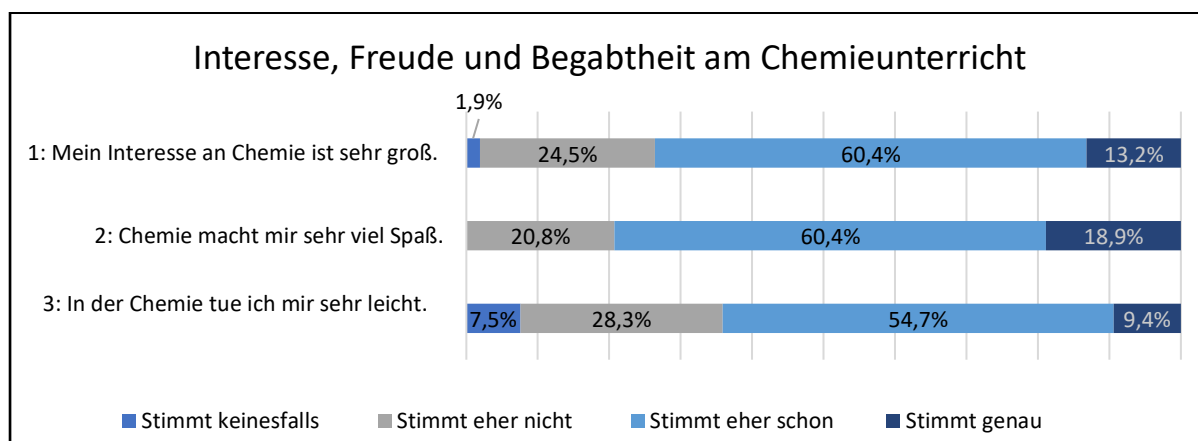


Abbildung 12: Diagramm Items 1 - 3 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung)

In den folgenden Diagrammen werden die Ergebnisse der Items 4 bis 24 anhand von Prozentstreifen dargestellt. Eine Übersicht über die Mittelwerte der jeweiligen Items findet sich in Abbildung 18. In Abbildung 13 werden die Items 4 – 11 in der Kategorie *Eigenschaften von Modellen* zusammengefasst, dargestellt anhand eines Prozentstreifen für jedes einzelne Item.

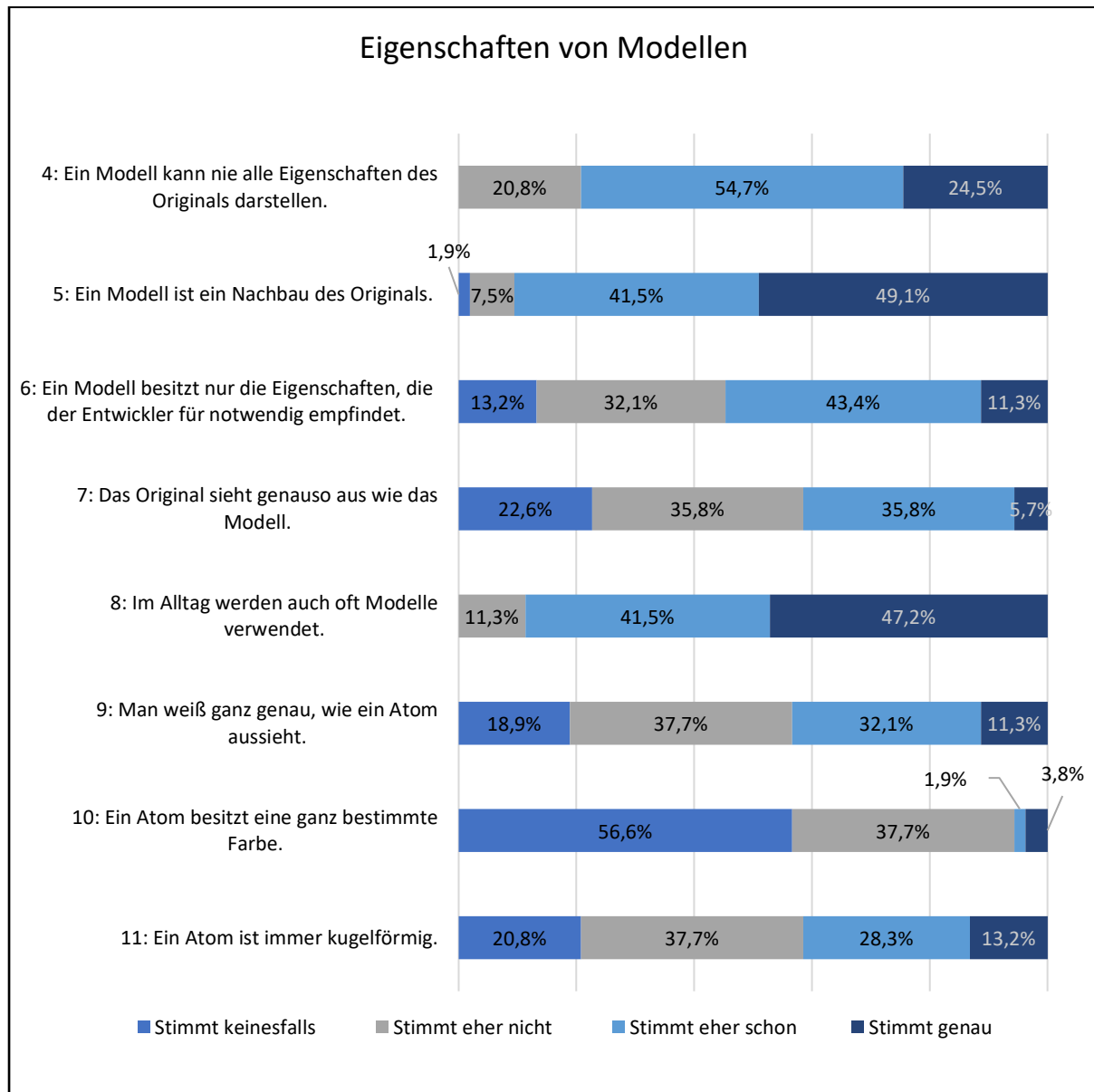


Abbildung 13: Diagramm Items 4 - 11 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung)

In Abbildung 14 werden die Ergebnisse der Kategorie *Zweck von Modellen* dargestellt. Dazu gehören die Items 12 bis 15.

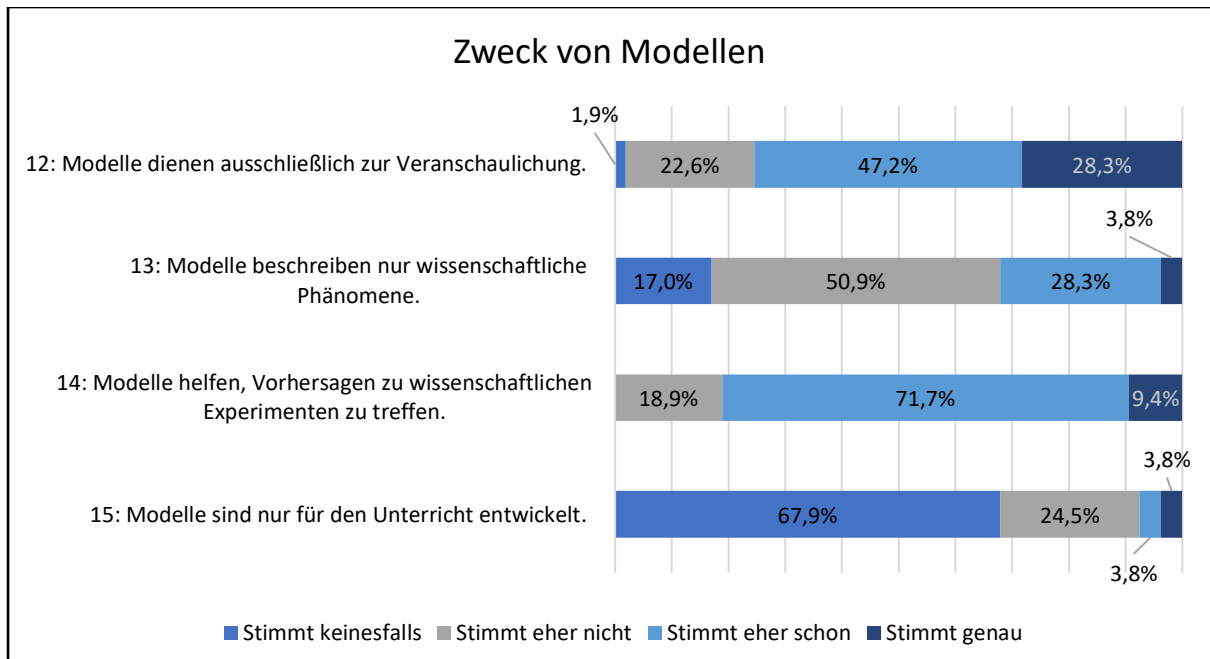


Abbildung 14: Diagramm Items 12 - 15 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung)

Zu der Kategorie *Alternative Modelle* zählen die Items 16 und 17. Die Ergebnisse der Umfrage dazu werden in Abbildung 15 wiedergegeben.

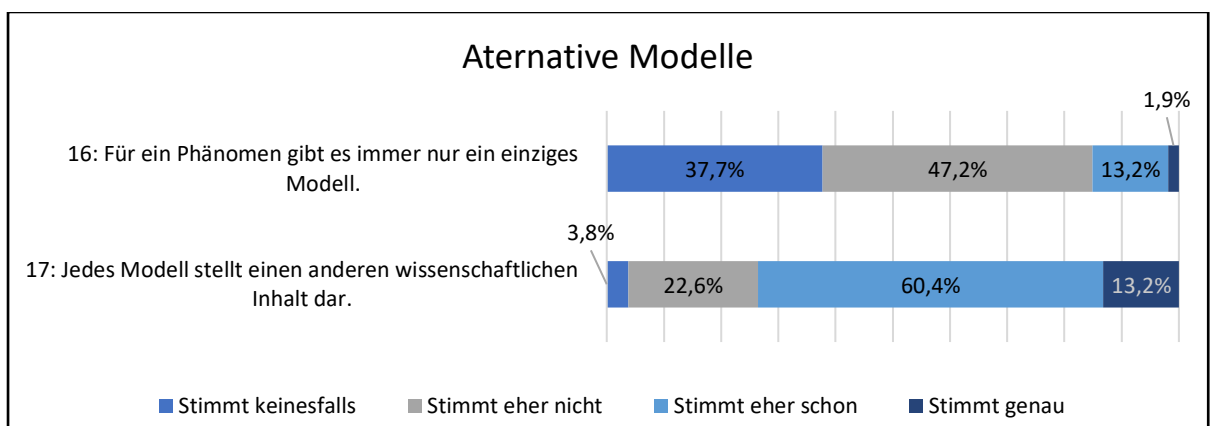


Abbildung 15: Diagramm Items 16 - 17 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung)

Ob Modelle veränderbar oder für die Schüler*innen für immer gültig sind, wurde mit den Items 18 bis 21 abgefragt und die Antworten werden in der Kategorie *Ändern von Modellen* in der nachfolgenden Abbildung 16 zusammengefasst.

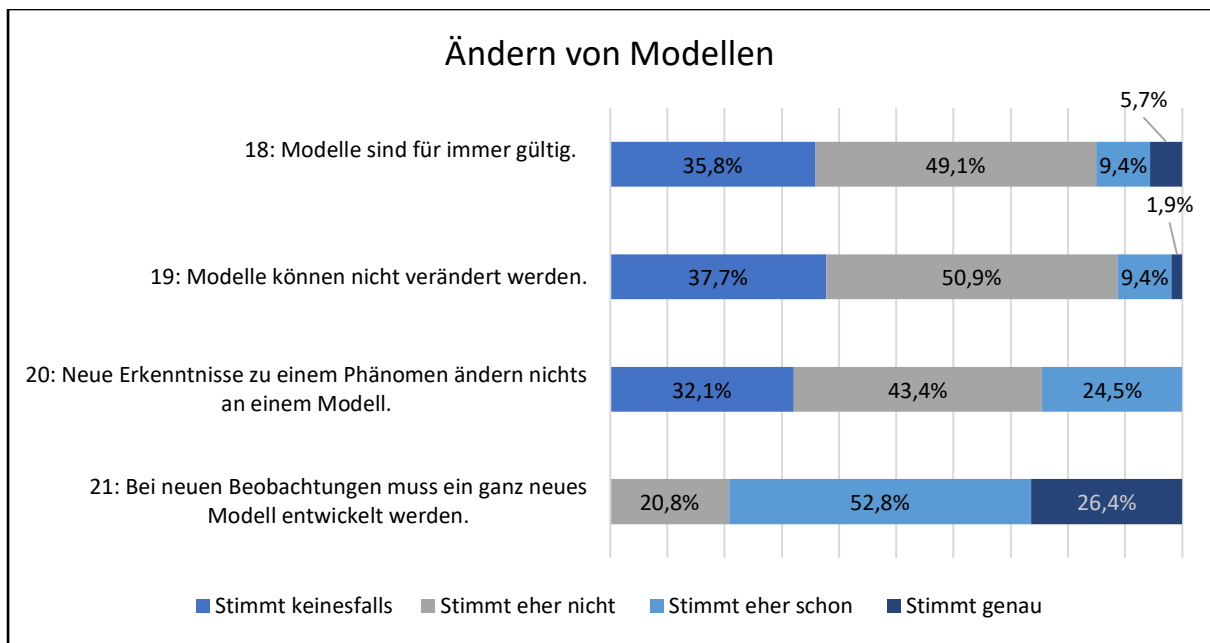


Abbildung 16: Diagramm Items 18 - 21 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung)

Die abschließende Kompetenz *Testen von Modellen* beinhaltet die drei Items 22 bis 24. In Abbildung 17 werden die Ergebnisse im Diagramm gezeigt.

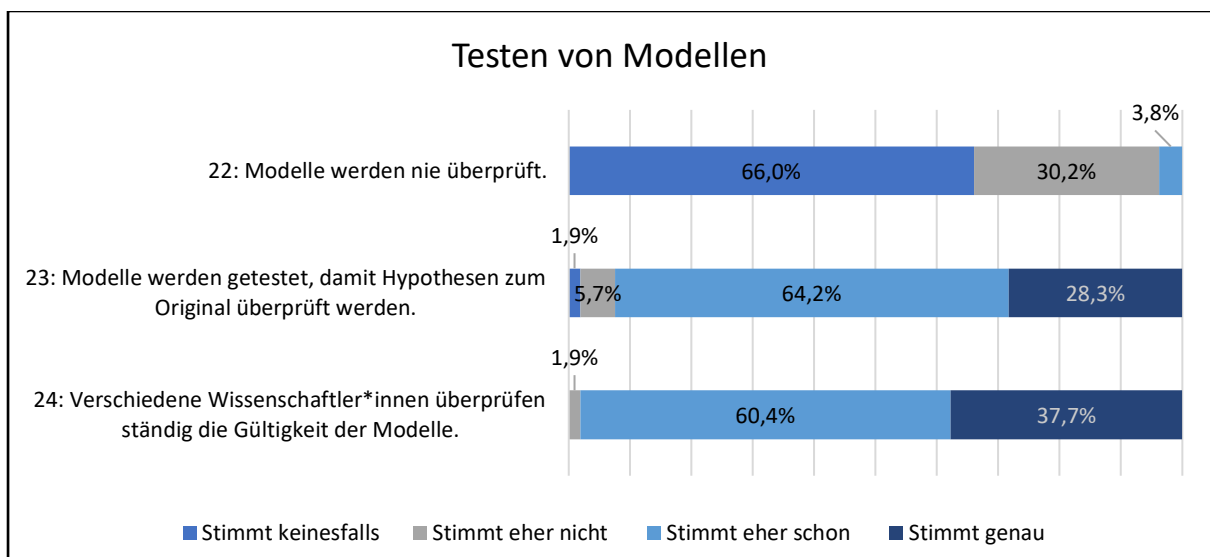


Abbildung 17: Diagramm Items 22 - 24 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung)

Bei der offenen Frage des Items 25 („Was ist dir besonders schwer gefallen beim Lernen des Atommodells?“) gaben 69,81% der Befragten keine Antwort bzw. gaben an, dass das Thema *Atommodelle* für sie einfach zu lernen gewesen sei. Die einzelnen Antworten der jeweiligen Befragten

sind im Anhang 3 aufgelistet. In folgender Tabelle werden die Aussagen der anderen 30,19% qualitativ ausgewertet in den Kategorien dargestellt.

Kategoriensystem Item 25: Was ist dir besonders schwer gefallen beim Lernen des Atommodells?		
Kategorie	Unterkategorie	Codierungsregeln stichwortartig
Eigenschaften von Modellen	Bildliche Darstellung	Vorstellungsproblem Aussehen des Atoms Modellvorstellung
	Inhaltlicher Aufbau	Ladungen benennen und berechnen Fachbegriffe Entstehung/ Entwicklung eines Modells in der Wissenschaft
Alternative Modelle	Gültigkeit	Gültigkeit unterschiedlicher Modelle
	Vielfalt	Vorhandensein mehrerer Modellarten gleichzeitig
Schwierigkeitsgrad	Verständnisaufbau	Verständnisschwierigkeiten

Tabelle 3: Kategoriensystem Item 25 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung)

Die Ergebnisse der Items 1 bis 24 der Lehrer*innenbefragung werden zusammen mit den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung in Abbildung 18 präsentiert. Dazu werden die Mittelwerte für jedes Item der beiden Proband*innengruppen ermittelt und diese in einem Säulendiagramm gegenübergestellt. Dabei entsprechen die Werte auf der senkrechten Achse den Werten der vierteiligen Likert Skala (1 = „Stimmt keinesfalls“, 2 = „Stimmt eher nicht“, 3 = „Stimmt eher schon“, 4 = „Stimmt genau“).

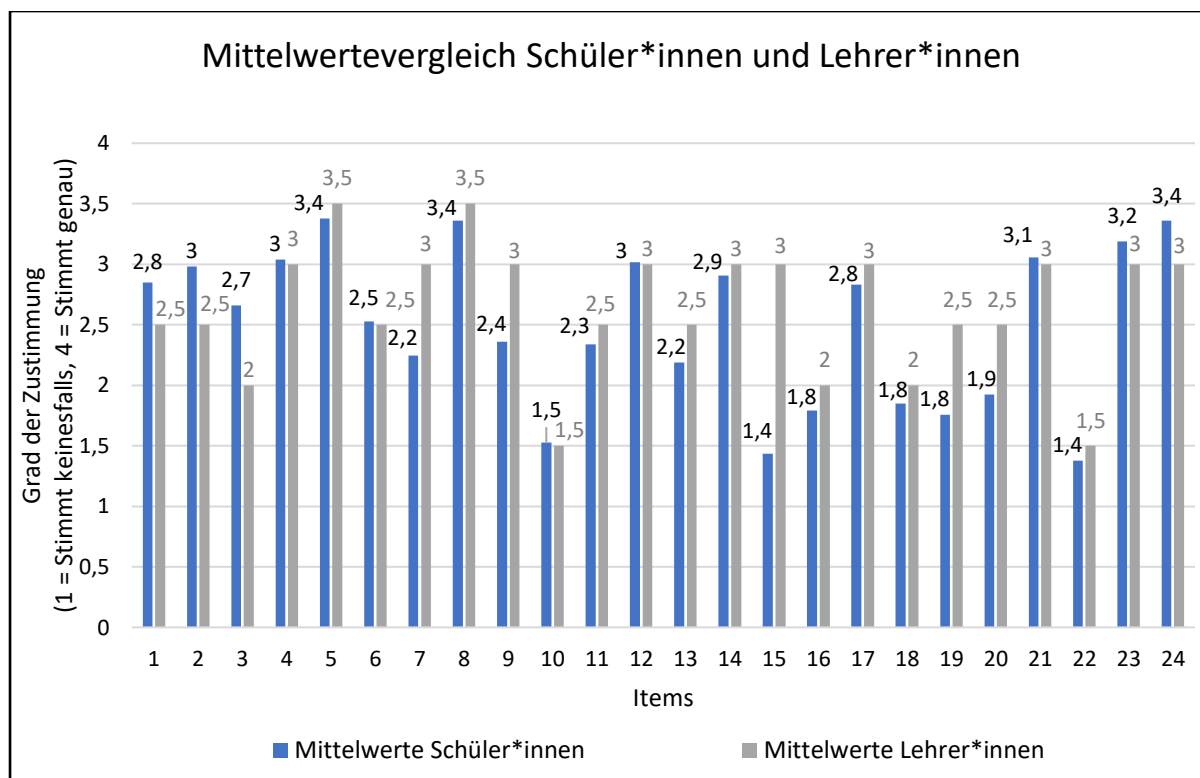


Abbildung 18: Vergleich der Mittelwerte der Aussagen der Schüler*innen mit den Aussagen der Lehrer*innen (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Fragebögen)

Legende:

Item 1: Mein Interesse an Chemie ist sehr groß.
 Item 2: Chemie macht mir sehr viel Spaß.
 Item 3: In der Chemie tue ich mir sehr leicht.
 Item 4: Ein Modell kann nie alle Eigenschaften des Originals darstellen.
 Item 5: Ein Modell ist ein Nachbau des Originals.
 Item 6: Ein Modell besitzt nur die Eigenschaften, die der Entwickler für notwendig empfindet.
 Item 7: Das Original sieht genauso aus wie das Modell.
 Item 8: Im Alltag werden auch oft Modelle verwendet.
 Item 9: Man weiß ganz genau, wie ein Atom aussieht.
 Item 10: Ein Atom besitzt eine ganz bestimmte Farbe.
 Item 11: Ein Atom ist immer kugelförmig.
 Item 12: Modelle dienen ausschließlich zur Veranschaulichung.

Item 13: Modelle beschreiben nur wissenschaftliche Phänomene.
 Item 14: Modelle helfen, Vorhersagen zu wissenschaftlichen Experimenten zu treffen.
 Item 15: Modelle sind nur für den Unterricht entwickelt.
 Item 16: Für ein Phänomen gibt es immer nur ein einziges Modell.
 Item 17: Jedes Modell stellt einen anderen wissenschaftlichen Inhalt dar.
 Item 18: Modelle sind für immer gültig.
 Item 19: Modelle können nicht verändert werden.
 Item 20: Neue Erkenntnisse zu einem Phänomen ändern nichts an einem Modell.
 Item 21: Bei neuen Beobachtungen muss ein ganz neues Modell entwickelt werden.
 Item 22: Modelle werden nie überprüft.
 Item 23: Modelle werden getestet, damit Hypothesen zum Original überprüft werden.
 Item 24: Verschiedene Wissenschaftler*innen überprüfen ständig die Gültigkeit der Modelle.

Die Items 26 bis 33 beschäftigen sich mit der Bedeutung von Modellen im Chemieunterricht der Lehrpersonen und den dabei verwendeten Methoden. Die ausführliche Darstellung der Ergebnisse ist in Anhang 4 in der Tabelle dargestellt. In Abbildung 19 werden die Mittelwerte der erhobenen Daten dargestellt.

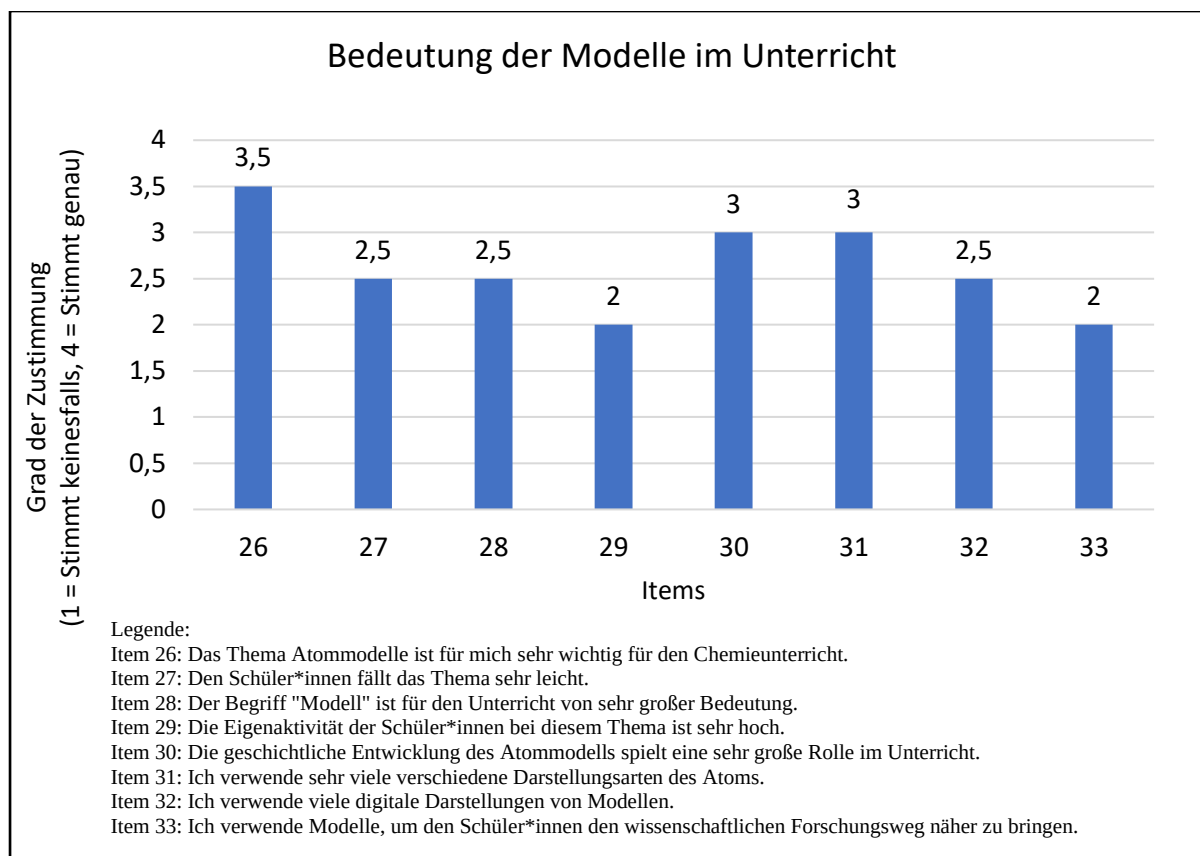


Abbildung 19: Bedeutung der Modelle im Unterricht für die Lehrpersonen anhand der Items 26 – 33 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Lehrer*innenbefragung)

Die Antworten der offenen Fragen der Lehrer*innenbefragung werden in Tabelle 4 zusammengefasst dargestellt. Die beiden Lehrpersonen verwenden beide mindestens drei Unterrichtseinheiten für das Atommodell (vgl. Item 34: „Wie viele Unterrichtseinheiten verwendest du für die Atommodelle?“) und arbeiten mit verschiedensten Bildern und digitalen 3D Modellen bzw. Simulationen (vgl. Item 36: „Welche Darstellungsarten verwendest du für die Atommodelle?“). Item 35 („Wie steigst du in die Atomtheorie ein? Beschreibe deine Vorgehensweise in ein paar Sätzen.“) beschäftigt sich noch mit den verwendeten Methoden und Vorgehensweisen der Lehrpersonen beim Thema Atommodelle.

Offene Fragen Lehrer*innenbefragung			
Probandin	Item 34	Item 35	Item 36
1	3 – 4	Ich frage die SuS¹, wie sie sich ein Atom vorstellen und lasse es aufzeichnen. Dann weise ich jedem*r Schüler*in ein Kärtchen mit einem historischen Atommodell zu (Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr). Wenn Zeit ist, können sie die Modelle gemeinsam erarbeiten (anhand von Arbeitsblättern), ansonsten besprechen wir sie im Plenum kurz. Mir ist wichtig zu veranschaulichen, dass jedes Modell für sich relevant ist und unterschiedliche „Stärken“ und „Schwächen“ hat, sowie jede SuS Vorstellung vom Atom irgendwie relevant ist.	Bilder von Modellen 3D Modelle online
2	3	3 verschiedene Arten: 1) Eigene Vorstellung aufzeichnen lassen und anschließend zu den bestehenden einordnen lassen + Kurzpräsentationen halten lassen. 2) Lesetext: Sophies Welt: Wie stellt sich Demokrit Atom vor. Verknüpfung. 3) Video + Zusammenfassung (Atommodelle Abbildung + Beschreibung zuordnen lassen)	Abbildungen Simulationen Zeichnungen

Tabelle 4: Ergebnisse Item 34 - 36 (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen der Lehrer*innenbefragung)

6.4 Analyse und Interpretation der Ergebnisse

In diesem Teil der Arbeit werden die in Abschnitt 6.3 dargestellten Ergebnisse analysiert und interpretiert. Dazu werden weitere Diagramme für die fünf Teilkategorien der Modellkompetenz erstellt (vgl. Abbildungen 19 – 23), in denen die Richtigkeit der Beantwortung der Aussagen verdeutlicht wird, da die Items nicht alle in eine Richtung formuliert worden sind. Dafür wird in grünen Farben der Anteil der positiven Aussagen dargestellt, die zutreffend beantwortet sind, unabhängig davon, ob die Aussagen positiv oder negativ zu beurteilen sind. In roten Farben werden jene Anteile dargestellt, die unzutreffende Antworten ergeben, ebenso unabhängig davon, ob die Aussagen positiv oder negativ angegeben sind. Zur Vereinfachung der rhetorischen Interpretation werden die Angaben der Likert Skala der jeweiligen Items in zwei Gruppen geteilt, dabei besteht eine Gruppe aus den Ausprägungen „Stimmt keinesfalls“ und „Stimmt eher nicht“ und die andere Gruppe aus „Stimmt eher schon“ und „Stimmt genau“.

¹ SuS = Schüler und Schülerinnen

Wie in Kapitel 3.4 dargestellt ist das Interesse der Schüler*innen ein wesentlicher Faktor für erfolgreiches Lernen. Daher beschäftigen sich die Items 1 – 3 mit der Sympathie und der Freude an Chemie und am Chemieunterricht sowie mit der Selbsteinschätzung des Könnens (vgl. Abbildung 12). Item 1 und 2 zeigen, dass die deutliche Mehrheit (73,6% und 79,3%) der Befragten Interesse und Spaß am Chemieunterricht empfinden und daher der Grundbaustein für erfolgreiches Lernen gelegt ist. Item 3 („Ich tue mir in Chemie sehr leicht.“) steht in Korrelation mit den Semesternoten in Chemie. Demnach fällt Chemie 64,1 % der Befragten leicht und 76% der Schüler*innen besitzen entweder die Noten „Sehr gut“ oder „Gut“. Die Diskrepanz der beiden Anteile ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass auch Schüler*innen, die Chemie nicht mit Leichtigkeit erlernen, fleißige und gute Lerner*innen sind und demnach eine gute Note in Chemie erreichen können.

Zu der Teilkompetenz Eigenschaften von Modellen sind die Items 4 – 11 zugehörig (vgl. Abbildung 13). In Abbildung 20 werden die Ergebnisse der Kategorie Eigenschaften von Modellen dargestellt. Dabei soll vor allem gezeigt werden, inwieweit die Befragten die Behauptungen richtig beantwortet haben. 79,2% der Befragten stimmen zu, dass Modelle nur gewisse Eigenschaften des Originals darstellen und somit nicht alle Aspekte aufgezeigt werden können. Rund ein Fünftel der Befragten (20,8%) können diese Behauptung nicht als wahr identifizieren. Das Item 5 wird gesamt von 90,6% der Befragten als richtig („Stimmt genau“ oder „Stimmt eher schon“) beantwortet. Lediglich 9,4% der Befragten erkennen, dass ein Modell kein Nachbau des Originals ist (1,9% „Stimmt keinesfalls“ und 7,5% „Stimmt eher nicht“). Eine mögliche Ursache dafür kann im Fragebogen der Lehrer*innen gefunden werden. Auch hier liegt der Mittelwert bei 3,5: Das bedeutet, dass auch die Lehrpersonen der Richtigkeit der Aussage aus Schüler*innensicht eher zugestimmt haben („Stimmt eher schon“ bzw. „Stimmt genau“). Dies kann mit der Vorstellung einhergehen, dass ein Modell dem Original nachgeahmt wird und so die Eigenschaften des Phänomens in einem Modell „nachgebaut“ werden. Es sollte daher vor allem bei der Einführung des Atommodells auf sprachsensiblen Unterricht und bewusste Nutzung von Worten geachtet werden (vgl. Kapitel 2.5). Obwohl bei den weiteren Items 6 bis 11 zumeist die grüne Farbe überwiegt, also meist mehr als die Hälfte der Kinder die Behauptungen zutreffend beantwortet haben, ist doch ein beachtlich großer Teil von mindestens 40% der Schüler*innen vorhanden, die Schwierigkeiten im Kompetenzbereich der Eigenschaften von Modellen besitzen. Dies zeigt sich vor allem bei dem Vergleich des Aussehens der Erlebnisswelt und der Modellwelt. Demnach sind 58,4 % der Befragten der Meinung, dass ein Modell genauso aussieht wie das Original. Das Aussehen des Atoms bereitet den Schüler*innen große Probleme, da dies ein hohes Maß an Abstraktionsfähigkeit benötigt (vgl. Abschnitt 2.5) (vgl. Bliss, 1996; Keller, 1977). Diese Annahme wird auch mit den Ergebnissen der Items 9 („Man weiß ganz genau, wie ein Atom aussieht“) und 11 („Ein Atom ist immer kugelförmig“) belegt. Bei diesen beiden Behauptungen hat zwar mehr als die Hälfte die Aussagen richtig als falsch identifiziert, allerdings bleiben von den Befragten noch mehr

als 40% übrig, die noch Schwierigkeiten bei diesen Vorstellungen besitzen. Dies lässt sich auf die in der Literatur angeführten Schwierigkeiten beim Wechsel zwischen Modellwelt und Erfahrungswelt zurückführen, also die Schüler*innen projizieren die Eigenschaften von Modellen auf die tatsächlichen Atome. Anzumerken hierbei ist allerdings, dass 94,3% der Schüler*innen wissen, dass ein Atom keine bestimmte Farbe besitzt. Die Lehrpersonen sind auch eher der Meinung, dass der Großteil der Schüler*innen diese Aussage eher nicht als falsch identifizieren kann. Diese Übereinstimmung lässt sich darauf zurückführen, dass wie in Abschnitt 4.4.2 erläutert, die Zuordnung der Farbe zu einem Atom eine oft auftretende Schüler*innenvorstellung ist und die Lehrpersonen aufgrund dessen gezielt diese Vorstellung in ihrem Unterricht behandeln. Sehr gute Vorstellungen besitzen die Befragten auch bei der Anwendbarkeit von Modellen. 88,7% stimmen zu (47,2% = „Stimmt genau“, 41,5% = „Stimmt eher schon“), dass Modelle auch im Alltag verwendet werden.

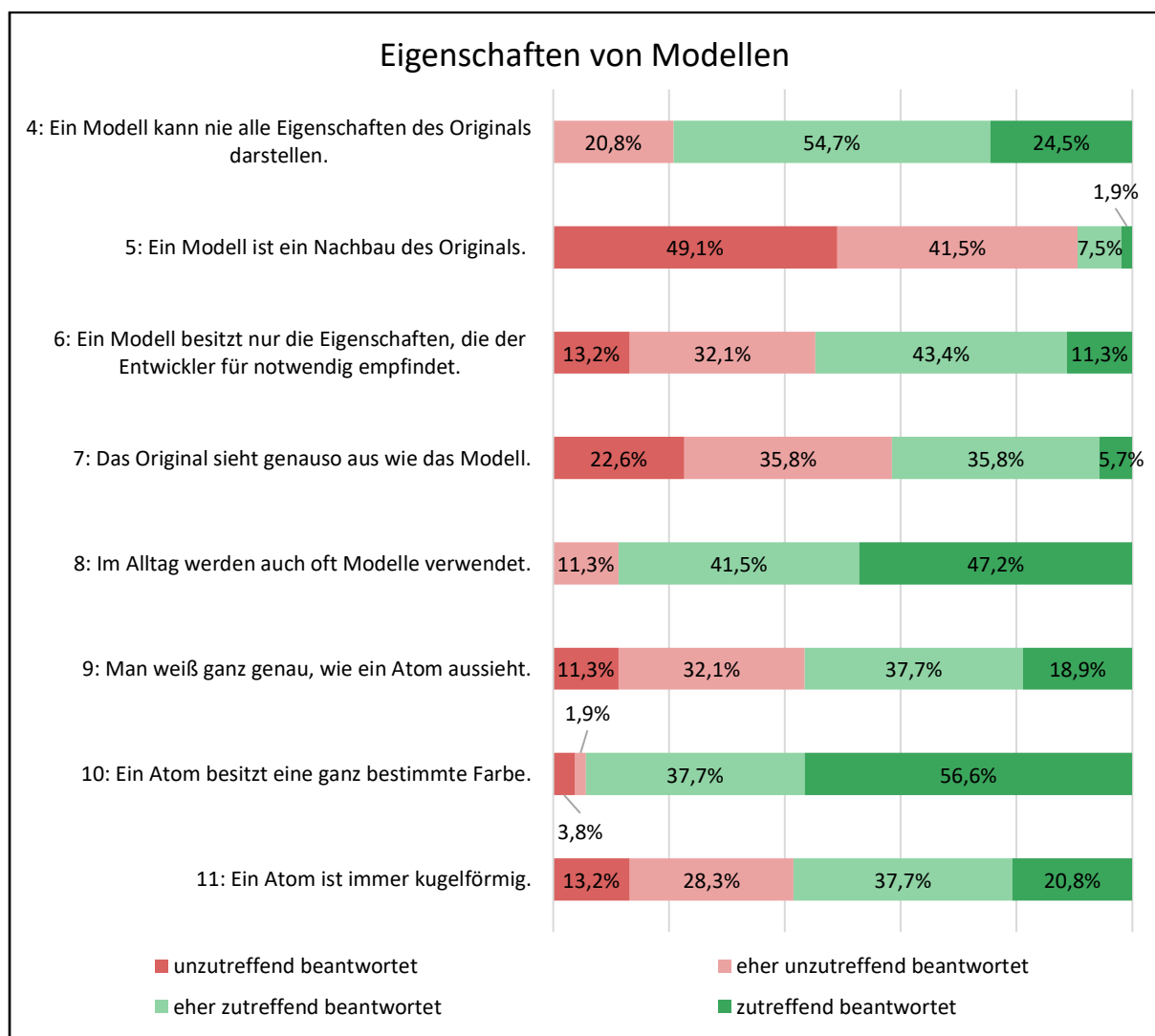


Abbildung 20: Interpretation der Item 4 - 11 (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung)

Die Items 12 bis 15 beschäftigen sich mit den Vorstellungen und Schwierigkeiten der Schüler*innen in der Teilkompetenz *Zweck von Modellen* (vgl. Abbildung 14). Insbesondere das Item 12 („Modelle dienen ausschließlich zur Veranschaulichung.“) ist für die Schüler*innen schwer als falsch zu identifizieren. Wie in Abbildung 21 durch den roten Balken ersichtlich ist, haben drei Viertel der Schüler*innen (75,5%) angegeben, dass Modelle ausschließlich der Veranschaulichung dienen. Dies zeigt, dass Lernende in der Sekundarstufe I vor allem mit Anschauungsmodellen konfrontiert werden, die Denkmodellen begreifbar machen sollen (vgl. Barke, Harsch, Kröger, & Marohn, 2018). Neben dem Anschauungszweck von Modellen wissen aber 81,1% der Befragten, dass Modelle auch zum Vorhersagen von Aussagen wissenschaftlicher Experimente dienen (Item 14) und 92,4% der Befragten, dass Modelle zwar im Unterricht verwendet werden, diese aber noch viele andere Einsatzbereiche besitzen (Item 15). In dieser Teilkompetenz korrelieren die Angaben der Schüler*innen mit den Angaben der Lehrpersonen, außer bei Item 15. Hier gehen die Lehrpersonen davon aus, dass die Lernenden die Modelle nur dem Unterricht zuordnen. Diese Kategorie zeigt, dass die Schüler*innen bereits ein Verständnis für den Nutzen von Modellen zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg erlangt haben, bei der Verwendung der Modelle jedoch noch die diversen Anwendungen aufgezeigt werden sollen.

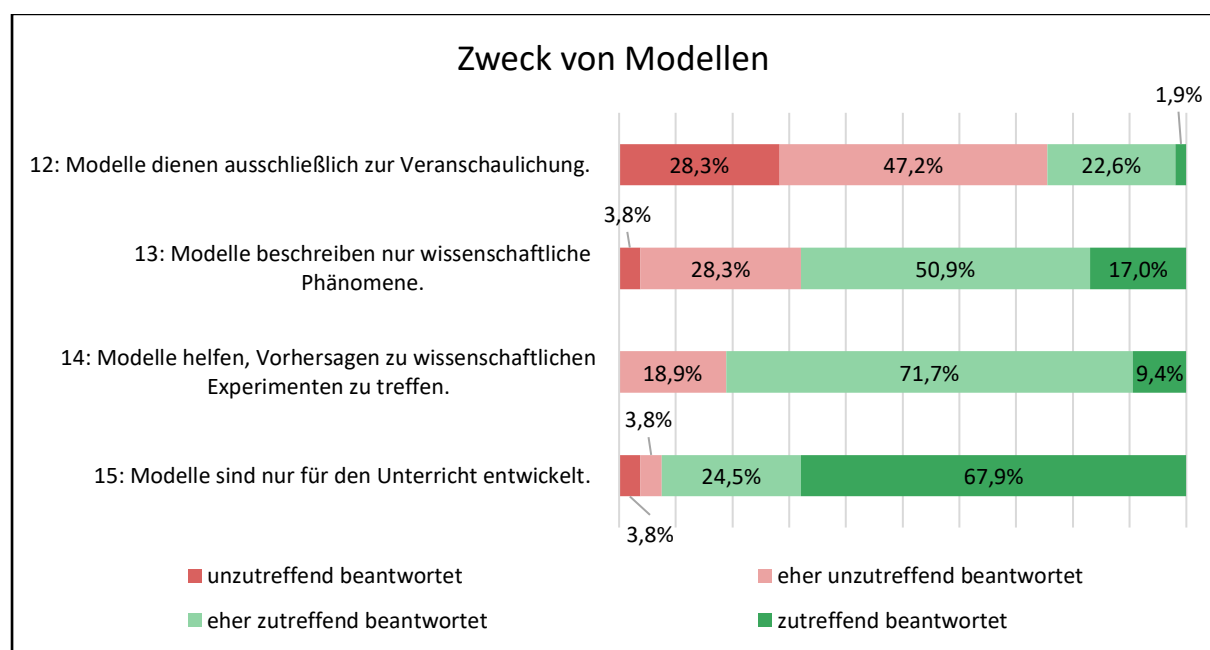


Abbildung 21: Interpretation der Item 12 - 15 (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung)

Die Ergebnisse der Items 16 und 17 der Kategorie *Alternative Modelle* aus Abbildung 15, werden nun in Abbildung 22 interpretiert. Dabei ist auffallend, dass zwar 84,9% der Befragten wissen, dass es für

ein Phänomen verschiedene Modelle gibt (vgl. Item 16), allerdings aber auch 73,6% der Meinung sind, dass jedes Modell einen anderen wissenschaftlichen Inhalt darstellt (vgl. Item 17). Hierbei ist anzumerken, dass das Item 17 nicht eindeutig formuliert gewesen ist. Einerseits stellt jedes Modell einen anderen wissenschaftlichen Teilaspekt dar, andererseits aber gibt es auch mehrere Modelle für ein und denselben wissenschaftlichen Inhalt. Aus diesem Grund können die Ergebnisse aus Item 17 nicht zweifelsfrei analysiert und interpretiert werden. Um diese Kompetenz der Alternativen Modelle zu erweitern, kann bei der Einführung der Modelle auf möglichst vielfältige Darstellungsarten von Modellen geachtet werden (vgl. Reiners & Saborowski, 2017).

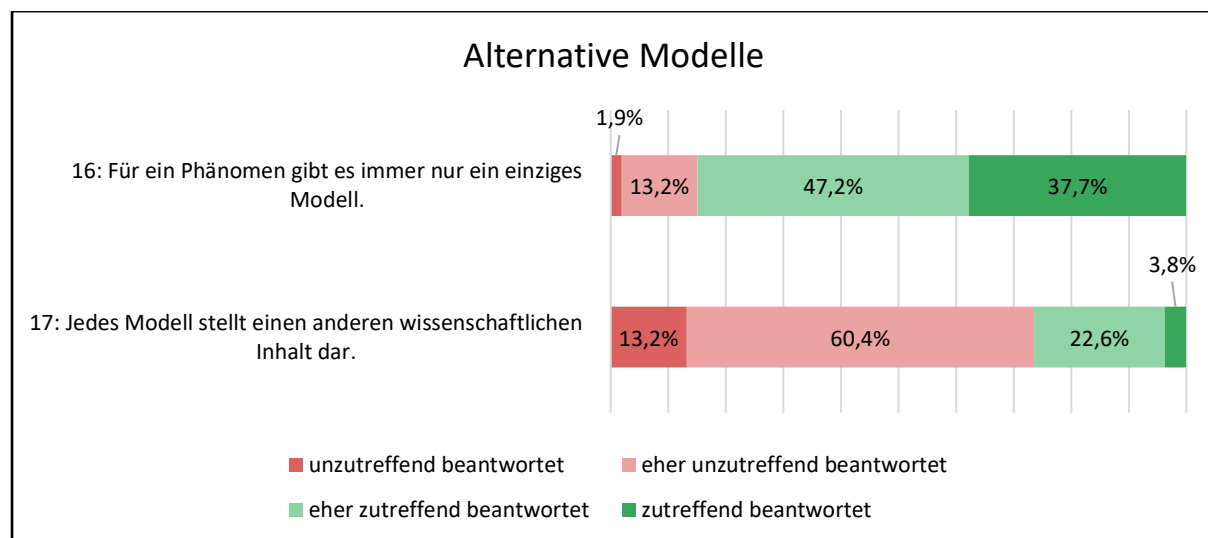


Abbildung 22: Interpretation der Item 16 und 17 (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung)

Zu dem Teilbereich *Ändern von Modellen* zählen die Items 18 bis 21, die in Abbildung 16 dargestellt werden. In diesem Teilbereich haben die Schüler*innen weniger Probleme die richtigen Antworten zu identifizieren, wie dies in Abbildung 23 dargestellt wird. Demnach haben bei den Items 18 („Modelle sind für immer gültig.“), 19 („Modelle können nicht verändert werden.“) und 20 („Neue Erkenntnisse zu einem Phänomen ändern nichts an einem Modell.“) jeweils mehr als drei Viertel der Befragten die Aussagen richtig als falsch beantwortet. Nur Item 21 („Bei neuen Beobachtungen muss ein ganz neues Modell entwickelt werden.“) bereitet den Befragten Schwierigkeiten. Die Vorstellung, dass man Modelle bei neuen Beobachtungen so verändern kann, dass sie auch danach wieder gültig sind, haben 79,2% der Schüler*innen noch nicht ausreichend entwickelt. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Trier, Krüger und Upmeyer zu Belzen (2014), die bei ihrer Interviewstudie identifizieren, dass die Proband*innen die Vorstellung, durch das Ändern und Weiterentwickeln von Modellen einen besseren Einblick in das Original zu bekommen, noch nicht ausreichend vorhanden ist (vgl. Trier, Krüger, &

Upmeier zu Belzen, 2014). Diese Vorstellung kann auch an dieser Stelle vermutet werden. Hervorzuheben ist auch, dass die Lehrpersonen ebenso der Meinung sind, dass die Lernenden diese Vorstellung eher noch nicht entwickelt haben. Ein möglicher Grund dafür kann sein, dass für die Lehrpersonen der wissenschaftliche Forschungsweg im Unterricht nicht von großer Bedeutung ist und daher auch nicht stark auf die Veränderbarkeit von Modellen bei neuen Erkenntnissen eingegangen wird. Hingegen wissen 88,6% der Befragten, dass Modelle verändert werden können. Entgegen den erwarteten Schwierigkeiten der Schüler*innen, die in Abschnitt 2.5 dargestellt sind, haben nur 15,1% der Schüler*innen die Vorstellung, dass Modelle für immer gültig sind.

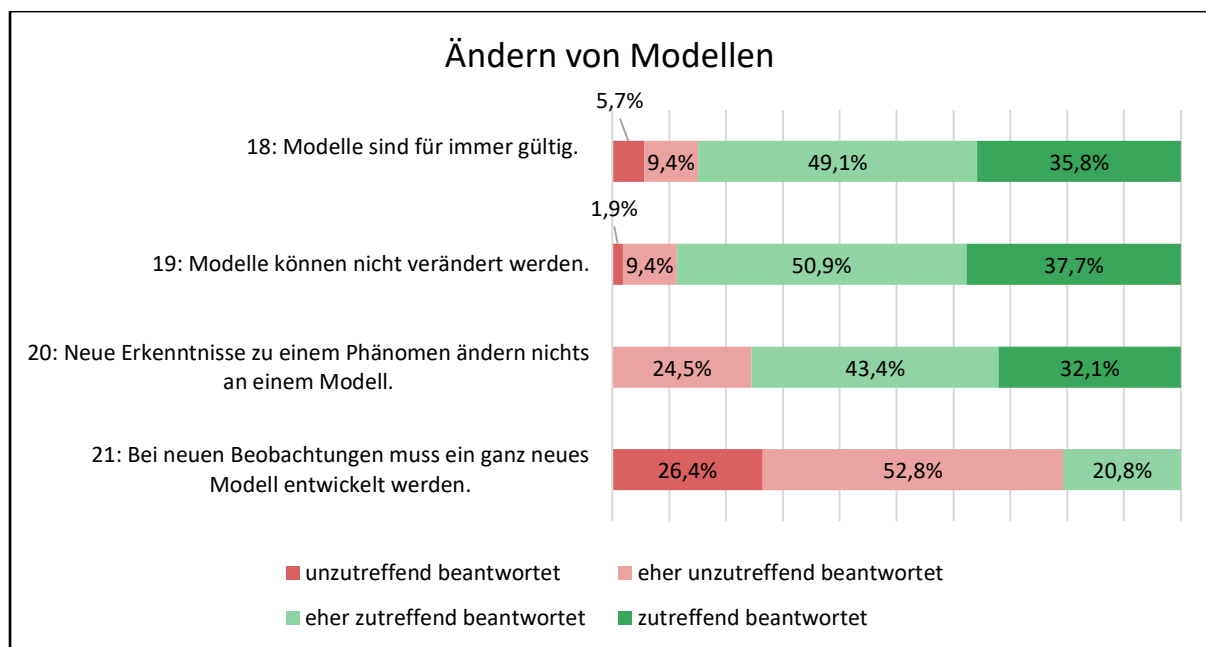


Abbildung 23: Interpretation der Item 18 - 21 (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung)

Die Items 22 bis 24 zählen zur abschließenden Kategorie *Testen von Modellen* und die Ergebnisse aus Abbildung 17 werden anschließend kurz interpretiert. Obwohl Schüler*innen in der Sekundarstufe I im Chemieunterricht kaum die Möglichkeiten haben, Modelle zu testen und zu verifizieren, sind die Aussagen der Teilkategorie *Testen von Modellen* positiv ausgefallen, dies ist in Abbildung 24 dargestellt. Bei allen drei Items (22: „Modelle werden nie überprüft.“, 23: „Modelle werden getestet, damit Hypothesen zum Original überprüft werden.“, 24: „Verschiedene Wissenschaftler*innen überprüfen ständig die Gültigkeit der Modelle“) haben mehr als 90% der Befragten die Aussagen richtig identifiziert. In dieser Kategorie stimmen auch die Aussagen der Schüler*innen mit den Aussagen der Lehrpersonen überein (vgl. Abbildung 18).

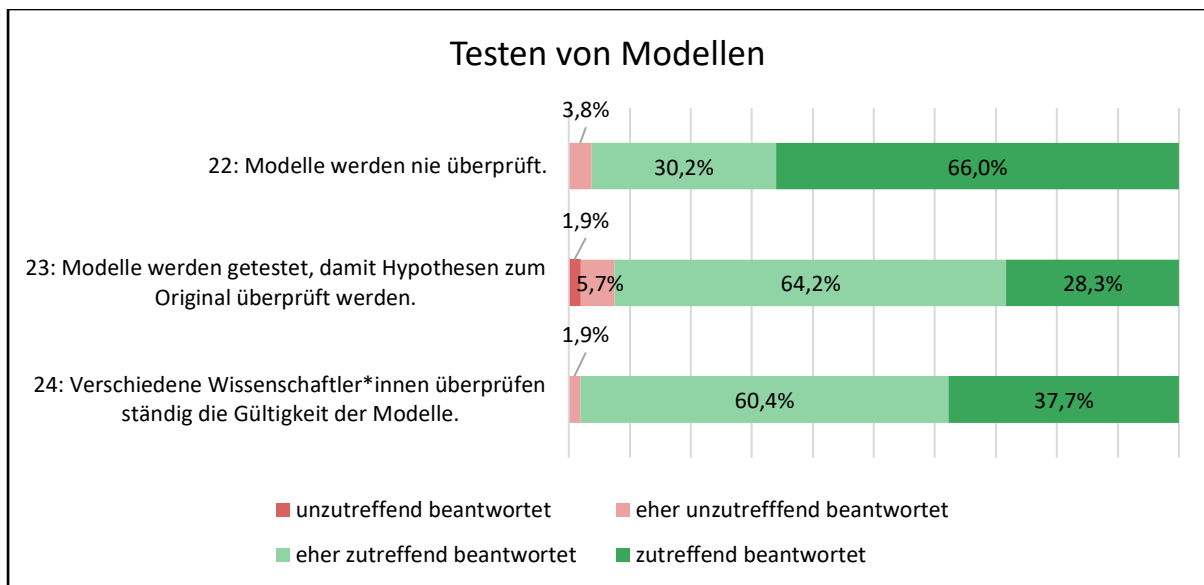


Abbildung 24: Interpretation der Item 22 - 24 (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung)

Die Erhebung der Schwierigkeiten mit dem Atommodell mit der offenen Frage des Items 25 („Was ist dir besonders schwer gefallen beim Lernen des Atommodells?“) ist nicht sehr repräsentativ, da fast 70% der Befragten keine relevanten Aussagen gemacht haben (vgl. Darstellung der Ergebnisse im Anhang 3). Ein möglicher Grund für die sehr rare Beantwortung dieser Frage kann sein, dass das Thema *Atommodelle* bereits vor mehreren Monaten vor der Befragung durchgenommen worden ist und die Lernenden daher wenig Erinnerungsvermögen an die Schwierigkeiten bei diesem Thema haben. Ebenso kann ein mangelndes Interesse an der Umfrage oder Bequemlichkeit bei der Beantwortung vermutet werden. Bei den Antworten der anderen rund 30% ist aber deutlich zu erkennen, dass die Schüler*innen vor allem Probleme mit der Teilkompetenz Eigenschaften von Modellen und der Vorstellung von Modellen besitzen, wie im Kategoriensystem in Tabelle 3 dargestellt ist. Die Schüler*innen haben Schwierigkeiten sich das Aussehen der Atome vorzustellen und dieses Wissen für den Aufbau zu nutzen. Es bereitet Schüler*innen Schwierigkeiten sich etwas vorzustellen, von dem man nicht weiß, wie das Original tatsächlich aussieht (vgl. Trier, Krüger, & Upmeyer zu Belzen, 2014). Ebenso bereiten den Lernenden Fertigkeiten, die durch Lernen angeeignet werden können, Schwierigkeiten. Die Sprache der Chemie ist für viele Schüler*innen wie eine neue „Fremdsprache“ zu lernen und so müssen die spezifischen Begriffe als Vokabular angeeignet werden, damit ein Verständnis für das Atommodell und seinen Nutzen aufgebaut werden kann (vgl. Leisen, 2015). Demnach ist für die Schüler*innen das Erlernen und Nutzen des Fachvokabulars eine Herausforderung (vgl. Abschnitt 2). Wie in Abschnitt 4.1 beschrieben, beschränkt sich das Anwenden des Wissens über Atommodelle auf die Berechnung der Elementarladungen in den einzelnen Atomen sowie das Zuordnen der Anzahl der Elektronen zu den jeweiligen Schalen. Dieses abstrakte Arbeiten mit dem Schema des Schalenmodells fordert die

Lernenden und muss vor allem für die Schwächeren durch mehrmaliges Üben gefestigt werden. Die Vorstellung von etwas, das nicht mit den wissenschaftlichen Methoden für den Menschen sichtbar ist, und dazu ein Modell über das Aussehen zu kreieren, ist subtil, sodass das Atommodell einen hypothetischen Charakter annimmt und das Vorstellungsvermögen der Lernenden gefragt ist (vgl. Kürger & Upmeyer zu Belzen, 2021).

Da die Lehrperson und die Unterrichtsformen einen wesentlichen Beitrag für erfolgreiches Lernen innehaben, wie dies in Abschnitt 3.4 ausführlich beschrieben wird, ist bei dieser Befragung auch die Einschätzung der Lehrpersonen über die Modellkompetenzen und die Schwierigkeiten der Lernenden mit den Modellen ein zu beachtender Faktor. Da die befragten Schüler*innen nur gesamt zwei Lehrpersonen im Fach Chemie haben, ist diese Umfrage zwar nicht repräsentativ, aber es kann eine Richtung vermutet werden. Die Korrelation der Mittelwerte der Angaben der Schüler*innen und der Lehrer*innen wird in Abbildung 18 wiedergegeben. Bei 20 der 24 Items liegt der Mittelwert der Lehrpersonen innerhalb der einfachen Standardabweichung der Angaben der Schüler*innen. Das bedeutet, dass bei diesen Aussagen, die Lehrpersonen zumindest im Bereich von zwei Drittel der Vorstellungen der Schüler*innen liegen. Nur bei 4 Items liegt der Mittelwert der Angabe der Lehrperson außerhalb der Standardabweichung der Angaben der Schüler*innen. Dabei handelt es sich um die Items 3 („In Chemie tue ich mir sehr leicht.“), 7 („Das Original sieht genauso aus wie das Modell.“), 15 („Modelle sind nur für den Unterricht entwickelt.“) und 19 („Modelle können nicht verändert werden.“). Bei der Fähigkeit Chemie zu erlernen, schätzen die Lehrenden die Schüler*innen schlechter ein. 64,1 % der Befragten erlernen die chemischen Inhalte leichter. Die Lehrpersonen sind allerdings der Meinung, dass der Großteil der Schüler*innen den Stoff in Chemie eher nicht leicht erlernt. Der Vergleich der Angaben bei Item 7 zeigt, dass die Lehrer*innen bereits sensibilisiert sind, da sie der Meinung sind, dass die Schüler*innen dem Original eher falsche Analogien des Modells gegenüberstellen und somit angegeben haben, dass die Mehrheit der Schüler*innen die Aussage als zumindest eher richtig ankreuzen würde. Tatsächlich haben mehr als die Hälfte der Schüler*innen diese Aussage richtig als falsch identifiziert, jedoch ein bemerkenswerter Anteil von rund 40% der Schüler*innen haben die Aussage als richtig gewertet. Dies zeigt auch, dass den Schüler*innen trotz des Bewusstseins der Lehrer*innen, die Trennung von Erfahrungswelt und Modellwelt eine große Herausforderung bereitet. Bei Item 15 wird die größte Diskrepanz zwischen den Angaben der Lehrpersonen und jenen der Schüler*innen festgestellt. Obwohl 92,4 % der Schüler*innen wissen, dass diese Aussage nicht stimmt, ist den Lehrpersonen dieses Wissen der Lernenden nicht bewusst. Nach ihren Angaben müsste der Großteil der Schüler*innen diese Aussage mit „Stimmt eher schon“ beantworten. Auch bei Item 19 haben die Lehrpersonen das Können ihrer Lernenden teilweise unterschätzt. Bei diesem Item haben die Schüler*innen mit einer eindeutigen Mehrheit von 88,6% angegeben, dass Modelle sehr wohl veränderbar sind, die Lehrer*innen allerdings mit einem Mittelwert

von 2,5 genau zwischen den Ausprägungen „Stimmt eher nicht“ und „Stimmt eher schon“ liegen und daher die Angabe als neutral gewertet werden kann. Zu diesen beiden Ausprägungen zählen die Meinungen von 60,3% der Schüler*innen und somit entspricht dies annähernd der Angaben der Lehrpersonen. Die Auswertung des Vergleichs der Angaben der Schüler*innen und Lehrer*innen widerspiegelt die Relevanz der Schüler*innenvorstellungen für den Chemieunterricht. Die Vorstellungen der Lernenden sollten nicht nur am Beginn des jeweiligen Unterrichtsthemas abgefragt werden, sondern auch im Lernprozess darauf eingegangen werden, um mögliche chemisch inkorrekte Vorstellungen zu thematisieren (vgl. Abschnitt 4.2).

Neben der Einschätzung der Lehrpersonen zu den Vorstellungen der Schüler*innen mit Modellen wurden in den Items 26 bis 36 die Einstellung und die Durchführung des Unterrichtsthemas Atommodelle der Lehrpersonen abgefragt (vgl. Abbildung 19), wobei es sich bei den Items 34 bis 36 um offene Fragen handelt (vgl. Tabelle 4). Das Atommodell gehört zu den Grundsäulen der Chemie und ist daher auch für die Lehrpersonen von großer Bedeutung, dabei spielen verschiedene Darstellungsarten und die geschichtliche Entwicklung des Atommodells eine eher wichtige Rolle bei der Vermittlung. Hervorzuheben ist auch, dass die Eigenaktivität und die Rolle von Modellen beim Vermittlungsprozess wenig Relevanz für die Lehrpersonen besitzen, obwohl, wie oben aus der Literatur belegt, das aktive Handeln bei der Wissensaneignung ausschlaggebend für erfolgreiches Lernen ist (vgl. Abschnitt 3). Aus der offenen Frage des Items 35 („Wie steigst du in die Atomtheorie ein? Beschreibe deine Vorgehensweise in ein paar Sätzen.“) wird allerdings ersichtlich, dass die Lehrpersonen sehr wohl auf die Eigenaktivität bei der Wissensaneignung Wert legen, da beide zumindest Themeneinstiege gewählt haben, bei welchen die Vorstellungen der Schüler*innen aktiv in das Unterrichtsgeschehen eingebunden werden. Erst in der Erarbeitungsphase werden teilweise Unterrichtsformen mit weniger Eigenaktivität gewählt, wie zum Beispiel das Vorstellen der geschichtlichen Entwicklung des Atombegriffs. Ohne den Begriff *Modell* konkret im Unterricht zu thematisieren, fällt es den Schüler*innen schwerer zwischen der Erfahrungswelt und der Modellwelt zu unterscheiden und dieser Wechsel wird beim Springen zwischen den Ebenen des Johnstone Dreiecks benötigt (vgl. Abschnitt 2). Ein möglicher Grund für die Schwierigkeiten einzelner Schüler*innen beim Verständnis der Entwicklung des Atommodells kann das Außer-Acht-Lassen des wissenschaftlichen Forschungsweges bei der Vermittlung sein, somit wird der abduktive Weg der chemischen Forschungen für die Lernenden nicht begreifbar.

Abschließend muss noch angemerkt werden, dass sich die gewonnenen und dargestellten Ergebnisse ausschließlich auf die Probandengruppe beziehen. Es kann aber vermutet werden, dass es durchaus für weitere gilt. Dazu müsste man aber eine größere Probandengruppe untersuchen.

7. Konzeptentwurf Atommodell

Im Abschnitt 3 werden in der Literatur vorherrschende Lehr- und Lerntheorien erörtert. Dabei steht vor allem das aktive Handeln der Lernenden im Vordergrund. Einerseits wird erläutert, dass Schüler*innen erfolgreich Lernen, wenn sie durch aktives Tun und Handeln wahrnehmen, andererseits bedarf es bei komplizierteren und abstrakteren Lerninhalten anfänglicher Instruktion. Diese Erkenntnisse des Kapitels 3 der Lehr-Lernforschung werden für die Entwicklung dieses Konzepts zum Unterrichtsthema *Atommodelle* in der Sekundarstufe I AHS verwendet. Im folgenden Teil der Arbeit werden zu Beginn die Methoden und Materialien einer didaktischen Analyse unterzogen, um dann die Verortung des Konzepts im Lehrplan der Sekundarstufe I AHS und die zu erweiternden Kompetenzen des Kompetenzmodells der Naturwissenschaften der Sekundarstufe I, sowie die festgelegten Lernziele zu erläutern. Das ausgearbeitete Konzept kann im Anhang 5 studiert werden. Abschließend wird das Konzept durch ein Expertenrating evaluiert.

7.1 Didaktische Strukturierung

In der didaktischen Strukturierung sollen nach dem Konzept der didaktischen Rekonstruktion nach Kattmann et al. (1997) die Erkenntnisse der fachlichen Klärung und der Erhebung der Schüler*innenvorstellungen angewendet werden, um ein Konzept für den Unterricht zu entwerfen. Dazu verortet er drei Fragen, die für die didaktische Strukturierung von Bedeutung sind und im Laufe der Konstruktion des Konzepts beantwortet werden sollen (vgl. Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997):

- „Welche Korrespondenzen eröffnen sich durch den Vergleich der Vorstellungen von Wissenschaftlern und Schülern?“ (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 12)
- „Welche Schülervorstellungen sind bei der Vermittlung von Begriffen und bei der Verwendung von Termini zu beachten?“ (ebd. S. 12)
- „Welche metafachlichen und metakognitiven Denkwerkzeuge können für ein angemesseneres und fruchtbares Lernen nützlich sein?“ (ebd. S. 12)

In folgender Analyse sollen diese drei Fragen als Ausgangspunkt dienen und die Grundlage für einen konstruktiven Unterricht sein. Ziel dieses Unterrichtskonzepts soll sein, die Schwierigkeiten von Schüler*innen mit Modellen, die durch den Fragebogen und die Literatur erfahren werden (vgl. Kapitel 2.5 und Kapitel 6), zu minimieren und einen Unterricht zum Thema *Atommodelle* in der Sekundarstufe

I AHS zu gestalten. Dazu werden fünf Unterrichtseinheiten entworfen, die im anschließenden Teil didaktisch analysiert werden sollen.

Zu Beginn des Themas Atommodelle soll ein Verständnis für den Begriff und die Bedeutung von Modellen aufgebaut werden. Dazu wird die Unterrichtseinheit an ein gängiges Experiment aus der Biologie oder der Physik angelehnt – das Blackbox-Experiment. Eine Blackbox stellt ein System dar, dessen Inhalt unbekannt ist. Durch unterschiedliche Inputs und die resultierenden Outputs sollen Hypothesen zu dem Inhalt der Box aufgestellt werden. Als Produkt dieses Experiments soll am Ende der Inhalt der Box stehen. Dazu können die Experimentierenden verschiedene Methoden erproben, um mehr über den Inhalt herauszufinden. Es sollen Hypothesen aufgestellt und versucht werden diese zu überprüfen (vgl. Friege & Mie, 2006). Hierbei steht nicht die richtige Antwort im Vordergrund, sondern das Kennenlernen und Verstehen der naturwissenschaftlichen Arbeitsmethoden und Forschungsweisen, um ein Verständnis für die Natur der Naturwissenschaften aufzubauen (vgl. Abschnitt 2.2). Neben dem Aufbauen eines Wissenschaftsverständnisses wird auch die Kompetenz des Problemlösens gefordert bzw. gefördert, dabei stellt die Box ein Modell für ein wissenschaftliches Phänomen dar. Die Schüler*innen lernen dabei problemorientiert den naturwissenschaftlichen Forschungsweg zu durchlaufen, um anschließend ihre akzeptierten Hypothesen zu einem Modell über den Inhalt der Box aufzustellen. Einerseits erfahren die Lernenden dadurch, dass der Weg der Forschungen nicht linear erfolgt und das Wissen erst konstruiert und erarbeitet werden muss. Andererseits kann mit der Blackbox der Begriff eines Modells erläutert werden. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, ist ein Modell eine Konstruktion aus wissenschaftlichen Beobachtungen und Ergebnissen, die helfen soll ein wissenschaftliches Modell begreifbar zu machen. Die Schüler*innen entwickeln ein Modell für den Inhalt der Box und es kann der Modellbegriff diskutiert werden. Gerade bei komplexeren Sachverhalten, wie dem Modellbegriff oder dem Atommodell, ist die Eigenaktivität der Schüler*innen von Bedeutung für die aktive Konstruktion von Wissen (vgl. Friege & Mie, 2006; Ruebush, Sulikowski, & North, 2009; Upmeier zu Belzen, 2014). In der Biologie und der Physik werden Experimente mit einer Blackbox zum Erklären bestimmter Modelle, wie der DNA, des Gehirns oder um optische Phänomene und Widerstände darzustellen, verwendet (vgl. Bündler, Mie, & Friege, 2006; Friege & Mie, 2006; Koch, Krell, & Krüger, 2015; Upmeier zu Belzen, 2014). Bündler, Mie und Friege (2006) beschreiben auch ein Blackbox-Experiment aus der Chemie. Dabei sollen die Lösungen in fünf Reagenzgläser identifiziert werden. In dieser Unterrichtsreihe wird bewusst von der Durchführung eines Experiments aus der Chemie abgesehen, da die Schüler*innen erst am Beginn des Chemieunterrichts stehen und noch wenig chemisches Wissen haben. Des Weiteren soll hier nicht die Chemie im Mittelpunkt stehen, sondern der Modellbegriff und der naturwissenschaftliche Forschungsweg. Aus diesen Gründen wird der Inhalt der Box nicht zu komplex gewählt und beinhaltet lediglich einen eiförmigen Körper. Die Füllung des Körpers (magnetisches Metall und Reiskörner) wird gewählt, um

differenzierte Aussagen zu den Outputs zu erhalten, sodass die Schüler*innen verschiedene Hypothesen aufstellen und überprüfen können. Wie in Kapitel 2 erläutert, spielt für den Modellbegriff auch die Unterscheidung zwischen Erfahrungswelt und Modellwelt eine große Rolle. Mit Hilfe des Blackbox-Experiments kann anschließend gezielt auf die Unterscheidung von Eigenschaften aus der Erfahrungswelt und der Modellwelt eingegangen werden und die Aspekte der Hypothesen der Schüler*innen den verschiedenen Welten zugeordnet werden (vgl. Mikelskis-Seifert & Leisner, 2004). Neben dem konstruktivistischen Ansatz dieser Methode ist die Unterrichtseinheit auch mit einer sozialen Komponente verknüpft. Als Unterrichtsmethode wird eine Form der kooperativen Unterrichtsform *Think – Pair – Share* angewendet. Die Schüler*innen erarbeiten ihre Hypothesen zu Beginn in Partnerarbeit und vergleichen und diskutieren die Ergebnisse anschließend mit einer anderen Zweiergruppe. Die soziale Komponente dieser Methode steigert die Motivation und Aktivität der Schüler*innen. Die Lernenden müssen Verantwortung für ihren Lernprozess übernehmen und erhalten Autonomie. In den Gruppen müssen die einzelnen Mitglieder zusammenarbeiten, um möglichst viele realistische Hypothesen zu finden und das Rätsel zu lösen. Nach der Gruppenphase werden die Ergebnisse der Schüler*innen im Plenum diskutiert. In dieser *Share-Phase* sind die Kinder angeregt, sich auf die Ergebnisse der anderen einzulassen. Eine echte Auseinandersetzung und Diskussion mit den Hypothesen der anderen soll stattfinden (vgl. Thelen, 2017). Abschließend erklärt die Lehrperson den Modellbegriff und den naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg anhand des Blackbox-Experiments. Dabei soll aktiv auf die Vorstellungen und Hypothesen der Schüler*innen eingegangen werden, sodass die Schüler*innen ihre Vorgehensweisen wiedererkennen können.

Nach dem Aufbauen des Verständnisses für den Modellbegriff und den wissenschaftlichen Forschungsweg wird nun auf das Atommodell übergeleitet. Dabei werden zu Beginn die Vorstellungen der Schüler*innen zum Aussehen des Atoms abgefragt. Die Bedeutung von Schüler*innenvorstellungen für den Chemieunterricht werden bereits ausführlich in Kapitel 4.2 diskutiert und werden aus diesem Grund hier nicht mehr genauer angeführt. Es soll aber an dieser Stelle nochmal betont werden, dass es bei diesen Vorstellungen keine richtigen oder falschen gibt und man tatsächlich an den Ideen der Schüler*innen interessiert ist. Dies soll auch die Lehrperson den Schüler*innen kommunizieren, damit sich die Lernenden tatsächlich mit ihren Gedanken auseinandersetzen. Bei der Besprechung der Vorstellungen anhand von vier Schüler*innen-Ideen soll die Auswahl der Vier im Einverständnis mit den Schüler*innen getroffen werden. Es soll niemand gezwungen werden, seine Vorstellungen zu präsentieren. Die Präsentation von vier sehr unterschiedlichen Vorstellungen soll jedoch zeigen, wie differenziert Vorstellungen sein können und auf die verschiedenen Hypothesen der Wissenschaftler*innen bei der Entwicklung des Atommodells überleiten. Keller (1977) vertritt die Meinung, dass für die Entwicklung des Atommodells die historische Entwicklung des Atombegriffs in der Sekundarstufe I nicht fehlen darf. Für die Vermittlung

der historischen Modelle wird eine an die Dramapädagogik angelehnte Methode ausgewählt. Bei dem *Theater zu den historischen Atommodellen* handelt es sich um einen Dialog von fünf bedeutenden Entwicklern in der Geschichte des Atommodells. Durch die dramapädagogische Methode und die damit verbundene aktive Teilnahme an der Gestaltung der Umsetzung des Theaters, gewinnen die Lernenden positive Erfahrungen, die einen positiven Effekt auf die Motivation und dadurch auf das Wissen haben können. Die Schüler*innen lernen auf eine abwechslungsreiche Art und Weise die historischen Konzepte kennen und die dramapädagogischen Elemente können zur Steigerung der Selbstkompetenz führen (vgl. Haack, 2018). Abschließend werden den Schüler*innen Bilder von den fünf Modellen gezeigt und die Vorstellungen der Schüler*innen werden mit jenen der Wissenschaftler*innen verglichen. Dabei werden die Schüler*innenvorstellungen aktiv in den Unterricht eingebaut und diese können sich in der historischen Entwicklung wiederfinden und identifizieren. Ein Arbeitsblatt zum Zuordnen der Wissenschaftler, deren Modellen und wichtigsten Aussagen bildet zur Ergebnissicherung den Abschluss der historischen Modelle.

Bei der Vermittlung des in der Sekundarstufe I verwendeten Atommodells, des *Schalenmodells* oder der *Energiestufenmodelle* von Bohr bzw. Sommerfeld, muss darauf geachtet werden, dass dieses nicht als Produkt präsentiert wird, sondern dass die Vorstellungen der Schüler*innen und die Grenzen der Modelle als Grundlage für die Erläuterungen dienen. Dadurch werden die Vorstellungen der Schüler*innen wertgeschätzt und die Motivation und das Interesse der Lernenden steigt (vgl. Kapitel 3.4). Da das abstrakte Denken am Ende der Sekundarstufe I in der 8. Schulstufe bei vielen Schüler*innen noch nicht ausreichend vorhanden sein wird (vgl. Abschnitt 3), ist das Ziel bei der Vermittlung der abstrakten Atommodelle das möglichst simple und verständliche Näherbringen der Lerninhalte. Aus diesem Grund wird in der Sekundarstufe I lediglich bis zum Schalenmodell gelehrt, da dies für die im österreichischen Lehrplan der Sekundarstufe I der AHS geforderten Ziele und Kompetenzen ausreichend ist (vgl. Bundesministerium für Bildung, 2022). Als Lehrform wird in dieser Unterrichtssequenz das Prinzip des *Scaffolding* gewählt, dies wird bereits in Abschnitt 3.6 ausführlich diskutiert und wird daher an dieser Stelle nicht mehr genauer angeführt. Bei der Vermittlung soll wieder an das bereits Gelernte der Schüler*innen angeknüpft werden und daher die Vorstellungen der Schüler*innen bei der Darstellung der Grenzen der historischen Modelle miteinbezogen werden. Nach der Vermittlung der wichtigsten Inhalte des Schalenmodells wird der instruktive Part der Lehrperson beim Üben des Zeichnens der Modelle Schritt für Schritt wieder zurückgenommen.

Das Konzept der vierten Unterrichtseinheit lehnt sich an ein Fallbeispiel die Streller, Bolte, Dietz, & Noto La Diega (2019) in ihrem Buch *Chemiedidaktik an Fallbeispielen* zusammengefasst haben. Dabei sind Schüler*innen dazu angeregt ihr erlerntes Wissen über das Atommodell kreativ darzustellen (vgl.

Streller, Bolte, Dietz, & Noto La Diega, 2019). Ziel dieser Unterrichtseinheit soll sein, möglichst viele verschiedene Anschauungsmodelle für das Schalenmodell zu erhalten, um die Vielfalt der Darstellungsmethoden und die Unterschiede der Erfahrungs- und Modellwelt mit den Schüler*innen erneut zu diskutieren und zu verdeutlichen. Um den Komplexitätsgrad niedriger zu halten wird hier vorgeschlagen, lediglich ein Elementatom aus den ersten beiden Perioden auszuwählen. Zur Differenzierung besteht die Möglichkeit leistungsstärkeren Schüler*innen ein Elementatom aus einer höheren Periode auswählen zu lassen. Um den Produkten der Lernenden ausreichend Wertschätzung zu schenken und die Eigenschaftsunterschiede zwischen Modell und Original hervorzuheben, sollen die Schüler*innen ihre Werke anschließend präsentieren.

Abgeschlossen wird diese Unterrichtsreihe von einer Übungseinheit mit anschließender Zusammenfassung der gelernten Inhalte. Das Wiederholen und Üben stellt einen wichtigen Beitrag für erfolgreiches Lernen dar. Dadurch wird das gelernte Wissen an Beispielen angewendet und durch aktives Erinnern besser in die vorhandene Wissensstruktur eingebaut, wie dies in Kapitel 3.4 mit der Literatur ausführlich diskutiert wird.

7.2 Verortung des Konzepts

Im folgenden Kapitel wird das Konzept den einzelnen Aspekten des Lehrplans der Sekundarstufe I AHS zugeordnet und die zu erlangenden Kompetenzen des österreichischen Kompetenzmodells für die Naturwissenschaften der Sekundarstufe I werden erörtert. Abschließend werden noch die zu erreichenden Lernziele für die Unterrichtsreihe beschrieben.

7.2.1 Lehrplanbezug

Im österreichischen Lehrplan der Sekundarstufe I der AHS und der Mittelschulen ist das Arbeiten mit Modellen angedeutet, jedoch wird es nur in sehr vereinfachter Form gefordert als vergleichsweise zum Lehrplan der Sekundarstufe II der AHS. Die allgemeinen didaktischen Grundsätze und die Bildungs- bzw. Lehraufgaben fordern ein simples Denken und eine Vorstellung von Modellen im Chemieunterricht zu schulen. Der Lehrstoff soll das Teilchenmodell und das Atommodell beinhalten.

Zu betonen ist, dass im Lehrplan der Physik in der Sekundarstufe I nicht nur ein einfaches Modelldenken gefordert wird, sondern auch die Modelleigenschaften, Modellbildung und Modellvorstellungen bereits ab der 2. Klasse durch das Teilchenmodell gefördert werden sollen (vgl. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2022; Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2022). Der Lehrplan der Sekundarstufe I fordert zwar sehr wenig Wissen und Können zum Arbeiten mit Modellen, um mit dem Atom- und dem Teilchenmodell in ausreichender Weise arbeiten zu können, müssen die Schüler*innen ein gewisses Maß an Modellverständnis bereits erworben haben oder durch das Arbeiten mit dem Teilchen – und Atommodell erwerben, damit die Kompetenzen im Lehrplan erfüllt werden können (vgl. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2022).

Das Unterrichtskonzept beinhaltet nicht nur Lehraufgaben des österreichischen Lehrplans der Sekundarstufe I im Sinne des Fachunterrichts, sondern bedient sich auch Lernzielen der (allgemeinen) didaktischen Grundsätze. In den didaktischen Grundsätzen des Chemielehrplans wird gefordert, dass der Chemieunterricht „überwiegend von der Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler ausgehen [soll]. Prinzipiell ist der induktive Weg zum Erkenntnisgewinn anzustreben.“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2022). Diese Forderung des Lehrplans wird vor allem durch den Einsatz und die Auseinandersetzung mit den Schüler*innenvorstellungen bei der Einführung der Atommodelle im Unterrichtskonzept erfüllt. Im Zuge des Blackbox-Experiments sollen die Schüler*innen lernen, „in altersadäquater Form Problemstellungen zu definieren, zu bearbeiten und ihren Erfolg dabei zu kontrollieren“ (ebd.). Neben dem Erwerb der Modellkompetenz und einem Wissen über das Atommodell wird auch ein Fokus auf die „Zusammenhänge zwischen Mikrokosmos und alltäglichem Erfahrungsbereich“ gelegt durch die Unterscheidung zwischen Modellwelt und Erfahrungswelt. Die soziale Komponente der Gruppenarbeiten wirkt sich vor allem auf die „Teamfähigkeit“ (ebd.) und der „Sozialkompetenz“ (ebd.) positiv aus. Lernen stellt im Unterrichtskonzept einen Prozess dar, der über die ganze Unterrichtsreihe vollzogen wird. Die Vorstellung der Gruppenarbeiten bei dem Blackbox-Experiment und dem Bauen des Atommodells sollen die „Präsentationsfähigkeit“ (ebd.) fördern und stärken. Ebenso soll durch das Aufstellen und Überprüfen von Hypothesen ein „Kennenlernen chemischer Prinzipien und Arbeitstechniken“ stattfinden. Die geschichtliche Entwicklung des Atommodells zeigt die „Bedeutung der Naturwissenschaften für den Lauf der Geschichte“ (ebd.) auf und verbindet die Technik mit der Philosophie. Zur „Sicherung des Unterrichtsertrags“ (ebd.) ist vor allem die letzte Unterrichtseinheit als Übungsphase vorgesehen. Durch die vielfältigen schüler*innenzentrierten Gruppenarbeiten bietet das Konzept Möglichkeiten zu integrativen und differenzierten Lernangeboten, die auf die jeweiligen Stärken und Schwächen der Schüler*innen angepasst werden können (ebd.). Der Einsatz der digitalen

Lern-App als Puffer bietet die Möglichkeit, den Einsatz der digitalen Medien und den „Einsatz des Computers“ (ebd.) zur Wissensentwicklung zu nutzen.

7.2.2 Kompetenzen

Zusätzlich zu dem Lehrplan sollen Kompetenzen, die längerfristige Fähigkeiten zum Umgang mit den erlernten Inhalten beschreiben, erworben werden. Dazu wird ein dreidimensionales Kompetenzmodell entwickelt (vgl. Kern, Koliander, & Lembens, 2017; Weinert, 2014). In den Inhaltsbereichen, die sich mit den Kapiteln des Lehrplans decken, sollen Kompetenzen in den Handlungsbereichen *Wissen organisieren*, *Erkenntnisse gewinnen* und *Schlüsse ziehen* auf drei verschiedenen Anforderungsniveaus erlangt werden. Für die Sekundarstufe I wird ein einheitliches Modell entwickelt, bei welchem die Handlungsdimensionen und die Anforderungsniveaus für die Naturwissenschaftlichen Fächer (Biologie, Chemie und Physik) übereinstimmen. Der Umgang mit Modellen wird hier erst im komplexen Anforderungsniveau III (N3) erwartet (vgl. Bundesinstitut für Innovation und Qualitätsentwicklung, 2011).

In der nachfolgenden Tabelle werden die Kompetenzen, die durch das Unterrichtskonzept erweitert bzw. entwickelt werden sollten, nach dem Kompetenzmodell der Naturwissenschaften zusammengefasst (Bundesinstitut für Innovation und Qualitätsentwicklung, 2011):

Inhaltsdimension Chemie	
Aufbauprinzipien der Materie (C1)	Teilchenmodell der Materie
	Atommodell der Materie
	Periodensystem der Elemente
Handlungsdimension	
Wissen organisieren	W1 Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen
	W2 Aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen
	W3 Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik in verschiedenen Formen (Grafik, Tabelle, Bild, Diagramm ...) darstellen, erklären und adressatengerecht kommunizieren

	W4	die Auswirkungen von Vorgängen in Natur, Umwelt und Technik auf die Umwelt und Lebenswelt erfassen und beschreiben
Erkenntnisse gewinnen	E1	Zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben
	E2	Zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen
	E4	Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren
Schlüsse ziehen	S4	Fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren und naturwissenschaftliche von nicht-naturwissenschaftlichen Argumentationen und Fragestellungen unterscheiden.

Tabelle 5: Kompetenzen im Unterrichtskonzept (eigene Darstellung nach Bundesinstitut für Innovation und Qualitätsentwicklung, 2011)

Im Unterrichtskonzept sind die Aufgaben vor allem im Anforderungsniveau I und II angesetzt, das bedeutet, dass die Schüler*innen vor allem Aufträge im Zuge von „reproduzierendes Handeln“ (Bundesinstitut für Innovation und Qualitätsentwicklung, 2011) bzw. eine „Kombination aus reproduzierendem und selbstständigem Handeln“ (ebd.) zu bearbeiten haben. Ziel der Unterrichtseinheit ist, dass die Schüler*innen am Ende der Unterrichtsreihe Aufgaben zu diesem Themengebiet unter „Verwendung von komplexer Fachsprache (inkl. Modelle)“ (ebd.) durch „weitgehend selbständiges Handeln“ (ebd.) durchführen können.

7.2.3 Lernziele

Lernziele beschreiben jene Kompetenzen, die die Schüler*innen nach einer Unterrichtseinheit oder einer Unterrichtsreihe erlangt haben sollten. Damit wird einerseits der fachliche Inhalt und das Wissen beschrieben, andererseits auch, wie dieses Wissen und Können verfügbar sein soll. Die Ziele werden mit Hilfe von Operatoren beschrieben, sodass die Ziele nach außen hin überprüfbar sind (vgl. Nerdel, 2017).

Für die Unterrichtsreihe *Atommodelle* werden folgende Lernziele formuliert:

- ❖ Die Schüler*innen können die Bedeutung des Begriffs Modell erklären.
- ❖ Die Schüler*innen können Hypothesen zu einem bestimmten Experiment entwickeln.
- ❖ Die Schüler*innen können Forschungsweg in den Naturwissenschaften beschreiben.
- ❖ Die Schüler*innen können zwischen der Erfahrungswelt und der Modellwelt unterscheiden und dies an einem Beispiel erklären.
- ❖ Die Schüler*innen können die Zwecke von Modellen erklären.
- ❖ Die Schüler*innen können ihre Vorstellungen, die sie bisher gesammelt haben, vom Atommodell beschreiben.
- ❖ Die Schüler*innen können ihre Vorstellungen/ Vorwissen vom Atommodell in einer Zeichnung veranschaulichen.
- ❖ Die Schüler*innen können die Entwicklung von Modellen im historischen Kontext beschreiben.
- ❖ Die Schüler*innen können das *Schalenmodell* bzw. *Energiestufenmodell* erläutern und an Elementen bis zur 3. Periode anwenden.
- ❖ Die Schüler*innen können das *Schalenmodell* bzw. *Energiestufenmodell* von Elementatomen der 1. und 2. Periode nachbauen/skizzieren.
- ❖ Die Schüler*innen können die Elektronen eines Elementatoms aus dem Periodensystem ablesen und richtig den *Schalen* zuordnen.
- ❖ Die Schüler*innen können die verschiedenen Darstellungsarten der Modelle unterscheiden und beschreiben.
- ❖ Die Schüler*innen können die Eigenschaften des Modells von den Eigenschaften des Originals unterscheiden.
- ❖ Die Schüler*innen können ihre Vorstellungen in Worte fassen und mit Zeichnungen untermauern.
- ❖ Die Schüler*innen können digitale Lernprogramme bedienen.

7.3 Evaluierung des Konzepts

Zur Validierung des Konzepts und der Aufgabenformate wird das Unterrichtskonzept in Form eines Expertenpanellings bzw. Expertenratings evaluiert. Bei dieser fachdidaktischen Forschungsmethode werden Expert*innen aus der Forschung oder der Schulpraxis über die Umsetzbarkeit und die Anwendbarkeit der Aufgaben des Unterrichtskonzepts befragt (vgl. Eggert & Bögeholz, 2014). Im nachfolgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Evaluierung dargestellt und interpretiert.

7.3.1 Informationen zur Datensammlung

Für die Durchführung des Expertenratings ist ein Fragebogen entwickelt worden, um die Aufgabenformate und Unterrichtsmethoden durch ein Feedback von Kolleg*innen zu überprüfen. Im Fragebogen werden zu Beginn allgemeine Daten wie das Alter, Geschlecht und die Anzahl der Dienstjahre abgefragt und anschließend mit 16 Items die Machbarkeit und Förderung der Kompetenzen durch das Unterrichtskonzept abgefragt. Die 16 Items werden mit einer vierteiligen Likert-Skala (1 = „Trifft nicht zu“, 2 = „Trifft eher nicht zu“, 3 = „Trifft eher zu“, 4 = „Trifft zu“) ausgewertet. In Tabelle 6 werden die Items des Fragebogens zusammengefasst.

Legende Fragebogen Evaluierung	
Item 1:	Alter
Item 2:	Geschlecht
Item 3:	Anzahl der Dienstjahre
Item 4:	Das Unterrichtskonzept ist sehr klar strukturiert.
Item 5:	Die Arbeitsanweisungen und Materialien sind sehr verständlich ausgearbeitet.
Item 6:	Das Unterrichtskonzept ist der Altersgruppe sehr angepasst.
Item 7:	Das Unterrichtskonzept ist stark schüler*innenzentriert aufgebaut.
Item 8:	Das Unterrichtskonzept bedient sich einer großen Methodenvielfalt.
Item 9:	Das Unterrichtskonzept bietet den Schüler*innen ausreichend Möglichkeiten die Lerninhalte aktiv selbst zu erarbeiten.
Item 10:	Im Unterrichtskonzept werden komplexe Sachverhalte für Schüler*innen sehr verständlich dargestellt.
Item 11:	Das Unterrichtskonzept hat ausreichend Möglichkeiten zur Ergebnissicherung.

Item 12:	Das Unterrichtskonzept ist sehr gut im Unterricht umsetzbar.
Item 13:	Die Vorstellungen der Schüler*innen finden ausreichend Platz zur Diskussion im Unterrichtskonzept.
Item 14:	Das Unterrichtskonzept fördert deutlich die Modellkompetenz.
Item 15:	Das Unterrichtskonzept fördert sehr die Unterscheidung der Erfahrungswelt und der Modellwelt.
Item 16:	Das Unterrichtskonzept zeigt deutlich die vielfältigen Darstellungsmöglichkeiten des Atommodells auf.
Item 17:	Durch das Unterrichtskonzept werden die naturwissenschaftlichen Forschungsmethoden sehr gut veranschaulicht.
Item 18:	Durch die verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten des Atommodells fördert das Unterrichtskonzept das Modellverständnis.
Item 19:	Die Behandlung des historischen Hintergrunds von Atommodellen im Unterricht hilft sehr ein Modellverständnis aufzubauen.

Tabelle 6: Legende des Fragebogens zur Unterrichtskonzeptevaluierung (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Evaluierung)

An der Evaluierung haben 5 Personen, die bereits als Lehrpersonen das Fach Chemie in einer Sekundarstufe I unterrichten, teilgenommen. Die Teilnehmendenzahl ist bewusst gering gehalten worden, da mit der Evaluierung lediglich eine erste Einschätzung des Konzepts getroffen werden sollte, da dies sonst den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Gegenstand einer möglichen Folgearbeit wäre die Durchführung, Evaluierung und Überarbeitung des Konzepts mit einer größeren Stichprobe. Von den fünf Personen sind 3 weiblich (60 %), 2 männlich (40 %) und keiner divers, vgl. Abbildung 25. Das Durchschnittsalter der Lehrpersonen beträgt 26,2 Jahre und die durchschnittliche Anzahl des Dienstalters 2,4.

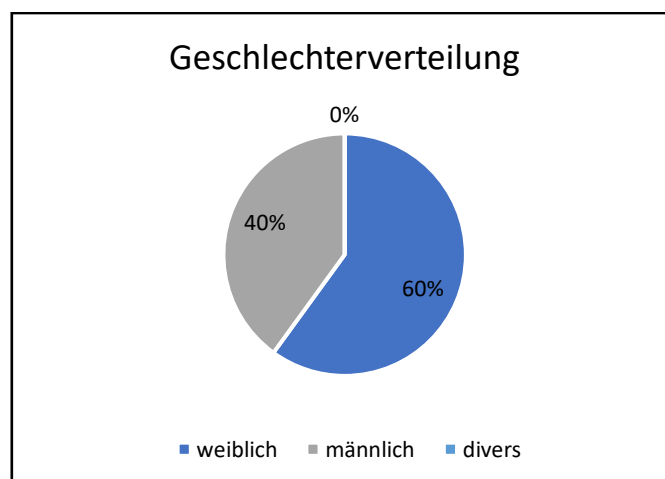


Abbildung 25: Geschlechterverteilung der Lehrpersonen (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Evaluierung)

7.3.2 Darstellung der Ergebnisse

In diesem Teil der Arbeit werden die Ergebnisse der Evaluierung dargestellt. Die jeweiligen Antworten der Befragten können der Tabelle 7 entnommen werden.

Proband*in Item	1	2	3	4	5	MW ²	SD ³
1	25	25	25	26	30	26,2	2,17
2	weiblich	weiblich	männlich	männlich	weiblich	-	-
3	1	1	1	2	7	2,4	2,61
4	4 ⁴	4	4	4	4	4	0
5	4	4	4	4	4	4	0
6	4	4	4	3	4	3,8	0,45
7	4	4	4	4	4	4	0
8	4	4	4	4	4	4	0
9	4	4	4	4	4	4	0
10	4	4	4	4	4	4	0
11	4	4	4	4	4	4	0
12	4	4	4	4	4	4	0
13	4	4	4	4	4	4	0
14	4	4	4	4	4	4	0
15	3	4	4	4	3	3,6	0,55
16	4	4	4	4	4	4	0
17	4	3	4	3	3	3,4	0,55
18	4	4	4	4	4	4	0
19	3	4	4	4	4	3,8	0,45

Tabelle 7: Ergebnisse der Evaluierung des Konzepts (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Evaluierung)

Die Datenerhebung der Items 4 bis 19 wird in Abbildung 26 grafisch dargestellt. Dazu werden die Mittelwerte der Ergebnisse der jeweiligen Items berechnet und in einem Säulendiagramm dargestellt.

² MW = Mittelwert

³ Standardabweichung

⁴ Ab Item 4 beziehen sich die Werte auf die vierteilige Likert-Skala (1 = „Trifft nicht zu“, 2 = „Trifft eher nicht zu“, 3 = „Trifft eher zu“, 4 = „Trifft zu“)

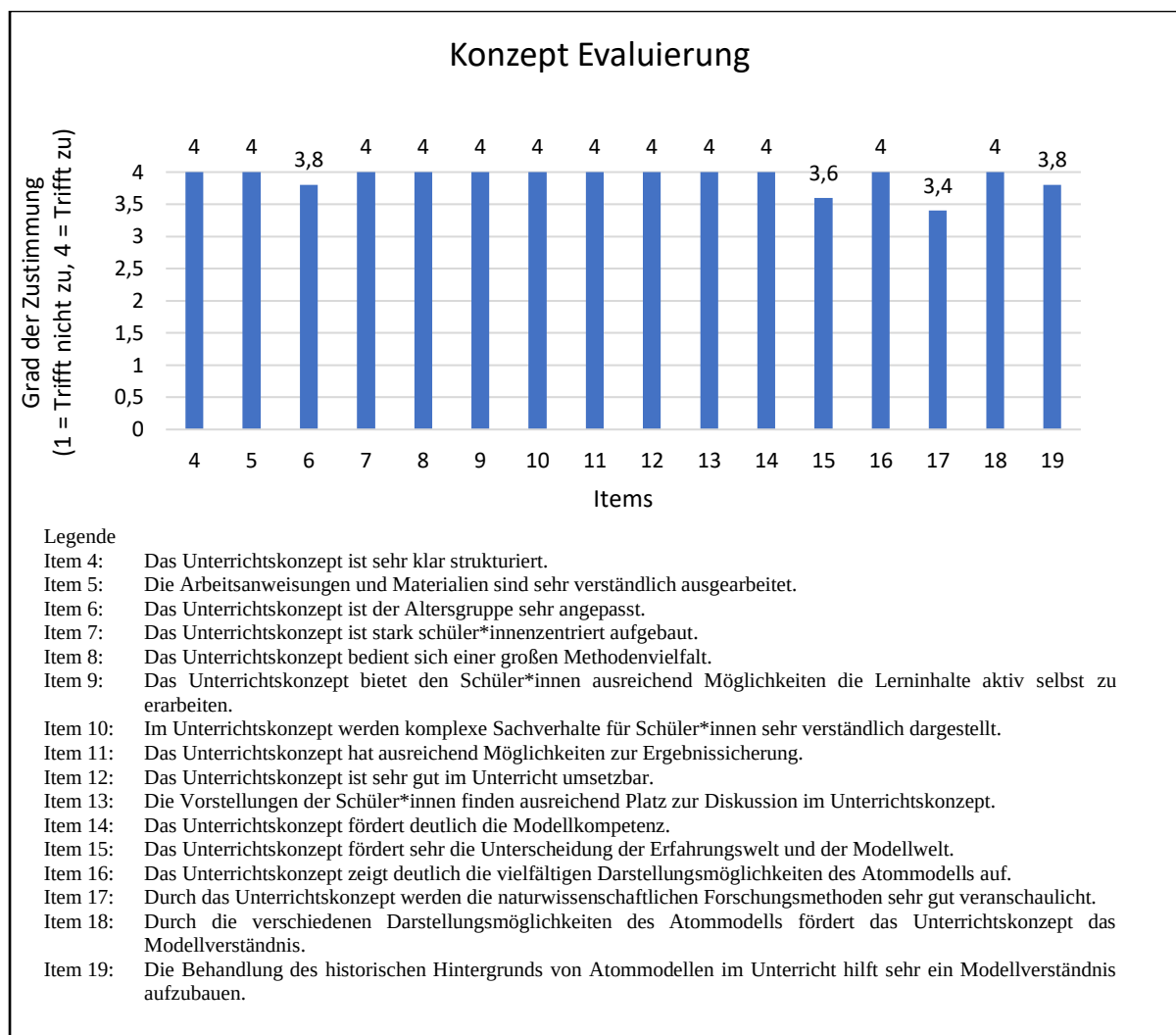


Abbildung 26: Datenerhebung der Items 4 bis 19 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Evaluierung)

7.3.3 Analyse und Interpretation

Anschließend an die Darstellung der Ergebnisse der Evaluierung des Unterrichtskonzepts *Atommodelle* im Kapitel 7.3.2. werden nun die Ergebnisse analysiert und interpretiert. Durch die sehr kleine Stichprobe bei der Beurteilung kann diese nicht als repräsentativ angesehen werden, aber es kann eine Richtung abgeschätzt werden. Die Interpretationen beziehen sich auf die dargestellten Ergebnisse in Tabelle 7 und Abbildung 26. Allgemein sind die Ergebnisse des Fragebogens sehr positiv ausgefallen, da bei den Items 4 bis 19 nur die beiden positiven Ausprägungen (3 = „Trifft eher zu“, 4 = „Trifft zu“) ausgewählt wurden. Aus diesem Grund werden bei dieser Analyse und Interpretation vor allem die Items betrachtet, die nicht von allen Befragten die beste Ausprägung (4 = „Trifft zu“) erhalten haben.

Dabei handelt es sich um die Items 6 („Das Unterrichtskonzept ist der Altersgruppe sehr angepasst“), 15 („Das Unterrichtskonzept fördert sehr die Unterscheidung der Erfahrungswelt und der Modellwelt“), 17 („Durch das Unterrichtskonzept werden die naturwissenschaftlichen Forschungsmethoden sehr gut veranschaulicht.“) und 19 („Die Behandlung des historischen Hintergrunds von Atommodellen im Unterricht hilft sehr ein Modellverständnis aufzubauen.“). Bei Item 6 ist ein Mittelwert von 3,8 berechnet worden, dabei handelt es sich um die Anpassung des Konzepts an das Alter. Das Thema *Atommodelle* ist ein sehr komplexes Stoffgebiet in der Chemie für die Sekundarstufe I, da der Modellbegriff zu Beginn erlernt werden muss und das abstrakte Denken erst geschult werden muss, wie im Theorieteil ausführlich beschrieben wird. Es müssen daher die abstrakten Inhalte auf das Niveau der Schüler*innen reduziert und aufbereitet werden. Das Ergebnis der Evaluierung zeigt, dass dieser Aspekt beim Unterrichtskonzept nochmals beachtet werden soll und die Inhalte, überarbeitet werden sollen. Es kann vermutet werden, dass sich dieses Produkt auf die Erklärung des Atommodells (vgl. Unterrichtseinheit 3 im Anhang 5) oder das Übungsblatt zum Zeichnen der Atommodelle (vgl. Unterrichtseinheit 5 im Anhang 5) bezieht. Die Unterscheidung der Erfahrungswelt und der Modellwelt im Zuge des Unterrichtskonzepts kann ebenfalls noch verbessert werden, da bei Item 15 nur ein Mittelwert von 3,6 erreicht wird. Die Verschiedenheit dieser beiden Welten soll vor allem durch die erste Unterrichtseinheit forciert werden (vgl. Abschnitt 7.1). Das Blackbox-Experiment soll den Schüler*innen den Modellbegriff verständlich darlegen und die Verschiedenheit der Eigenschaften zwischen dem Modell und dem Original aufzeigen (vgl. Mikelskis-Seifert & Leisner, 2004). Die Unterscheidung der Erfahrungswelt und der Modellwelt soll nochmals in der Unterrichtseinheit 4 (vgl. Anhang 5) bei der Darstellung der verschiedenen Anschauungsmodelle des Atommodells besprochen werden. Am schlechtesten hat Item 17 abgeschnitten mit einem Mittelwert von 3,4. Das Item 17 beschäftigt sich mit der Förderung der naturwissenschaftlichen Forschungswege im Zuge des Unterrichtskonzepts, die in Unterrichtseinheit 1 beim Blackbox-Experiment und Unterrichtseinheit 2 bei den historischen Atommodellen (vgl. Anhang 5) behandelt wird. Ein möglicher Grund für dieses Ergebnis könnte die hauptsächlich theoretische Behandlung der Forschungswege sein. Speziell in der Chemie besteht die Forschung hauptsächlich aus praktischen Arbeiten und die Vermittlung der Forschungswege könnte durch praktischere Unterrichtsformen besser veranschaulicht werden. Allerdings können nach Reiners und Saborowski (2017) Diskussionen über grundlegende Begriffe, wie in diesem Beispiel *das Modell*, die Aspekte einer naturwissenschaftlichen Grundbildung expliziter näherbringen (vgl. Reiners & Saborowski, 2017). Das letzte Item mit keiner einwandfreien Auswertung ist das Item 19 („Die Behandlung des historischen Hintergrunds von Atommodellen im Unterricht hilft sehr ein Modellverständnis aufzubauen.“) mit einem Mittelwert von 3,8. Im Unterrichtskonzept wird die historische Entwicklung des Modellbegriffs mit einem Dialog zwischen den Wissenschaftlern und anschließendem Arbeitsblatt zur Ergebnissicherung in Unterrichtseinheit 2 bzw. 3 (vgl. Anhang 5). Dabei könnte noch vermehrt auf das Aufbauen eines Modellverständnisses geachtet werden. Eine Möglichkeit wäre verschiedene Darstellungsformen der historischen Modelle zu verwenden und die

Grenzen der einzelnen Modelle vermehrt im Unterricht zu behandeln. Dadurch werden die Teilkompetenzen *Eigenschaften von Modellen* und *Alternative Modelle* gefördert und so das Modellverständnis gestärkt.

Die Evaluierung des Unterrichtskonzepts zu Atommodellen zeigt das Potential des Konzepts. Für eine aussagekräftigere Beurteilung der Umsetzbarkeit und der Förderung von Modellkompetenz wäre eine Evaluierung des Konzepts mit einer größeren Stichprobe sinnvoll. Des Weiteren ist eine Durchführung des Konzepts mit Schüler*innen und anschließender Reflexion und Überarbeitung für ein gewinnbringendes Unterrichtskonzept zu den Atommodellen zielführend. Diese wissenschaftlichen Forschungen sprengen den Rahmen dieser Masterarbeit und wären somit Teil einer möglichen Folgeforschung.

8. Diskussion und Reflexion

In der hier vorliegenden Masterarbeit wird die Modellkompetenz von Schüler*innen im Chemieanfangsunterricht und deren Förderung untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass den Lernenden vor allem der Wechsel zwischen der Modellwelt und der Erfahrungswelt schwer fällt. Dies korreliert auch mit dem allgemeinen Forschungsstand zur Entwicklung der Denkstrukturen von Teenagern. Der Wechsel von der konkret operationalen Denkphase zu den formal operationalen Denkphasen ist eine Herausforderung für die Schüler*innen in dieser Altersgruppe und bedarf zur Entwicklung entsprechender Übung. Dies spiegelt die notwendige aktive Förderung des gedanklichen Wechsels von der begreifbaren Erfahrungswelt in die abstrakte Modellwelt wider. Vielfältiges Wissen über den Modellbegriff im naturwissenschaftlichen Sinne unterstützt diesen Übergang, ebenso wie das Erfassen von naturwissenschaftlichen Forschungswegen. Für die Teilkompetenz der Eigenschaften von Modellen ist die Unterscheidung von Original und Modell von Bedeutung und sollte explizit im Unterricht behandelt werden, sodass die Charakteristika der beiden eindeutig unterschieden werden können. Zusätzlich kann die Kenntnis über naturwissenschaftliche Forschungswege dabei unterstützen, die Kompetenzen des *Zwecks*, des *Änderns* und *Testens* von Modellen in die Wissensstruktur einzugliedern. Dadurch wird das Verständnis für die Veränderbarkeit der gängigen Anschauungsmodelle und den Nutzen von Modellen für außerunterrichtliche Zwecke verdeutlicht. Zur Förderung dieser Kompetenzen stellt das entwickelte Unterrichtskonzept zu den Atommodellen eine probate Grundlage dar, jedoch ergibt die Evaluierung, dass die Behandlung des naturwissenschaftlichen Forschungsweges noch konkreter ausgeführt werden könne. Der Einsatz von Blackbox-Experimenten zur Unterstützung der Entwicklung eines Verständnisses zum Modellbegriff findet bereits in anderen naturwissenschaftlichen Richtungen, wie der Physik oder der Biologie vermehrt Anwendung und wird in dem Konzept zum Aufbau des Modellbegriffs für die Chemie angewandt (vgl. Koch, Krell, & Krüger, 2015; Mikelskis-Seifert & Leisner, 2004). Durch das Formulieren und Überprüfen von Hypothesen wird einerseits der Modellbegriff gelernt, andererseits kann der naturwissenschaftliche Forschungsweg erlebbar gemacht werden. Dieser wird auch durch die genaue Betrachtung der geschichtlichen Entwicklung des Atombegriffs weiter gestärkt und die Schüler*innen bauen ein Verständnis für die Entwicklung naturwissenschaftlicher Modelle auf. Zur Stärkung der Teilkompetenz *Alternative Modelle* wird ein Ansatz von Streller, Bolte, Dietz, & Noto La Diega (2019) gewählt, um mit den verschiedenen Darstellungsmethoden die Vielfalt und Variabilität von Anschauungsmodellen zu diskutieren. Sowohl die Lehrform des Konstruktivismus als auch die abgeleitete Form des Scaffolding stellen unterstützende Lehrformen bei dem Unterrichtsthema *Atommodelle* dar. Das Scaffolding steht bei der Erklärung der abstrakten Inhalte des Schalenmodells im Vordergrund und wird von dem aktiven Handeln im Sinne des Konstruktivismus beim Kennenlernen des Modellbegriffs und der Übungsphase abgelöst. Unter diesen Aspekten schließt die Betrachtung der Schüler*innenvorstellungen den Kreis der

Grundlagen für die Förderung der Modellkompetenz. Diese spielen eine zentrale Rolle bei der Planung und Durchführung von Chemieunterricht und ihre Behandlung im Unterricht unterstützt die Lernenden beim Aufbau des Modellverständnisses. Aufgrund der Evaluierung des Konzepts mittels einer nicht repräsentativen Umfrage bleibt offen, ob eine tatsächliche Förderung der Modellkompetenz durch das Unterrichtskonzept erzielt werden kann. Die Evaluierung deutet eine Tendenz an, die in weiterer Folge durch eine größere Stichprobe und eine Durchführung mit Schüler*innen erprobt werden kann.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der gegenständlichen Arbeit ist es, die Schwierigkeiten von Schüler*innen mit Modellvorstellungen im Chemieanfangsunterricht zu eruieren und ein Konzept zur Minimierung dieser Schwierigkeiten auszuarbeiten. Dazu beschäftigt sich der Einstieg der Arbeit in der Literaturrecherche mit Modellen in der Chemie. Neben dem Modellbegriff und dem Nutzen von Modellen werden die Grenzen und Schwierigkeiten im Umgang mit Modellen im Unterricht diskutiert. Ebenso wird im Theorieteil ein Grundstock an Wissen zum Lernprozess bei Jugendlichen und dem entsprechenden Lehren im Unterricht geschaffen. Dabei zeigt sich, dass die Entwicklung des formal operationalen Denkens und der Konstruktivismus im Vordergrund der Theorien stehen. Die spezifischen Schwierigkeiten von Schüler*innen beim Unterricht über Atommodelle in der 8. Schulstufe Sekundarstufe I AHS werden in einem Fragebogen ermittelt. Dabei zeigt sich, dass vor allem der Wechsel zwischen der Erfahrungswelt und der Modellwelt eine große Herausforderung für die Lernenden darstellt und zudem die Modellkompetenz beeinflusst, da die Eigenschaften des Modells und des Originals für die Schüler*innen nicht klar abgrenzbar sind. Offenbar geht ein fehlendes Verständnis von naturwissenschaftlichen Forschungswegen mit Defiziten in der Modellkompetenz einher. Die Schüler*innen haben Schwierigkeiten den Modellbegriff zu umreißen und die Veränderbarkeit und Vielfalt von Modellen zu begreifen. Diese Ergebnisse werden als Grundlage für die Konstruktion des Unterrichtskonzepts herangezogen. Dieses beinhaltet Unterrichtsmethoden und Lehrformen, die insbesondere die Modellkompetenz fördern und die Schwierigkeiten der Schüler*innen minimieren sollen. Abgeschlossen wird diese Arbeit mit einem Expertenrating des Unterrichtskonzepts, um die Umsetzbarkeit und die Qualität des Entwurfs zu überprüfen. Die Evaluierung legt nahe, dass das Unterrichtskonzept die Modellkompetenz der Schüler*innen fördert, jedoch soll in einer weiteren Überarbeitung des Konzepts der Wechsel zwischen der Erfahrungswelt und der Modellwelt, sowie die naturwissenschaftlichen Forschungsmethoden in Bezug auf die Modellkompetenz im Unterrichtskonzept adaptiert werden.

Die Evaluierung des Unterrichtskonzepts ist aufgrund der kleinen Stichprobe nicht repräsentativ. Bei weiterer Betrachtung dieses Forschungsgebiets könnte sich ein Expertenrating mit einer größeren Stichprobe und anschließender Überarbeitung des Konzepts empfehlen. Ebenfalls könnte eine Erprobung des Unterrichtskonzepts an Schüler*innen Gegenstand weiterer wissenschaftlicher Forschungen darstellen. Dabei würde sich eine Zwei-Phasen-Untersuchung der Schüler*innenvorstellungen zu Modellen, vor und nach dem Unterricht mit dem Konzept von Atommodellen anbieten.

Literaturverzeichnis

- Anton, M. A. (2019). *Chemieunterricht verstehen: Zur Didaktik und Mathematik der Chemie*. Lehrbuchverlag.
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag.
- Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S., & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt: Lernprozesse in Theorie und Praxis*. Berlin: Springer Spektrum.
- Bindernagel, J. A., & Eilks, I. (2008). Modelle und Modelldenken im Chemieunterricht und ein Einblick in das Verständnis von erfahrenen Chemielehrkräften. *Chemkon*, 15 (2008) 4, S. 181-186.
- Bliss, J. (1996). Piaget und Vygotsky: Ihre Bedeutung für das Lehren und Lernen der Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 2 (1996) 3, S. 3-16.
- Bünder, W., Mie, K., & Friege, G. (2006). Wie lösen Experten experimentelle Fragestellungen? In A. Pitton, *Lehren und Lernen mit neuen Medien* (S. 349 - 351). Berlin: LIT Verlag.
- Bundesinstitut für Innovation und Qualitätsentwicklung. (2011). *Institut des Bundes für Qualitätssicherung im österreichischen Schulwesen*. Abgerufen am 20. April 2022 von <https://www.iqs.gv.at/themen/nationale-kompetenzerhebung/grundlagen-der-nationalen-kompetenzerhebung/grundlagen-der-bildungsstandards>
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung. (2022). *Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne - allgemeinbildende höhere Schulen, Fassung vom 31.08.2017*. Abgerufen am 03. 02 2022 von Rechtsinformationssystem des Bundes: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568&FassungVom=2017-08-31>
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung. (2022). *Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne der Mittelschulen, Fassung vom 03.02.2022*. Abgerufen am 03. 02 2022 von Rechtsinformationssystem des Bundes: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007850>
- Eggert, S., & Bögeholz, S. (2014). Entwicklung eines Testinstruments zur Messung von Schülerkompetenzen. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 371 - 384). Berlin Heidelberg: Springer Spektrum.

- Fendt, T. (2019). *Schülervorstellungen im Zentrum des Unterrichtsgesprächs: Ko-konstruktive Lernprozesse im Chemieunterricht*. Bamberg: University of Bamberg Press .
- Friege, G., & Mie, K. (2006). Black-Box-Experimente für die Sekundarstufe I und II. In A. Pitton, *Lehren und Lernen mit neuen Medien* (S. 377 - 379). Berlin: LIT Verlag.
- Goerigk, C., & Schmithüsen, F. (2019). *Der Psycho-Comic: Die Klassiker der Psychologie*. Berlin: Springer-Verlag.
- Göhner, M., & Krell, M. (2021). Was ist schwierig am Modellieren? Identifikation und Beschreibung von Hindernissen in Modellierungsprozessen von Lehramtsstudierenden naturwissenschaftlicher Fächer. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27 (2021), S. 155 - 180.
- Gräbern, W., & Stork, H. (1984). Die Entwicklungspsychologie Jean Piagets als Mahnerin und Helferin des Lehrens im naturwissenschaftlichen Unterricht. Teil 1. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 37 (1984) 4, S. 193-201.
- Haack, A. (2018). *Dramapädagogik, Selbstkompetenz und Professionalisierung: Performative Identitätsarbeit im Lehramtstudium Englisch*. Wiesbaden: J.B. Metzler.
- Habelitz-Tkotz, W. (2003). Kumulativ lernen. *Unterricht Chemie*, 14 (2003) 76/77, S. 84 (238) - 88 (242).
- Habelitz-Tkotz, W. (2006). Alles Teilchen - oder was? Kumulative Entwicklung einer Teilchenvorstellung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. *Unterricht Chemie*, 17 (2006) 94/95, S. 20 - 25.
- Hammann, M., & Jördens, J. (2014). Offene Aufgaben codieren. In D. Krüger, I. Prachmann, & H. Schecker, *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 169 - 178). Berlin Heidelberg: Springer Spektrum.
- Heller, K., & Rosemann, B. (1974). *Planung und Auswertung empirischer Untersuchungen: Eine Einführung für Pädagogen, Psychologen und Soziologen*. Stuttgart: Ernst Klett Verlag .
- Holleman, A. F., & Widberg, N. (2020). *Lehrbuch der anorganischen Chemie*. Berlin: De Gruyter.
- Höttecke, D., & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf, & R. Duit, *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 271 - 287). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24 (2002) 4, S. 369 - 387.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (1997) 3, S. 3 - 18.
- Keller, G. (1977). *Über das Denken in Modellen: Ein Beitrag zur Didaktik der Chemie*. Diesterweg: Verlag Moritz Diesterweg.
- Kern, G., Koliander, B., & Lembens, A. (2017). Wissen und Können erwerben, anwenden und sichtbar machen - Kompetenzmodell in naturwissenschaftlichen Fächern. *plus Lucis: Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts*, 1 (2017), S. 19 - 24.
- Kirchhoff, H.-W. (2001). *Vorstellungen vom Atom 1800 - 1934: von Dalton bis Heisenberg*. Köln: Aulis Verlag Deubner & CO KG.
- Koch, S., Krell, M., & Krüger, D. (2015). Förderung von Modellkompetenz durch den Einsatz einer Blackbox. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 14 (2015), S. 93 - 108.
- Krüger, D., Kauertz, A., & Upmeyer zu Belzen, A. (2018). Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 141 - 157). Berlin: Springer-Verlag.
- Kubli, F. (1985). Piagets Entwicklungspsychologie und die Unterrichtspraxis: Eine Stellungnahme. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 38 (1985) 7, S. 434-438.
- Kürger, D., & Upmeyer zu Belzen, A. (2021). Kompetenzmodell der Modellierkompetenz – Die Rolle abduktiven Schließens beim Modellieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27 (2021), S. 127 - 137.
- Langlet, J. (Mai 2021). Die innere Welt der Lernenden. *MINT Zirkel*, 10 (2021) 2, S. 11.
- Leisen, J. (2015). Fachlernen und Sprachlernen! Bringt zusammen, was zusammen gehört! *Mathematischer und naturwissenschaftlicher Unterricht*, 68 (2015) 3, S. 132 - 137.
- Leisner-Bodenthin, A. (2006). Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. *Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften*, 12 (2006), S. 91-109.
- Magyar, R., Liebhardt, W., Jelinek, G., & Faber, W. (2014). *Stoffe: Chemie für die 4. Klasse*. Wien: ÖBV.
- Mandl, H. (2006). Wissensaufbau aktiv gestalten. *Schüler: Wissen für Lehrer*, S. 28-30.

- Meisert, A. (2008). Vom Modellwissen zum Modellverständnis: Elemente einer umfassenden Modellkompetenz und deren Fundierung durch lernseitige Kriterien zur Klassifikation von Modellen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14 (2008), S. 243-261.
- Merzyn, G. (2017). Merkmale guter Lehrer in Physik, Chemie, Biologie: Ein Überblick. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1 (2017) 16, S. 67 - 80.
- Mikelskis-Seifert, S., & Leisner, A. (2004). Systematisches und bewusstes Lernen über Modelle. In C. Hößle, D. Höttecke, & K. Ernst, *Lehren und lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (S. 130 - 147). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren GmbH.
- Möller, K. (2016). Bedingungen und Effekte qualitätvollen Unterrichts - ein Beitrag aus fachdidaktischer Perspektive. In N. McElvany, W. Bos, G. Holtappels, M. M. Gebauer, & F. Schwabe, *Bedingungen und Effekte guten Unterrichts* (S. 43 - 64). Münster: Waxmann .
- Nerdel, C. (2017). *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik: Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule*. Heidelberg: Springer Spektrum.
- Nurrenbern, S. C. (2001). Piaget's Theory of Intellectual Development Revisited. *Journal of Chemical Education*, 78 (2001) 8, S. 1107-1110.
- Petermann, K., Friedrich, J., & Oetken, M. (2009). Schwierigkeiten auf dem Weg ins Kontinuum: Eine an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtseinheit zur Einführung des Kugelteilchenmodells. *Chemie in der Schule*, 7 (2009) 58, S. 22 - 30.
- Piaget, J., Kohler, R., Goldmann, L., Moser, Y., & Aebli, H. (2015). *Psychologie der Intelligenz*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Przywarra, T., & Risch, B. (2019). Modelleinsatz im Chemieunterricht - Illustrativ, haptisch-interaktiv oder digital erweitert. In C. Maurer, *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Kiel 2018* (S. 616 - 619). Regensburg: Universität Regensburg.
- Puntambekar, S., & Hubscher, R. (2005). Tools for Scaffolding Students in a Complex Learning Environment: What have we gained and what have we missed? *Educational Psychologist*, 40 (2005) 1, S. 1 - 12.
- Reiners, C. S. (2017). *Chemie vermitteln: Fachdidaktische Grundlagen und Implikationen*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Reiners, C. S., & Saborowski, J. (2017). Auf dem Weg zum Chemieunterricht. In C. S. Reiners, *Chemie vermitteln: Fachdidaktische Grundlagen und Implikationen* (S. 91 - 146). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

- Reinmann-Rothmeier, G., & Mandl, H. (1996). Lernen auf der Basis des Konstruktivismus: Wie Lernen aktiver und anwendungsorientierter wird. *Computer und Unterricht*, (1996) 23, S. 41 - 44.
- Riedel, E., & Meyer, H.-J. (2018). *Allgemeine und Anorganische Chemie*. Berlin: De Gruyter.
- Roth, G. (2003). Warum sind Lehren und Lernen so schwierig? *Report Literatur- und Forschungsreport Weiterbildung*, 26 (2003) 3, S. 20 - 28.
- Roth, G. (2017). Was das Gehirn zum Lernen braucht. *Biologie in unserer Zeit*, 5 (2017) 47, S. 326 - 331.
- Ruebush, L., Sulikowski, M., & North, S. (2009). A Simple Exercise Reveals the Way Students Think About Scientific Modeling. *Journal of College Science Teaching*, 38 (2009) 3, S. 18 - 22.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25 (2000), S. 54 - 67.
- Schneider, W. (2004). Der Einfluss von Begabung, Wissen und Motivation auf schulische und akademische Leistungsentwicklung. Zweiter Teil. *Bayerische Schule*, 1 (2004) 2, S. 33-36.
- Schröder, E. (1989). *Vom konkreten zum formalen Denken: Individuelle Entwicklungsverläufe von der Kindheit zum Jugendalter*. Bern: Verlag Hans Huber.
- Schröder, E. (2002). Selektive Differenzierung in der kognitiven Entwicklung: Eine längsschnittliche Analyse zur Entstehung individueller Unterschiede beim aussagenlogischen Denken. *Zeitschrift für die Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 34 (2002) 3, S. 136-148.
- Schwarz, W. H. (2013). 100 Jahre Bohrsches Atommodell. *Angewandte Chemie*, 125 (2013) 47, S. 12450-12460.
- Sjöström, J. (2011). Towards Bildung-Oriented Chemistry Education. *Science & education*, 22 (2011) 7, S. 1873 - 1890.
- Sommerfeld, A., & Eckert, M. (2013). *Die Bohr-Sommerfeldsche Atomtheorie: Sommerfelds Erweiterung des Bohrschen Atommodells 1915/16*. Berlin Heidelberg: Springer Spektrum.
- Steffensky, M., Parchamann, I., & Schmidt, S. (2005). "Die Teilchen saugen das Aroma aus dem Tee": Alltagsvorstellungen und chemische Erklärungskonzepte. *Chemie Unserer Zeit*, 39 (2005), S. 274 - 278.
- Stern, E. (2006). Lernen: Was wissen wir über erfolgreiches Lernen in der Schule? *Pädagogik*, 58 (2006) 1, S. 45-49.

- Streller, S., Bolte, C., Dietz, D., & Noto La Diega, R. (2019). *Chemiedidaktik an Fallbeispielen: Anregungen für die Unterrichtspraxis*. Berlin: Springer Spektrum.
- Thelen, J. (2017). Motivation von Lernenden durch kooperative Unterrichtsformen. *Fremdsprache Deutsch*, (2017) 57, S. 30 - 34.
- Trier, U., Krüger, D., & Upmeyer zu Belzen, A. (2014). Students' versus scientists' conceptions of models and modelling. In D. Krüger, & M. Eklborg, *Research in Biological Education* (S. 103 - 115). Berlin: Westermann.
- Upmeyer zu Belzen, A. (2014). Black Box. Modellierung von Prozessen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. In D. Ludwig, C. Weber, & O. Zauzig, *Das materielle Modell: Objektgeschichten aus der wissenschaftlichen Praxis* (S. 99 - 106). Paderborn: Wilhelm Fink.
- Weinert, F. E. (1998). Guter Unterricht ist ein Unterricht, in dem mehr gelernt als gelehrt wird. In J. Freund, H. Gruber, & W. Weidinger, *Guter Unterricht - Was ist das?: Aspekte von Unterrichtsqualität* (S. 7 - 18). Wien: ÖBV Pädagogischer Verlag.
- Weinert, F. E. (2014). Vergleichende Leistungsmessungen in Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert, *Leistungsmessungen in Schulen* (Bd. 3. Auflage, S. 17 - 32). Wannheim: Basel: Beltz Verlag.
- Weyer, J. (2018). *Geschichte der Chemie Band 2 - 19. und 20. Jahrhundert*. Hamburg: Springer-Verlag.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Johnstone Dreieck (verändert nach Barke, 2006, S.31).....	7
Abbildung 2: Mahaffy Tetraeder (verändert nach Sjöström, 2011, S. 1880).....	8
Abbildung 3: a) Kalotten Modell, b) Kugel-Stab-Modell, c) Stabmodell von Ethanol (Barke, Harsch, Kröger, & Marohn, 2018, S. 248)	12
Abbildung 4: Bohrsches Wasserstoffatom mit einer Elektronenbahn (Riedel & Meyer, 2018, S. 39)	29
Abbildung 5: Modelle der s-, p-, und d-Orbitale (Riedel & Meyer, 2018, S. 46).....	30
Abbildung 6: Lösen des Salzes NaCl in Wasser (Magyar, Liebhardt, Jelinek, & Faber, 2014, S. 21)	32
Abbildung 7: Darstellung des Wassermoleküls im Teilchenmodell und Dalton-Modell (eigene Abbildung).....	36
Abbildung 8: Konzept der didaktischen Rekonstruktion (Kattman, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, S. 4).....	39

Abbildung 9: Altersverteilung der Proband*innen (eigene Darstellung basierend auf der Schüler*innenbefragung).....	43
Abbildung 10: Geschlechterverteilung der Proband*innen (eigene Darstellung basierend auf der Schüler*innenbefragung).....	43
Abbildung 11: Noten in Chemie der Schüler*innen in der Schulnachricht im Schuljahr 2021/22 (1 = Sehr gut, 2 = Gut, 3 = Befriedigend, 4 = Genügend, 5 = Nicht genügend) (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung).....	44
Abbildung 12: Diagramm Items 1 - 3 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung).....	44
Abbildung 13: Diagramm Items 4 - 11 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung).....	45
Abbildung 14: Diagramm Items 12 - 15 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung).....	46
Abbildung 15: Diagramm Items 16 - 17 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung).....	46
Abbildung 16: Diagramm Items 18 - 21 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung).....	47
Abbildung 17: Diagramm Items 22 - 24 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung).....	47
Abbildung 18: Vergleich der Mittelwerte der Aussagen der Schüler*innen mit den Aussagen der Lehrer*innen (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Fragebögen)	49
Abbildung 19: Bedeutung der Modelle im Unterricht für die Lehrpersonen anhand der Items 26 – 33 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Lehrer*innenbefragung).....	50
Abbildung 20: Interpretation der Item 4 - 11 (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung).....	53
Abbildung 21: Interpretation der Item 12 - 15 (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung).....	54
Abbildung 22: Interpretation der Item 16 und 17 (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung).....	55
Abbildung 23: Interpretation der Item 18 - 21 (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung).....	56
Abbildung 24: Interpretation der Item 22 - 24 (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung).....	57
Abbildung 25: Geschlechterverteilung der Lehrpersonen (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Evaluierung)	70
Abbildung 26: Datenerhebung der Items 4 bis 19 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Evaluierung)	72

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Teilkompetenzen der Modellkompetenz (verändert nach Krüger, Kauertz, & Upmeyer zu Belzen, 2018, S. 149).....	10
Tabelle 2: Legende der Items (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen des Fragebogens) 42	
Tabelle 3: Kategoriensystem Item 25 (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Schüler*innenbefragung).....	48
Tabelle 4: Ergebnisse Item 34 - 36 (eigene Darstellung, basierend auf den Ergebnissen der Lehrer*innenbefragung)	51
Tabelle 5: Kompetenzen im Unterrichtskonzept (eigene Darstellung nach Bundesinstitut für Innovation und Qualitätsentwicklung, 2011).....	67
Tabelle 6: Legende des Fragebogens zur Unterrichtskonzeptevaluierung (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Evaluierung)	70
Tabelle 7: Ergebnisse der Evaluierung des Konzepts (eigene Darstellung basierend auf den Ergebnissen der Evaluierung)	71

Abkürzungsverzeichnis

- z.B.: zum Beispiel
- AHS allgemeinbildende höhere Schule
- bzw. beziehungsweise
- vgl. vergleiche
- usw. und so weiter
- ZPD Zone of proximal Development (=Zone der proximalen Entwicklung)
- MW Mittelwert
- SD Standardabweichung

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Antonia Aigner, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt zu haben. Die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen sind als solche gekennzeichnet. Ferner versichere ich, diese Arbeit an keiner anderen Hochschule für Prüfungszwecke vorgelegt zu haben.

Wien, 29.05.2022

A handwritten signature in black ink, reading "Antonia Aigner". The script is cursive and fluid, with the first name and last name clearly distinguishable.

Antonia Aigner

Anhang

Kurzfassung

Das Themengebiet der Atommodelle ist ein grundlegender Teil am Beginn des Chemieunterrichts. Die Abstraktheit eines Modells verständlich an die Schüler*innen der Sekundarstufe I zu vermitteln, stellt eine Herausforderung dar, die selbst für Chemielehrpersonen oft nicht auf den ersten Blick ersichtlich ist. Durch den Fokus auf den Aufbau von Kompetenzen bei der Vermittlung von Lehrinhalten, rückt die Entwicklung und Förderung des Modellverständnisses beim Unterricht über Atommodelle zunehmend in den Vordergrund.

Die hier vorliegende Arbeit setzt sich zum Ziel, die Schwierigkeiten von Schüler*innen mit Modellen im Chemieanfangsunterricht zu eruieren, um anschließend am Beispiel des Themas *Atommodelle* ein Unterrichtskonzept zur Förderung der Modellkompetenz zu entwickeln. Im Zuge der Arbeit wird versucht die zentrale Frage, wie die Modellkompetenz der Schüler*innen im Chemieanfangsunterricht unterstützt werden kann, zu beantworten. Einerseits soll durch die Vermittlung der geschichtlichen Entwicklung des Atommodells ein Modellverständnis gefördert werden, andererseits sollen unterschiedliche Darstellungsformen den Schüler*innen helfen die Modelle besser zu begreifen. Zur Beantwortung der Forschungsfrage werden mittels Fragebogen die Schwierigkeiten der Schüler*innen mit Modellen erfragt und die ausgewerteten Ergebnisse herangezogen, um ein mögliches Unterrichtskonzept zu den Atommodellen zu entwerfen.

Die Ergebnisse des Fragebogens der Schüler*innen legen nahe, dass vor allem der Modellbegriff und der Wechsel zwischen Erfahrungswelt und Modellwelt im Unterricht spezifischer behandelt werden könnten. Ebenfalls unterstützt ein grundlegendes Verständnis der naturwissenschaftlichen Forschungswege die Nachvollziehbarkeit der Entwicklung von Modellen. Im vorgestellten Unterrichtskonzept zum Thema *Atommodelle* soll durch konstruktivistische Unterrichtsformen speziell die Modellkompetenz gestärkt werden. Ein Blackbox-Experiment zu Beginn dieser Unterrichtsreihe soll die Schüler*innen für den Zusammenhang der Charakteristika des Modells und der der Realität sensibilisieren und sie beim Begreifen abstrakter Denkmuster unterstützen.

Abstract

The topic of atomic models is a fundamental part of basic chemistry education. Communicating the abstractness of a model in an understandable way to students in secondary school is a challenge that is often not obvious at first sight - even to chemistry teachers. Due to the growing educational focus on developing competences, the enhancement of model comprehension in teaching about atomic models is increasingly becoming important.

The aim of this Master Thesis is to determine the difficulties students have with models in beginning chemistry class and further to develop a teaching concept to support model competence applied on the topic of *atomic models*. This paper is trying to answer the central question of how the students' model competence can be enhanced at the beginning of chemistry class. On the one hand, an understanding of models should be emphasized by teaching the historical development of the atomic model, on the other hand different forms of illustrations are meant to help students develop a better understanding of models. To answer the research question, the pupils' difficulties with models were asked by using a questionnaire and the evaluated results were utilized to design a possible teaching concept for the atomic models.

The results of the students' questionnaire suggest that especially the concept of models and the change between real world experiences and the world of models could be dealt with more specifically in class. Likewise, a basic understanding of scientific research methods supports the comprehensibility of the development of models. In the teaching concept presented on the topic of *atomic models*, model competence should be strengthened especially through constructivist forms of teaching. A black box experiment at the beginning of this series of lessons is intended to sensitize the students to the connection between the characteristics of the model and those of reality and to support them in understanding abstract thought patterns.

Anhang 1: Fragebogen Schüler*innen

Fragebogen Schwierigkeiten mit Modellvorstellungen im Chemieanfangsunterricht

Liebe Schüler*innen!

In dieser Umfrage werden eure Vorstellungen und Schwierigkeiten mit den Modellen und dem Arbeiten mit Modellen erfasst, damit der Unterricht weiterentwickelt werden kann. Ich bitte euch daher, diesen Fragebogen vollständig und gewissenhaft auszufüllen und möchte betonen, dass es hier keine richtigen oder falschen Angaben gibt, sondern wirklich eure Meinung gefragt ist. Die Dauer beträgt etwa 5 - 10 Minuten.

Vielen Dank für Eure Teilnahme!

Antonia Aigner

Allgemeine Daten

Alter: _____ Geschlecht: ☐ ☐ ☐
 männlich weiblich divers

Durchschnittsnote der Fächer Deutsch, Mathematik und Englisch: _____

Semesternote in Chemie: _____

Behauptungen zu Modellen

	Stimmt keinesfalls	Stimmt eher nicht	Stimmt eher schon	Stimmt genau
1. Mein Interesse an Chemie ist sehr groß.	☐	☐	☐	☐
2. Chemie macht mir sehr viel Spaß.	☐	☐	☐	☐
3. In der Chemie tue ich mir sehr leicht.	☐	☐	☐	☐
4. Ein Modell kann nie alle Eigenschaften des Originals darstellen.	☐	☐	☐	☐
5. Ein Modell ist ein Nachbau des Originals.	☐	☐	☐	☐
6. Ein Modell besitzt nur die Eigenschaften, die der Entwickler für notwendig empfindet.	☐	☐	☐	☐
7. Das Original sieht genauso aus wie das Modell.	☐	☐	☐	☐
8. Im Alltag werden auch oft Modelle verwendet.	☐	☐	☐	☐
9. Man weiß ganz genau, wie ein Atom aussieht.	☐	☐	☐	☐

10. Ein Atom besitzt eine ganz bestimmte Farbe.	☐	☐	☐	☐
11. Ein Atom ist immer kugelförmig.	☐	☐	☐	☐
	Stimmt keinesfalls	Stimmt eher nicht	Stimmt eher schon	Stimmt genau
12. Modelle dienen ausschließlich zur Veranschaulichung.	☐	☐	☐	☐
13. Modelle beschreiben nur wissenschaftliche Phänomene.	☐	☐	☐	☐
14. Modelle helfen, Vorhersagen zu wissenschaftlichen Experimenten zu treffen.	☐	☐	☐	☐
15. Modelle sind nur für den Unterricht entwickelt.	☐	☐	☐	☐
16. Für ein Phänomen gibt es immer nur ein einziges Modell.	☐	☐	☐	☐
17. Jedes Modell stellt einen anderen wissenschaftlichen Inhalt dar.	☐	☐	☐	☐
18. Modelle sind für immer gültig.	☐	☐	☐	☐
19. Modelle können nicht verändert werden.	☐	☐	☐	☐
20. Neue Erkenntnisse zu einem Phänomen ändern nichts an einem Modell.	☐	☐	☐	☐
21. Bei neuen Beobachtungen muss ein ganz neues Modell entwickelt werden.	☐	☐	☐	☐
22. Modelle werden nie überprüft.	☐	☐	☐	☐
23. Modelle werden getestet, damit Hypothesen zum Original überprüft werden.	☐	☐	☐	☐
24. Verschiedene Wissenschaftler*innen überprüfen ständig die Gültigkeit der Modelle.	☐	☐	☐	☐

25. Was ist dir besonders schwer gefallen beim Lernen des Atommodells?

Anhang 2: Fragebogen Lehrer*innen

Liebe Kolleg*innen!

Im Zuge meiner Masterarbeit beschäftige ich mich mit der Modellkompetenz von Schüler*innen im Chemieanfangsunterricht. Im Fragebogen werden verschiedene Behauptungen zu Modellen aufgestellt. Ich bitte Euch im ersten Teil jene Antworten anzukreuzen, die auch Eurer Meinung nach der Großteil der Schüler*innen ankreuzen wird. Anschließend bitte ich Euch noch auszufüllen, welche Rolle das Unterrichtsthema Atommodelle in Eurem Unterricht hat und welche Methoden ihr dafür verwendet. Die Dauer des Fragebogens beträgt 10 – 15 Minuten.

Vielen Dank für Eure Teilnahme!

Antonia Aigner

Allgemeine Daten

Alter: _____ Geschlecht: ☐ ☐ ☐
 männlich weiblich divers

Anzahl der Dienstjahre: _____ Zweitfach: _____

Modellkompetenz der Schüler*innen

Dieser Teil des Fragebogens soll so ausgefüllt werden, wie Du glaubst, dass der Großteil deiner Schüler*innen diesen Fragebogen ausgefüllt haben.

	Stimmt keinesfalls	Stimmt eher nicht	Stimmt eher schon	Stimmt genau
1. Mein Interesse an Chemie ist sehr groß.	☐	☐	☐	☐
2. Chemie macht mir sehr viel Spaß.	☐	☐	☐	☐
3. In der Chemie tue ich mir sehr leicht.	☐	☐	☐	☐
4. Ein Modell kann nie alle Eigenschaften des Originals darstellen.	☐	☐	☐	☐
5. Ein Modell ist ein Nachbau des Originals.	☐	☐	☐	☐
6. Ein Modell besitzt nur die Eigenschaften, die der Entwickler für notwendig empfindet.	☐	☐	☐	☐
7. Das Original sieht genauso aus wie das Modell.	☐	☐	☐	☐
8. Im Alltag werden auch oft Modelle verwendet.	☐	☐	☐	☐
9. Man weiß ganz genau, wie ein Atom aussieht.	☐	☐	☐	☐
10. Ein Atom besitzt eine ganz bestimmte Farbe.	☐	☐	☐	☐

11. Ein Atom ist immer kugelförmig.	☐	☐	☐	☐
	Stimmt keinesfalls	Stimmt eher nicht	Stimmt eher schon	Stimmt genau
12. Modelle dienen ausschließlich zur Veranschaulichung.	☐	☐	☐	☐
13. Modelle beschreiben nur wissenschaftliche Phänomene.	☐	☐	☐	☐
14. Modelle helfen, Vorhersagen zu wissenschaftlichen Experimenten zu treffen.	☐	☐	☐	☐
15. Modelle sind nur für den Unterricht entwickelt.	☐	☐	☐	☐
16. Für ein Phänomen gibt es immer nur ein einziges Modell.	☐	☐	☐	☐
17. Jedes Modell stellt einen anderen wissenschaftlichen Inhalt dar.	☐	☐	☐	☐
18. Modelle sind für immer gültig.	☐	☐	☐	☐
19. Modelle können nicht verändert werden.	☐	☐	☐	☐
20. Neue Erkenntnisse zu einem Phänomen ändern nichts an einem Modell.	☐	☐	☐	☐
21. Bei neuen Beobachtungen muss ein ganz neues Modell entwickelt werden.	☐	☐	☐	☐
22. Modelle werden nie überprüft.	☐	☐	☐	☐
23. Modelle werden getestet, damit Hypothesen zum Original überprüft werden.	☐	☐	☐	☐
24. Verschiedene Wissenschaftler*innen überprüfen ständig die Gültigkeit der Modelle.	☐	☐	☐	☐

25. Was ist dir besonders schwer gefallen beim Lernen des Atommodells?

Atommodelle im Unterricht

Dieser Teil des Fragebogens beschäftigt sich mit Deiner Einstellung zu den Atommodellen im Unterricht und der Unterrichtsform.

		Stimmt keinesfalls	Stimmt eher nicht	Stimmt eher schon	Stimmt genau
26.	Das Thema Atommodelle ist für mich sehr wichtig für den Chemieunterricht.	☐	☐	☐	☐
27.	Den Schüler*innen fällt das Thema sehr leicht.	☐	☐	☐	☐
28.	Der Begriff „Modell“ ist für den Unterricht von sehr großer Bedeutung.	☐	☐	☐	☐
29.	Die Eigenaktivität der Schüler*innen bei diesem Thema ist sehr hoch.	☐	☐	☐	☐
30.	Die geschichtliche Entwicklung des Atommodells spielt eine große Rolle im Unterricht.	☐	☐	☐	☐
31.	Ich verwende sehr viele verschiedene Darstellungsarten des Atoms.	☐	☐	☐	☐
32.	Ich verwende viele digitale Darstellungen von Modellen.	☐	☐	☐	☐
33.	Ich verwende Modelle, um den Schüler*innen den wissenschaftlichen Forschungsweg näher zu bringen.	☐	☐	☐	☐

34. Wie viele Unterrichtseinheiten verwendest du für die Atommodelle?

--

35. Wie steigst du in die Atomtheorie ein? Beschreibe deine Vorgehensweise in ein paar Sätzen.

--

36. Welche Darstellungsarten verwendest du für die Atommodelle?

--

Anhang 3: Datenauswertung Schüler*innen Fragebogen

Item Proband*in	Alter	Geschlecht	Ø Note D, M, E	Note CH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	14	männlich	2,44	2	3 ⁵	2	3	2	4	3	3	4	4	1	3	4	3	3	1
2	13	weiblich	1	2	3	3	3	3	3	3	1	2	3	1	1	3	3	3	1
3	13	weiblich	1,23	1	3	3	2	4	4	3	1	4	1	1	1	4	3	2	1
4	14	männlich	3	3	1	3	2	3	3	2	3	4	3	1	1	2	1	2	1
5	13	weiblich	2	1	3	3	3	3	3	2	2	4	2	2	2	3	2	3	1
6	14	weiblich	3	1	3	3	3	2	4	3	3	3	3	2	1	3	2	3	1
7	13	männlich	2	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	2	3	4	4	4	2
8	14	divers	2,33	1	3	3	2	3	2	4	1	4	2	1	3	3	2	4	2
9	14	männlich	3	1	3	4	2	4	3	3	2	3	2	1	3	4	2	3	1
10	14	männlich	3,55	3	2	2	3	4	4	2	3	4	2	1	3	4	2	3	2
11	14	männlich	2	1	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4	1
12	14	weiblich	2	1	3	4	3	4	3	3	2	3	3	1	3	3	2	3	2
13	13	weiblich	1	1	2	3	3	4	4	4	1	3	3	2	1	4	2	3	1
14	13	weiblich	2	2	3	3	2	2	4	4	1	4	1	2	1	1	2	4	1
15	14	weiblich	1	1	2	3	2	3	3	3	1	3	1	2	2	3	2	2	1
16	13	männlich	2	2	2	2	1	4	4	2	2	3	2	1	2	4	3	3	1
17	13	männlich	4	3	4	4	3	3	3	2	2	3	3	3	1	3	2	3	1
18	14	männlich	2	1	3	3	3	3	4	2	2	4	3	2	3	4	2	3	1
19	14	männlich	3	4	2	3	1	2	3	1	4	3	1	2	3	2	3	3	2
20	14	weiblich	1,6	1	3	3	3	3	3	4	3	4	4	1	1	3	3	4	1
21	13	weiblich	1	1	3	3	4	2	3	2	2	4	2	1	2	3	2	3	2
22	13	weiblich	3	1	3	3	3	4	4	1	2	4	2	1	3	3	3	2	4
23	14	weiblich	2	1	2	3	3	3	4	2	2	3	2	1	1	3	1	3	3
24	14	männlich	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	1	4	3	2	3	2
25	13	männlich	2	1	3	3	3	3	2	3	1	2	3	2	2	4	2	3	2
26	13	weiblich	1,6	2	3	3	3	3	4	3	2	3	3	1	2	4	2	3	1

⁵Mit den Zahlen wird die Likert-Skala repräsentiert (1 = Stimmt keinesfalls, 2 = Stimmt eher nicht, 3 = Stimmt eher schon, 4 = Stimmt genau)

27	14	weiblich	4	3	2	2	2	2	3	4	3	1	1	4	1	1	3	2	2	2	2
28	13	weiblich	1,3	1	2	2	2	3	4	4	1	1	2	4	1	2	3	2	3	3	1
29	13	männlich	1,6	1	2	2	3	3	4	4	2	3	4	2	4	1	3	3	3	3	2
30	13	männlich	1	1	2	3	3	3	4	4	1	3	3	2	3	1	1	3	2	2	1
31	14	weiblich	3	3	2	2	2	3	2	2	2	2	1	2	1	1	3	1	2	1	1
32	14	weiblich	4	3	3	3	3	1	4	4	3	1	2	3	2	2	1	2	2	3	1
33	14	weiblich	2	1	3	3	3	3	4	4	3	3	2	4	2	2	2	3	3	3	1
34	13	weiblich	3	1	3	3	3	3	4	4	3	3	2	4	2	2	2	3	3	3	1
35	13	männlich	3	2	4	4	4	3	3	3	1	2	2	3	2	1	2	3	2	3	3
36	14	männlich	3,2	2	4	4	4	2	1	4	3	3	1	4	2	1	2	3	2	3	1
37	14	weiblich	2	1	3	4	2	3	3	3	1	3	4	4	4	2	4	4	2	1	1
38	14	weiblich	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	3	1	4	3	3	2	1
39	14	männlich	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	2	4	2	1	1	4	2	3	4
40	14	weiblich	1,5	1	3	3	2	3	3	3	2	2	2	3	3	2	3	3	2	3	2
41	14	weiblich	2	1	3	3	2	3	3	3	2	1	3	3	3	1	3	4	2	3	1
42	13	weiblich	1,5	1	4	3	3	4	4	4	2	2	1	4	2	1	2	3	2	3	1
43	14	männlich	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	2
44	13	männlich	1,6	1	4	4	3	4	4	4	2	3	2	4	3	2	4	2	1	3	1
45	13	männlich	1,3	1	3	3	3	2	3	3	2	3	1	3	1	1	2	2	1	3	1
46	14	weiblich	1	1	3	2	3	4	4	4	3	2	2	3	2	1	4	3	1	2	1
47	14	männlich	3,5	3	2	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3	1	2	2	1	3	1
48	14	männlich	2,3	3	3	4	3	2	4	4	3	3	4	3	4	4	3	2	1	3	1
49	14	männlich	1	1	3	3	3	4	2	4	3	4	2	4	3	2	4	2	1	3	1
50	14	männlich	2	2	3	3	2	3	4	4	4	1	3	3	3	1	3	4	3	3	1
51	13	männlich	3	3	2	2	1	2	3	4	3	2	3	4	3	1	2	4	2	3	1
52	14	männlich	1,3	1	4	4	4	4	3	3	1	2	2	3	2	2	2	2	2	3	1
53	14	weiblich	2	2	3	3	3	3	4	4	2	3	3	4	3	2	2	3	2	3	2
MW ⁶	13,6	-	2,22	1,72	2,85	2,98	2,66	3,04	3,38	2,53	2,25	2,25	1,53	2,36	2,36	2,34	3,02	2,19	2,91	1,43	
SD ⁷	0,49	-	0,87	0,89	0,66	0,64	0,76	0,68	0,71	0,87	0,87	0,87	0,72	0,92	0,68	0,96	0,77	0,76	0,53	0,75	

⁶ MW = Mittelwert

⁷ SD = Standardabweichung

Item Proband*in	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	3	3	2	1	2	4	1	3	3
2	1	2	2	2	2	3	2	3	4
3	1	4	4	1	1	3	1	3	3
4	3	3	1	1	3	3	1	3	3
5	2	3	2	2	1	4	1	4	4
6	2	3	2	2	1	3	1	4	4
7	2	3	3	3	3	3	2	3	3
8	2	3	2	2	2	3	2	3	3
9	1	3	2	1	1	2	1	3	4
10	2	4	4	1	2	4	1	4	4
11	3	3	2	2	1	4	1	4	4
12	2	3	3	2	2	3	2	3	3
13	1	3	1	1	1	3	1	3	4
14	1	2	3	2	2	2	1	4	3
15	2	3	1	2	2	3	1	3	4
16	1	3	1	2	2	2	1	4	4
17	2	3	3	3	3	2	2	3	4
18	1	4	2	1	1	3	2	3	3
19	1	3	4	3	2	3	1	2	3
20	2	2	1	2	2	4	1	3	4
21	2	2	1	2	3	3	1	3	3
22	4	2	1	2	3	4	1	4	4
23	2	3	2	2	3	2	2	3	3
24	2	3	2	2	2	3	1	3	3
25	1	3	1	2	1	4	1	2	4
26	1	3	1	1	2	3	2	3	3
27	3	3	1	3	3	2	2	1	4
28	1	2	1	1	1	4	1	3	4
29	1	3	2	1	3	2	1	3	3

30	2	4	2	1	2	4	1	4	3
31	3	4	1	2	3	3	3	2	4
32	2	3	2	4	3	2	2	3	3
33	2	2	2	1	1	4	1	3	4
34	2	2	2	2	1	4	1	3	4
35	2	4	1	1	1	2	2	3	3
36	2	3	1	1	2	3	1	4	3
37	2	3	2	2	2	2	1	3	3
38	2	3	2	2	3	3	1	3	3
39	3	3	3	3	3	3	3	3	3
40	2	3	2	2	2	3	2	3	3
41	2	3	2	2	2	3	2	3	3
42	1	2	1	1	1	3	2	4	2
43	2	3	2	2	2	4	2	3	3
44	1	2	2	2	1	3	1	4	4
45	1	2	2	2	3	3	1	3	3
46	1	1	1	1	1	4	1	3	3
47	1	4	1	1	2	3	1	3	3
48	3	3	1	2	2	2	1	4	3
49	1	2	2	2	1	3	1	4	4
50	1	3	2	1	2	3	1	4	3
51	2	3	2	1	2	3	1	3	3
52	1	1	1	1	1	4	1	4	3
53	2	3	2	2	2	3	2	3	3
MW	1,79	2,83	1,85	1,75	1,92	3,06	1,38	3,19	3,36
SD	0,74	0,70	0,82	0,70	0,76	0,69	0,56	0,62	0,52

Item 25:

Proband*in	25: Was ist dir besonders schwer gefallen beim Lernen des Atommodells?
1	Nix
2	Das Atommodell
3	Ich hab das garnicht gelernt!
4	Nichts
5	NICHTS :)
6	Nichts :) Hehldbxjc dnnxkc!
7	.
8	Nicht viel
9	Nichts
10	Ich weiß es wirklich nicht.
11	Das Lernen war eigentlich ganz leicht
12	Es war für mich eigentlich leicht das Atommodell zu lernen
13	Die Unterschiede der verschiedenen Modelle zu verstehen und dass sie alle gleichzeitig gültig sind obwohl sie grundlegend unterschiedlich aussehen können
14	Die vielen Fachbegriffe
15	Mir das Modell vorstellen zu können. Und die Frage, wie wissenschaftlerInnen wissen (bzw. die Hypothese aufstellen konnten) wie es aussieht . Wenn man an etwas so genau heranzoomen kann, dass man die einzelnen Atome sieht, könnte man doch durch den Tisch durch sehen? Deshalb kann ich mir nicht vorstellen wie man das alles herausfinden konnte, wie das alles aussieht.
16	Ich weiß nicht mehr
17	Aufbau
18	Modelle
19	Einiges
20	Ich kann mich nicht mehr erinnern
21	Mir ist schwer gefallen, dass man sich alles anhand eines Modelles vorstellen muss. Kann man sich etwas vorstellen, kann man es sich leichter merken und damit arbeiten. Bei einem Modell ist das schwieriger.
22	Nichts
23	Die Ladungen
24	Gar nix
25	Nichts
26	Beim Lernen nichts, nur die Fakt, dass ich vorstellen musste, wie ein Atom aussieht. Ich hatte ein Problem damit, da ich es nicht sehen kann und nicht zu vieles über einem Atom vorstellen kann.
27	Weis ich nicht mehr leider
28	das Rechnen und so, das Modell selber finde ich hilfreich, da ich mir persönlich leichter tue wenn ich etwas sehen kann/grafisch dargestellt habe.
29	Eigentlich war alles leicht, war nur langweilig
30	Nicht so viel!
31	Alles
32	Das Feststehen,

33	Sich das Atom genau vorstellen zu können
34	Sich ein Atom vorzustellen
35	Keine Ahnung
36	Kein Ahnung.
37	Manche Fragen waren schwerer und manche einfacher. Aber es war ok.
38	Die Rechnung
39	Der Aufbau
40	Nichts
41	Nichts
42	Nichts.
43	Nichts
44	Nichts
45	Weiß nicht genau
46	Gar nichts, einfach, nur Abbildungen lernen
47	Nein
48	Nichts
49	Die Valenzelektronen ausrechnen
50	Nichts
51	Nichts
52	Nichts, es war einfach
53	Es am Anfang mal richtig zu verstehen.

Anhang 4: Datenauswertung Lehrer*innen Fragebogen

Befragungszeitraum März 2022, Wien

Befragung von 2 Chemielehrpersonen einer 8. Schulstufe Sekundarstufe I AHS

Proband*in Item	1	2	MW ⁸	SD ⁹
Alter	25	30		
Geschlecht	weiblich	weiblich		
Dienstjahre	1	7		
Zweifach	Italienisch	Biologie		
1	3 ¹⁰	2	2,5	0,70
2	3	2	2,5	0,70
3	2	2	2	0
4	3	3	3	0
5	3	4	3,5	0,70
6	2	3	2,5	0,70
7	3	3	3	0
8	4	3	3,5	0,70
9	3	3	3	0
10	1	2	1,5	0,70
11	2	3	2,5	0,70
12	3	3	3	0
13	2	3	2,5	0,70
14	3	3	3	0
15	3	3	3	0
16	2	2	2	0
17	3	3	3	0
18	2	2	2	0
19	3	2	2,5	0,70
20	3	2	2,5	0,70
21	3	3	3	0
22	1	2	1,5	0,70
23	3	3	3	0
24	3	3	3	0
25	Wo befinden sich die Elementarteilchen im Atom? Wie sieht ein Atom aus? (v.a. Neutronen)	k.A.	-	-
26	4	3	3,5	0,70
27	2	3	2,5	0,70
28	3	2	2,5	0,70
29	2	2	2	0

⁸ MW = Mittelwert

⁹ SD = Standardabweichung

¹⁰ Mit den Zahlen wird die Likert-Skala repräsentiert (1 = Stimmt keinesfalls, 2 = Stimmt eher nicht, 3 = Stimmt eher schon, 4 = Stimmt genau)

30	3	3	3	0
31	3	3	3	0
	2	3	2,5	0,70
33	3	2	2,5	0,70
34	3-4	3	-	-
35	Ich frage die SuS, wie sie sich ein Atom vorstellen und lasse es aufzeichnen. Dann weise ich jedem*r Schüler*in ein Kärtchen mit einem historischen Atommodell zu (Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr). Wenn Zeit ist, können sie die Modelle gemeinsam erarbeiten (anhand von Arbeitsblättern), ansonsten besprechen wir sie im Plenum kurz. Mir ist wichtig zu veranschaulichen, dass jedes Modell für sich relevant ist und unterschiedliche „Stärken“ und „Schwächen“ hat, sowie jede SuS Vorstellung vom Atom irgendwie relevant ist.	3 verschiedene Arten: 1) Eigen Vorstellung aufzeichnen lassen und anschließend zu den bestehenden einordnen lassen + Kurzpräsentation halten lassen. 2) Lesetext: Sophies Welt: Wie stellt sich Demokrit Atom vor. Verknüpfung. 3) Video + Zusammenfassung (Atommodelle Abbildung + Beschreibung zuordnen lassen)	-	-
36	Bilder von Modellen, 3D Modelle online	Abbildungen, Simulationen, Zeichnungen	-	-

Anhang 5: Konzeptentwurf Atommodell

Planungsrastrer

THEMA	Atommodelle
KLASSE	4. Klasse AHS
FACH	Chemie
UMFANG	5 Unterrichtseinheiten á 50 Minuten
VORWISSEN	- Einteilung und Eigenschaften von Stoffen - Atombau - Periodensystem
LERNZIELE	❖ Die Schüler*innen können die Bedeutung des Begriffs Modell erklären. ❖ Die Schüler*innen können Hypothesen zu einem bestimmten Experiment entwickeln. ❖ Die Schüler*innen können Forschungswege in den Naturwissenschaften beschreiben. ❖ Die Schüler*innen können zwischen der Erfahrungswelt und der Modellwelt unterscheiden und dies an einem Beispiel erklären. ❖ Die Schüler*innen können die Zwecke von Modellen erklären. ❖ Die Schüler*innen können ihre Vorstellungen, die sie bisher gesammelt haben, vom Atommodell beschreiben. ❖ Die Schüler*innen können ihre Vorstellungen/ Vorwissen vom Atommodell in einer Zeichnung veranschaulichen. ❖ Die Schüler*innen können die Entwicklung von Modellen im historischen Kontext beschreiben. ❖ Die Schüler*innen können das <i>Schalenmodell</i> bzw. <i>Energienstufenmodell</i> erläutern und an Elementen bis zur 3. Periode anwenden. ❖ Die Schüler*innen können das <i>Schalenmodell</i> bzw. <i>Energienstufenmodell</i> von Elementatomen der 1. und 2. Periode nachbauen/skizzieren. ❖ Die Schüler*innen können die Elektronen eines Elementatoms aus dem Periodensystem ablesen und richtig den <i>Schalen</i> zuordnen. ❖ Die Schüler*innen können die verschiedenen Darstellungsarten der Modelle unterscheiden und beschreiben. ❖ Die Schüler*innen können die Eigenschaften des Modells von den Eigenschaften des Originals unterscheiden.

	❖ Die Schüler*innen können ihre Vorstellungen in Worte fassen und mit Zeichnungen untermauern. ❖ Die Schüler*innen können digitale Lernprogramme bedienen.
LEHRPLANBEZUG	<u>Aufbauprinzipien der Materie</u> - Einsicht in ein altersgemäßes Teilchen- bzw. Atommodell - Verstehen des Ordnungsprinzips der Elemente <u>Bildungs- und Lehraufgabe:</u> - Schulung des einfachen Modelldenkens unter Einbeziehung vorhandener Schülervorstellungen (RIS - <u>Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen - Bundesrecht konsolidiert, Fassung vom 31.08.2017 (bka.gv.at)</u>)

Unterrichtseinheit 1 – Blackbox-Experiment					
Zeit [min]	Unterrichtsphase	Inhalt, Aufgabe	Sozialform	Medien/ Materialien	Didaktisch-methodischer Kommentar
5	Einstieg	Begrüßung und Vorstellung der Inhalte der heutigen Einheit. Besprechung des Arbeitsauftrages.	Lehrervortrag		Auf Vorwissen der Schüler*innen hinweisen – Kreativität anregen
10	Arbeitsphase 1	Schüler*innen stellen Hypothesen zur Blackbox auf und versuchen den Inhalt in Partnerarbeit zu identifizieren. Ziel ist es, dass die Schüler*innen pro Gruppe drei Hypothesen haben über einen möglichen Inhalt der Black Box. Die Lehrperson gibt keine Tipps, sodass anschließend der Begriff eines Modells im wissenschaftlichen Sinn besprochen werden kann.	Partnerarbeit	Black Box	Schüler*innen sollen ihre Ideen schriftlich festhalten. Lehrperson unterstützt die Schüler*innen und hilft mit Denkanstößen.
10	Arbeitsphase 2	Je zwei Partner gehen mit einer anderen Gruppe zusammen und tauschen ihre Ideen aus. Zusammen sollen sie sich auf für sie plausible Hypothesen einigen.	Gruppenarbeit	Black Box	Think Pair Share Methode
20	Ergebnissicherung	Die Schüler*innen präsentieren ihre Ergebnisse. Lehrperson erklärt in Bezug auf die Black Box das Wesen und den Zweck von Modellen, sowie den Unterschied zwischen Erfahrungs- und Modellwelt. Ebenso wird auf den naturwissenschaftlichen Forschungsweg in Bezug auf das Black Box Experiment hingewiesen. Notieren der Ergebnisse auf der Tafel und die Schüler*innen im Heft.	Unterrichtsgespräch Schülervortrag	Tafel	In dieser Phase auf die Aussagen und Hypothesen der Schüler*innen verweisen.
5	Abschlussphase	Zusammenfassung der Inhalte und Klärung der letzten Fragen.	Lehrervortrag	Tafel	

Methodik mit dem Blackbox-Experiment

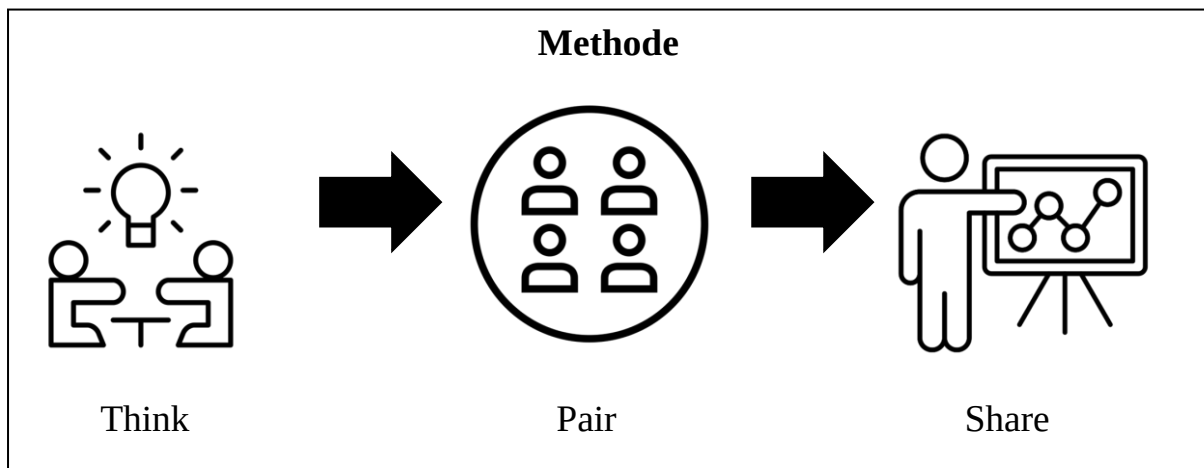


Abbildung: Bild zur Methodik während des Blackbox-Experiment (eigene Darstellungen, Icons von <https://thenounproject.com/>)

Arbeitsphase 1

10 min

Blackbox in Partnerarbeit untersuchen

MATERIAL: Blackbox mit Magnet und Holzstab
METHODE: **Think** – Pair – Share
SOZIALFORM: Partnerarbeit
ZIEL: Pro Paar 3 Hypothesen zum Inhalt der Box

Blackbox:

Geschlossene Box bei welcher der Inhalt zu identifizieren ist. Zur Identifikation stehen ein Magnet und ein Holzstab zur Verfügung, um den Schüler*innen mehr Ideen und Möglichkeiten zur Identifikation bieten zu können.



Abbildung: Inhalt des eiförmigen Körpers: Reiskörner und ein magnetisches Metall eingeklebt an einem Ende (eigene Abbildung)

Inhalt:

Einem Überraschungsei oder einem anderen hohlen eiförmigen Körper wird an einer Stelle ein magnetisches Metall eingeklebt und im Rest des Körpers wird noch etwas Reis eingefügt. Dadurch ist die Bewegung des Körpers nicht gleichmäßig und das Geräusch durch den Reis gibt weitere Möglichkeiten für Hypothesen. Der

verschlossene Körper wird in eine innen schwarze Schachtel gegeben. An einer Seite hat die Schachtel ein kleines Loch, sodass man mit einem Holzstab rein kann und damit Abschätzungen zur Größe oder Form abtasten kann.



Abbildung: Black Box inklusive Inhalt und Material
(eigene Abbildung)



Abbildung: geschlossene Black Box mit dem Holzstab im Loch und einem Magneten am Boden
(eigene Abbildung)

Arbeitsphase 2

10 min

Hypothesen in Gruppenarbeit überprüfen

MATERIAL:	Blackbox mit Magnet und Holzstab
METHODE:	Think – Pair – Share
SOZIALFORM:	4er Gruppen
ZIEL:	Gruppe einigt sich auf 3 gemeinsame Hypothesen

Ergebnissicherung

20 min

Blackbox in Partnerarbeit untersuchen

MATERIAL: Blackbox mit Magnet und Holzstab und PowerPoint Folien
METHODE: Think – Pair – **Share**
SOZIALFORM: Plenum
ZIEL: Präsentation der Hypothesen und Erklärung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges und Modellbegriffs

Naturwissenschaftlicher Erkenntnisweg – pp Folie:

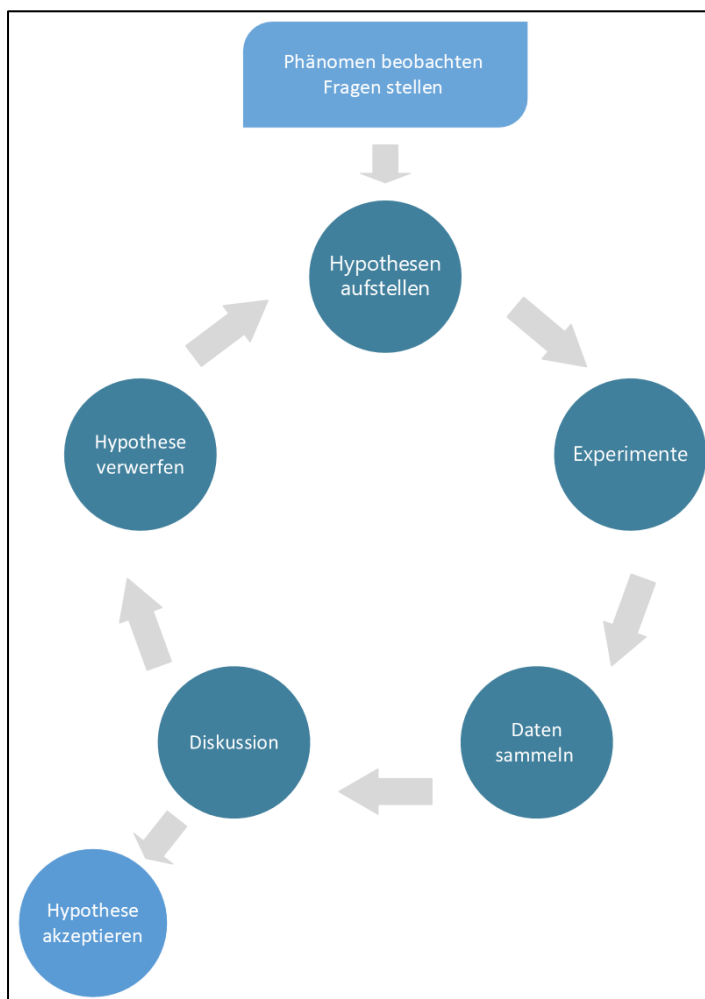


Abbildung: PowerPoint Folie zum naturwissenschaftlichen Forschungsweg (eigene Darstellung)

Was ist ein Modell?

Ein Modell ist ein Konstrukt des Originals. Es interpretiert Ergebnisse und Beobachtungen von wissenschaftlichen Untersuchungen (in Chemie meist Experimente). Ein Modell kann nie alle Eigenschaften des Originals wiedergeben und hilft uns, nicht sichtbare Sachverhalte besser verständlich zu machen. Wir wissen allerdings kaum, wie das Original tatsächlich aussieht, sondern interpretieren die Ergebnisse der Untersuchungen und gestalten dazu ein anschauliches Modell bzw. Bild davon.

Modell

In einem Modell werden Beobachtungen und Ergebnisse (natur-) wissenschaftlicher Forschungen zu einem Konzept zusammengefasst, um die Phänomene besser begreifen zu können.

Es handelt sich um eine wissenschaftlich akzeptierte Hypothese, die als wahr angenommen wird und so lange gültig ist, bis die Hypothese widerlegt wird. Dies kann zu einer Veränderung oder Verwerfung des Modells führen.

Abbildung: PowerPoint Folie Modell

Unterscheidung Erfahrungswelt und Modellwelt:

Wir müssen daher unterscheiden zwischen:

Erfahrungswelt

- Alles, was wir sehen können, also alles, das wir auch unter dem Mikroskop sehen können.

Modellwelt

- Alles, was nicht mehr sichtbar ist, nicht mehr unter einem Mikroskop, befindet sich in der Modellwelt. Wir brauchen Modelle, um uns die Sachverhalte vorstellen zu können.

Abbildung: PowerPoint Folie Erfahrungswelt und Modellwelt

Unterrichtseinheit 2 – Einführung zum Atommodell					
Zeit [min]	Unterrichtsphase	Inhalt, Aufgabe	Sozialform	Medien/ Materialien	Didaktisch- methodischer Kommentar
10	Einstieg	Begrüßung und Vorstellung der Inhalte der heutigen Einheit. Besprechung des Arbeitsauftrages.	Lehrervortrag		Auf Vorwissen der Schüler*innen hinweisen – Kreativität anregen
10	Arbeitsphase	Schüler*innen zeichnen ihre eigene Vorstellung von dem Atommodell auf einen farbigen Zettel	Einzelarbeit	Farbige Zettel A5 oder A6	
10	Ergebnissicherung	Besprechung der Atommodelle der Schüler*innen. Welche Ideen stecken hinter ihren Ergebnissen? 4 Kinder dürfen ihr Atommodell an der Tafel den anderen Kindern vorstellen. Dabei sollen sie kurz ihre Überlegungen präsentieren.	Unterrichtsgespräch Schülervortrag	Tafel	Lehrperson wählt im Einverständnis mit den Kindern 4 sehr unterschiedliche Modelle aus.
15	Explain	Vorstellen der geschichtlichen Entwicklung des Atommodells anhand des Theaters der Wissenschaftler*innen. Die Schüler*innen spielen das Theaterstück in Kleingruppen durch.	Gruppenarbeit	Theater	
5	Abschlussphase	Zusammenfassung der Inhalte und Klärung der letzten Fragen.	Lehrervortrag	Tafel	

Arbeitsphase

10 min

Schüler*innen zeichnen ihre Vorstellungen

MATERIAL:	Farbige A5 oder A6 Zettel
METHODE:	Erhebung der Schüler*innenvorstellungen
SOZIALFORM:	Einzelarbeit
ZIEL:	Schüler*innen zeichnen ihre Vorstellungen zum Atommodell auf einen Zettel

Ergebnissicherung

10 min

Präsentation der Zeichnungen

MATERIAL:	Farbige A5 oder A6 Zettel, Tafel
METHODE:	Präsentation
SOZIALFORM:	Plenum
ZIEL:	Vier Schüler*innen präsentieren ihre verschiedenen Vorstellungen zum Atommodell



Mögliche Lösungen der Schüler*innen:

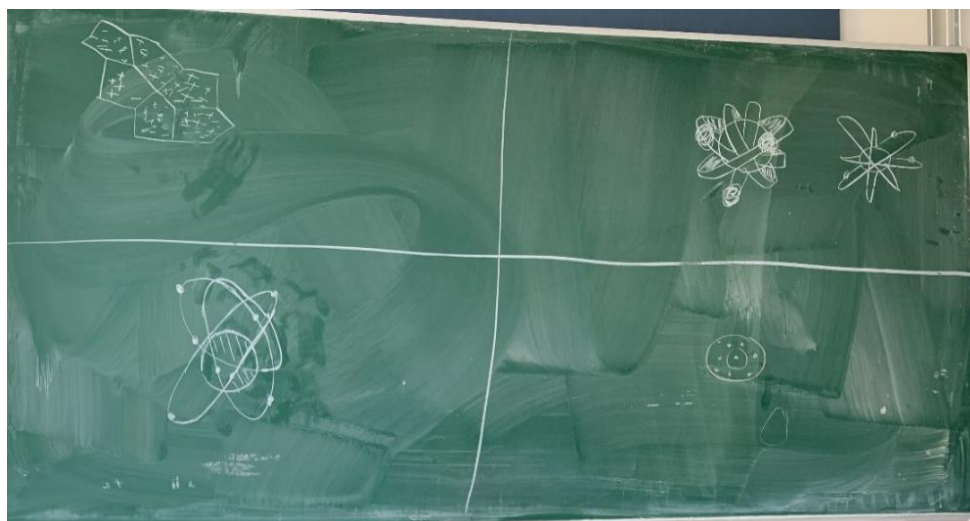


Abbildung: mögliche Vorstellungen von Schüler*innen zum Atommodell (Eine Fotografie aus dem eigenen Chemieunterricht WS 2021)

Explain

15 min

Theater zu den historischen Modellen

MATERIAL:	Arbeitsblatt <i>Theater zu den historischen Atommodellen</i>
METHODE:	Theaterspiel
SOZIALFORM:	5er Gruppen
ZIEL:	Die Schüler*innen spielen das Theater mit den historischen Atommodellen durch.

Arbeitsblatt

Theater zu den historischen Atommodellen

Gäste:

Demokrit (460-371 v. Chr.), John Dalton (1766-1844), Joseph Thomson (1856-1940), Ernest Rutherford (1871-1937), Niels Bohr (1885-1962)

Demokrit:

Bei meinem Göttervater Zeus schwöre ich, Demokrit, eine Lösung für die Grundlage der Materie und allen Seins gefunden zu haben. Das Atom!!!! In meiner Heimat, dem wunderschönen Griechenland, atomos genannt, das bedeutet unteilbar. Der kleinste Teil der Materie.

Dalton:

Bei Zeus stimme ich Ihnen zu, für Ihre Zeit vor 2000 Jahren war dies eine bahnbrechende Erkenntnis! Aber leider musste ich feststellen, dass manche Ihrer Ideen, verehrter Demokrit, durch die moderne Wissenschaft präzisiert wurden.

Demokrit:

Wie können Sie es wagen, mich den ehrwürdigen Philosophen zu kritisieren???? Alle Atome haben doch unterschiedliche Formen und Farben, entsprechend ihren stofflichen Eigenschaften! Natürlich hat das Goldatom auch die Farbe Gold!!!

Dalton:

Keineswegs möchte ich Sie kritisieren, ich bewundere Ihre Arbeit sogar sehr! Diese hat mich inspiriert, mich ebenfalls mit den kleinsten Teilchen der Materie zu beschäftigen. Nach jahrelanger Forschung über Gasmischungen in meinem Labor habe ich neue Erkenntnisse zur Atomtheorie gewonnen:

Die Atome sehen aus wie kleine Kugeln, die Atome der verschiedenen Elemente haben unterschiedliche Größe und Masse. Aber alle Goldatome sehen gleich aus und alle Silberatome sehen gleich aus und auch alle Eisenatome sehen gleich aus.

Demokrit:

Wow! Ich bin sprachlos! Hätte ich doch auch in Ihrer Zeit mit Ihren Möglichkeiten gelebt.

Thomson:

Dann werden Sie es wohl kaum glauben können, was ich alles über das Atom herausgefunden habe!

Mein werter Kollege Wilhelm C. Röntgen kam mir mit seiner neuen Strahlentechnik zur Hilfe. Ein Atom ist nicht das kleinste Teilchen!

Dalton:

Waaas?? Wieso??? Warum??

Thomson:

Naja, das ist doch ganz einfach: Bei einem Versuch mit der neuen Röntgenstrahlung habe ich herausgefunden, dass ein Atom aus positiven und negativen Ladungen besteht. Diese kleinen Teilchen sind im Atom verteilt, wie Rosinen in einem Rosinenkuchen.

Rutherford:

Meine Herren, der Rosinenkuchen ist zwar ausgezeichnet zum Tee, für die Chemie ist er allerdings heute nicht mehr zu gebrauchen. Ich habe mit meinem weltbekannten Streuversuch herausgefunden, ...

Dalton:

Ein Streuversuch? Wie kann ich mir das vorstellen?

Rutherford:

Ich habe mit Hilfe der radioaktiven Strahlung eine dünne Goldfolie bestrahlt und dabei die Ablenkung dieser Strahlung untersucht. Folglich bin ich zu dem Ergebnis gekommen, dass es in der Mitte jedes Atoms einen Kern mit positiven Teilchen gibt. Diese nenne ich PROTONEN! Außerhalb dieses Kerns gibt es eine Hülle mit den negativen Teilchen, den ELEKTRONEN.

Demokrit:

Und was ist dazwischen? Luft??

Rutherford:

Absolut nichts, nada, niente!

Thomson:

Ich habe schon immer Ihr außerordentliches Talent erkannt! Sie waren ebenso begabt, wie unser Schüler Niels Bohr.

Bohr:

Ach, ich habe doch nur Ihre Studien fortgesetzt! Ihr habt mir doch schon den Weg gewiesen.

Rutherford:

Nur keine falsche Bescheidenheit! Erzähle unseren werten Kollegen, Herrn Demokrit und Herrn Dalton, deine faszinierende Erkenntnis!

Bohr:

Also gut. Ähnlich wie in unserem Sonnensystem die Planeten um die Sonne wandern, kreisen auch die Elektronen auf Bahnen rund um den Kern. Das können maximal sieben Bahnen sein und sie werden von innen nach außen mit Elektronen befüllt.

Demokrit:

Faszinierend meine Herren! Das muss ich mir erstmal durch den Kopf gehen lassen. Ich muss mich jetzt zurückziehen und Ihre Forschungsergebnisse studieren.

Unterrichtseinheit 3 – das Schalenmodell					
Zeit [min]	Unterrichtsphase	Inhalt, Aufgabe	Sozialform	Medien/ Materialien	Didaktisch-methodischer Kommentar
5	Einstieg	Begrüßung und Vorstellung der Inhalte der heutigen Einheit.	Lehrervortrag		
20	Arbeitsphase	Wiederholen der geschichtlichen Entwicklung des Atommodells unterlegt mit Bildern der Atommodelle zur Veranschaulichung. Vergleichen der Zeichnungen der Schüler*innen mit den Ideen der Wissenschaftler*innen, indem die Bilder der Schüler*innen mit den Bildern der Wissenschaftler*innen gemeinsam an die Tafel gehängt werden. Festigung der Inhalte mit dem Arbeitsblatt <i>historische Modelle</i> .	Plenum, Einzelarbeit	Bilder der Modelle Magnete oder Tixo	Schüler*innen sollen sich mit den Wissenschaftler*innen identifizieren können.
20	Explain	Die Grenzen des Rutherford Atommodells werden dargelegt und anhand dessen das Schalenmodell vorgestellt und im Heft festgehalten.	Lehrervortrag/ Unterrichtsgespräch	Tafel	Hier ist wichtig, nicht einfach das neue Modell vorzustellen, sondern auf den Erkenntnisweg und die Ideen der Schüler*innen hinweisen. Die Grenzen der Modelle sollen dargestellt werden.
5	Abschlussphase	Zusammenfassung der Inhalte und Klärung der letzten Fragen.	Lehrervortrag	Tafel	

Arbeitsphase

20 min

Festigung der Entwicklung des Atombegriffs

MATERIAL:	Bilder der historischen Modelle, Arbeitsblatt <i>Entwicklung des Atommodells</i> , Magnete oder Tixo
METHODE:	Ergebnissicherung
SOZIALFORM:	Plenum und Einzelarbeit
ZIEL:	Die Schüler*innen können sich mit den Ideen der Wissenschaftler identifizieren und kennen die wichtigsten Aspekte der Entwicklung des Atombegriffs

Historische Modelle:

Bilder der Modelle der einzelnen Wissenschaftler zum Ausdrucken in A6 (Quelle: eigene Abbildungen, Druckvorlage im Anschluss an die Unterrichtseinheit 5):

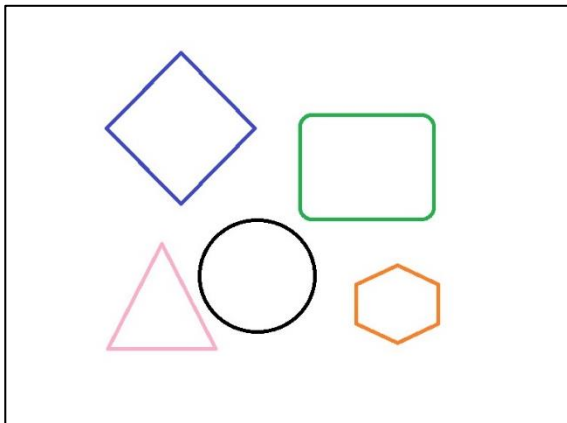


Abbildung: Atommodell Demokrit

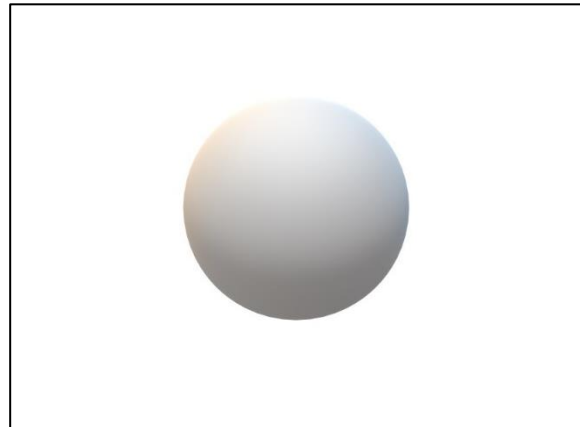


Abbildung: Atommodell Dalton

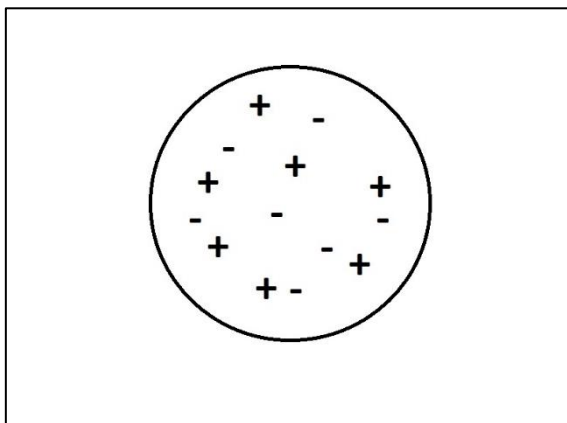


Abbildung: Atommodell Thomson

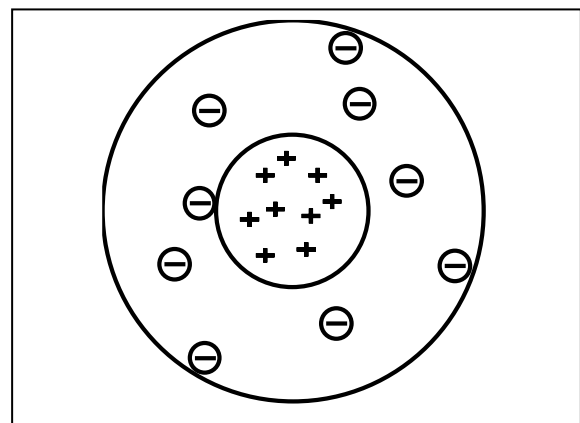


Abbildung: Atommodell Rutherford

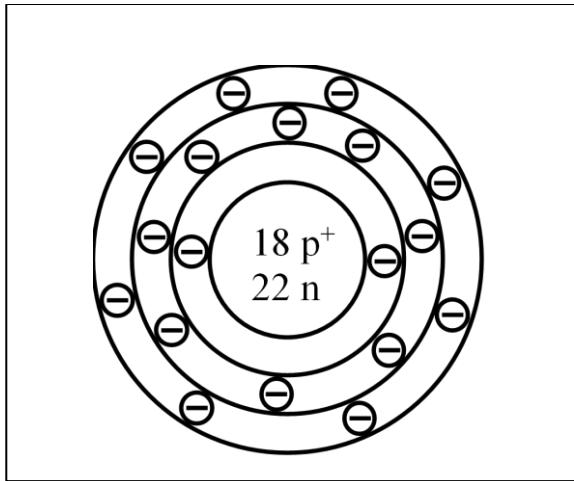
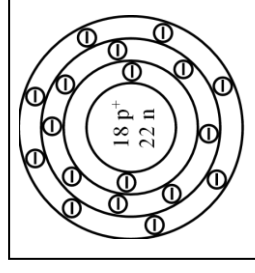
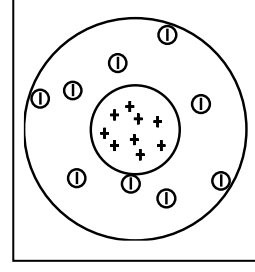
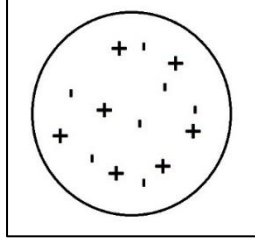
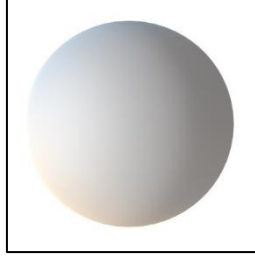
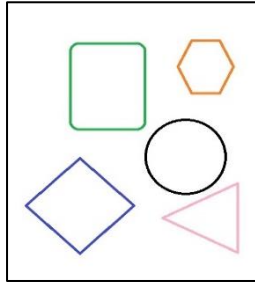


Abbildung: Atommodell Bohr/ Sommerfeld

Arbeitsblatt:

Entwicklung des Atommodells

Ordne den Wissenschaftlern ihre Modelle und die Zitate zu! Verbinde dazu die jeweiligen Kästen mit bunten Farben miteinander.



Ernest Rutherford
(1871 – 1937)

Niels Bohr
(1885 – 1962)

John Dalton
(1766 – 1844)

Demokrit
460 -371 v Chr.

Joseph Thomson
(1856 – 1940)

„Das kleinste, unteilbare Teilchen heißt Atom, vom griechischen Wort *atomos*, das unteilbar bedeutet. Es kann unterschiedliche Form annehmen.“

„Die Atome sind kleine Kugeln unterschiedlicher Größe und Masse!“

„Ein Atom hat einen Kern mit Protonen und eine Hülle mit Elektronen!“

„Das Atom besitzt sieben Bahnen mit Elektronen!“

„Ein Atom besitzt positiv geladene Teile und negativ geladene Teile mit einer genau bestimmten Anzahl.“

Explain

20 min

Das Schalenmodell

MATERIAL:	Tafel
METHODE:	Lehrervortrag
SOZIALFORM:	Unterrichtsgespräch
ZIEL:	Kennenlernen der Grenzen des Atommodells von Rutherford und Erlernen des Schalenmodells

Grenzen des Atommodells von Rutherford:

Man konnte keine Aussagen zur Stabilität machen, da man nicht erklären konnte zum Beispiel, warum die Elektronen nicht so stark von dem Kern angezogen werden und hineinstürzen. Da ein kreisender Körper immer mehr an Bewegungsenergie verliert.

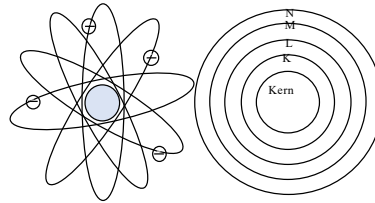
- ➔ Man musste daher weiter forschen, um die konkreten Aufenthaltsbereiche der Elektronen in der Hülle zu finden.
- ➔ Das schaffte Niels Bohr mit seinem Atommodell:

Das Schalenmodell oder Energiestufenmodell:

Das Atom ist nach dem Energiestufenmodell aufgebaut. In der Hülle bewegen sich die Elektronen auf so genannten Energiestufen rund um den Kern. Die Energiestufen heißen Schalen und werden von innen nach außen mit Buchstaben K, L, M, ..., Q bezeichnet und mit $n=1, 2, 3, \dots$ nummeriert. Sie können unterschiedlich viele Elektronen aufnehmen, maximal aber $2n^2$. Je näher beim Kern, desto stärker sind die Anziehungskräfte und weniger Elektronen können aufgenommen werden. Die Elektronen in der äußersten Schale sind die Kontaktstellen zu den anderen Atomen. Diese können abgegeben werden bzw. können aufgenommen werden, dadurch entsteht eine Verbindung.

Schalenmodell

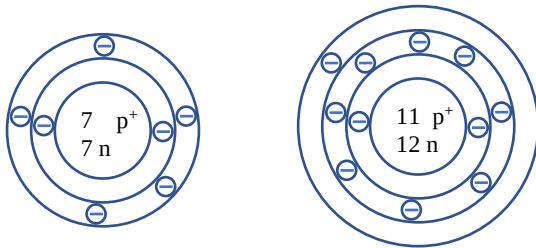
- Elektronen bewegen sich auf 7 Energiestufen zw. Schalen rund um den Kern.
- Die Schalen $n = 1, 2, 3, \dots$ werden von innen nach außen befüllt und mit den Buchstaben K, L, M, bis Q bezeichnet.
- Max. $2n^2$ Elektronen pro Schale, ab der 3. Periode in der äußersten max. 8 Elektronen.



Schale	n	Anzahl e ⁻
K	1	2
L	2	8
M	3	18
N	4	32
O	5	50
P	6	72
Q	7	98

Abbildung: PowerPoint Folie Schalenmodell

Übung: Gemeinsames Zeichnen der Moleküle Stickstoff und Natrium (Abbildungen eigene Darstellungen):



Unterrichtseinheit 4 – Atommodell bauen					
Zeit [min]	Unterrichtsphase	Inhalt, Aufgabe	Sozialform	Medien/ Materialien	Didaktisch-methodischer Kommentar
5	Einstieg	Begrüßung und Vorstellung der Inhalte der heutigen Einheit. Besprechung des Arbeitsauftrages.	Lehrevortrag		Auf Vorwissen der Schüler*innen hinweisen – Kreativität anregen
25	Erweiterung	Die Schüler*innen stellen das gerade gelernte Modell mit verschiedenen zur Verfügung gestellten Materialien in 3er-Gruppen dar. Dabei können sie ein Element bis zur 2. Periode frei auswählen.	3er Gruppen	Plastilin, Zellstoff, Kugeln, Lego, Papier, Farben, Holzstäbchen, Gummibären, Ferrero Kugeln, ...	Einteilung der 3er Gruppen nach Sitzordnung. Die Lehrperson kontrolliert bei den Schüler*innen die richtige Anzahl an Elektronen pro Schale. Möglichkeit zur Differenzierung: Auswahl eines Elementatoms einer höheren Periode.
15	Ergebnissicherung	Besprechung der Lernprodukte im Plenum, vor allem in Bezug auf das von der Lehrperson vorgestellte Atommodell. Jede Gruppe soll ihr Modell kurz vorstellen. Achtung! Produkte der Schüler*innen stehen im Vordergrund! Nochmalige gemeinsame Besprechung welche Eigenschaften der Modelle zur Erfahrungswelt und welche zur Modellwelt gehören.	Plenum	Modelle	Die Modelle können fotografiert und auf einem Plakat, im Jahresbericht oder auf der Homepage veröffentlicht werden.
5	Abschlussphase	Zusammenfassung der Inhalte und Klärung der letzten Fragen. Aufräumen und Putzen der Tische.	Unterrichtsgespräch		

Erweiterung

25 min

Atommodell nachbauen

MATERIAL:	Plastilin, Zellstoff, Kugeln, Lego, Papier, Farben, Holzstäbchen, Gummibären, Ferrero Kugeln, ...
METHODE:	kreative Konstruktionen
SOZIALFORM:	3er Gruppe
ZIEL:	Die Schüler*innen bauen ein Elementatom aus der 1. oder 2. Periode mit verschiedenen Materialien nach.

Ergebnissicherung

15 min

Präsentationen der Modelle

MATERIAL:	Modelle, Kamera	
METHODE:	Produktpräsentation	
SOZIALFORM:	Plenum	
ZIEL:	Die Schüler*innen präsentieren ihre Modelle und die Eigenschaften der Erfahrungswelt und der Modellwelt werden diskutiert. Fotografieren der Modelle!	

Unterrichtseinheit 5 – Anwenden des Atommodells an verschiedenen Elementatomen					
Zeit [min]	Unterrichtsphase	Inhalt, Aufgabe	Sozialform	Medien/ Materialien	Didaktisch-methodischer Kommentar
5	Einstieg	Begrüßung und Vorstellung der Inhalte der heutigen Einheit.	Lehrervortrag		
30	Übungsphase	Schüler*innen üben die neu gelernten Inhalte anhand des Arbeitsblattes <i>Atome zeichnen</i> . Es werden im Klassenraum die Lösungen verteilt und die Schüler*innen können selbstständig kontrollieren. Die schnelleren Schüler*innen können ihr Wissen bei einem Memory Spiel unter Beweis stellen auf der Homepage LearningApps: https://learningapps.org/4498914	Partnerarbeit	Arbeitsblatt und Lösungen Die Schnellen: Mobiltelefon	Lehrpersonen unterstützen die einzelnen Schüler*innen bei Fragen.
15	Zusammenfassung und Abschluss	Die Inhalte des Kapitels werden nochmal im Plenum wiederholt und die Fragen geklärt.	Plenum		

Übungsphase

25 min

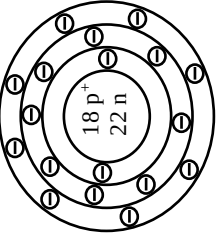
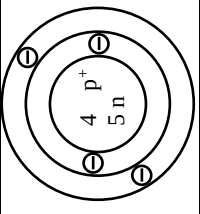
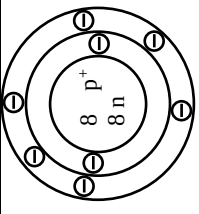
Anwenden des Atommodells an verschiedenen Elementatomen

MATERIAL:	Arbeitsblatt <i>Atommodelle zeichnen</i> , Lösungen, Mobiltelefon/ Laptop
METHODE:	Festigung der Inhalte
SOZIALFORM:	Partnerarbeit
ZIEL:	Üben des Zeichnens des Atommodells an verschiedenen Elementatomen.

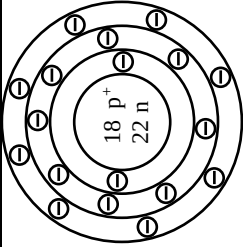
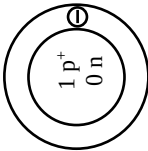
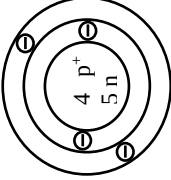
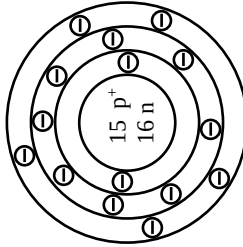
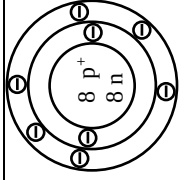
Arbeitsblatt

Atome zeichnen

Vervollständige die Tabelle, verwende dafür dein Periodensystem.

Atommodell	Elementname und Symbol	Protonen	Neutronen	Elektronen	Außenelektronen	Elektronen pro Besetzter Schale
						
	Wasserstoff					
						
	Phosphor					
						

Lösungen:

Atommodell	Elementname und Symbol	Protonen	Neutronen	Elektronen	Außenelektronen	Elektronen pro Besetzte Schale
	Neon, Ne	18	22	18	8	K 2 L 8 M 8
	Wasserstoff, H	1	0	1	1	K 1
	Beryllium, Be	4	5	4	2	K 2 L 2
	Phosphor, P	15	16	15	5	K 2 L 8 M 5
	Sauerstoff, O	8	8	8	6	K 2 L 6

Zusammenfassung

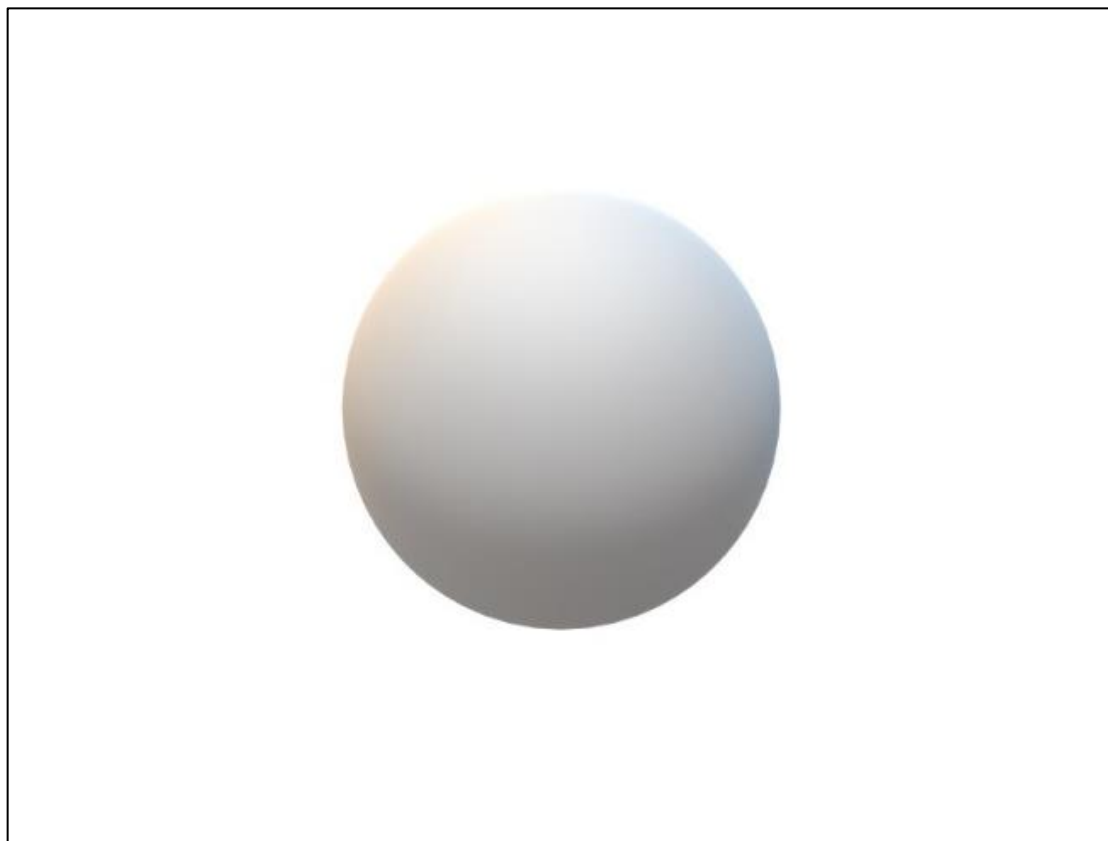
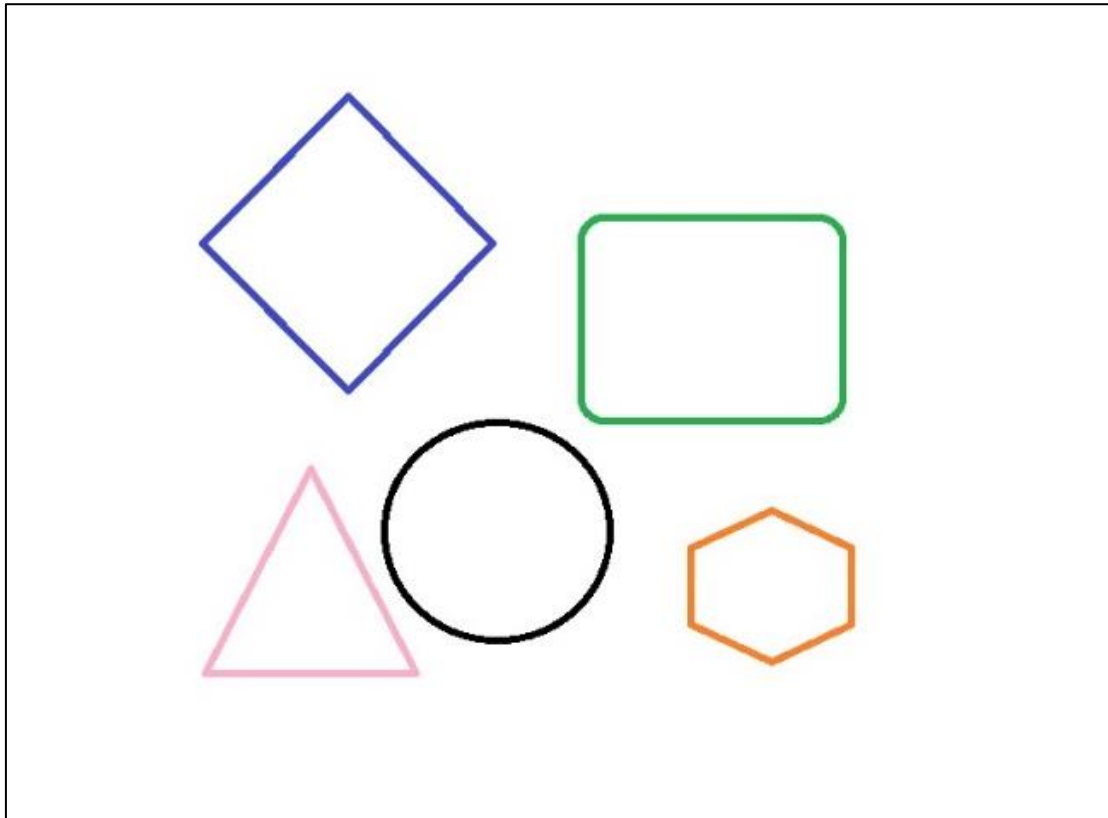
15 min

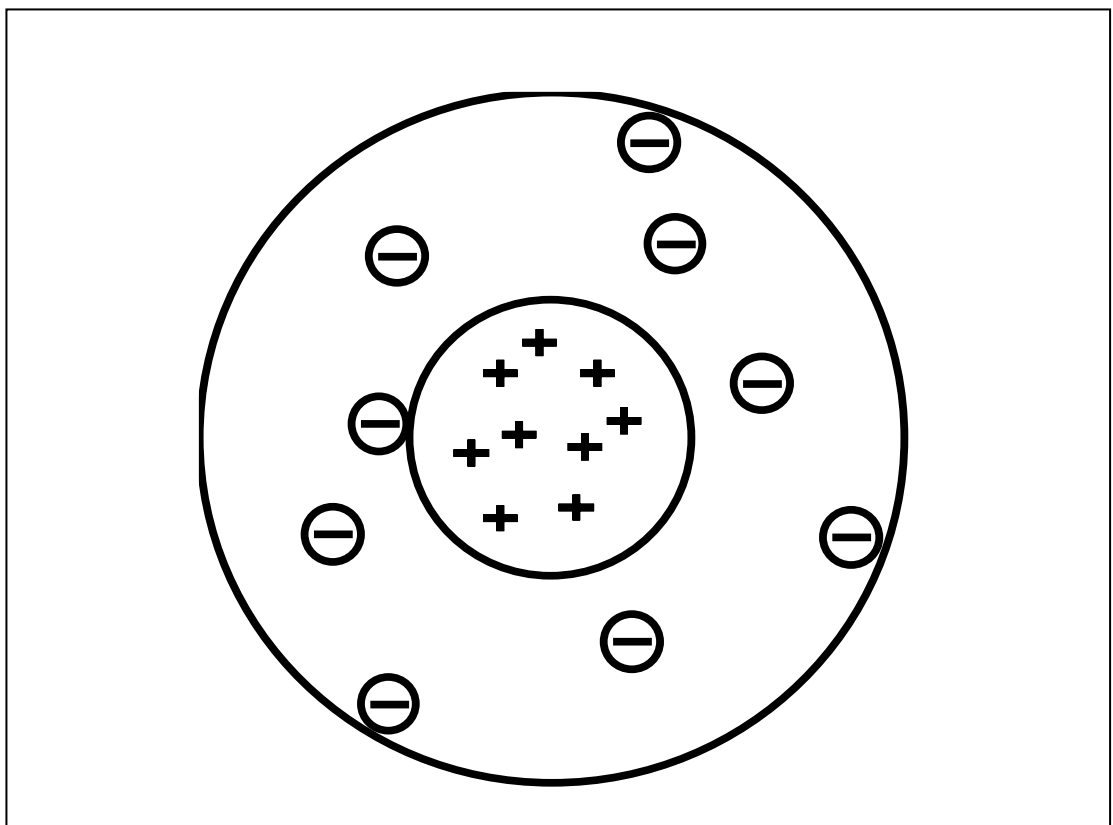
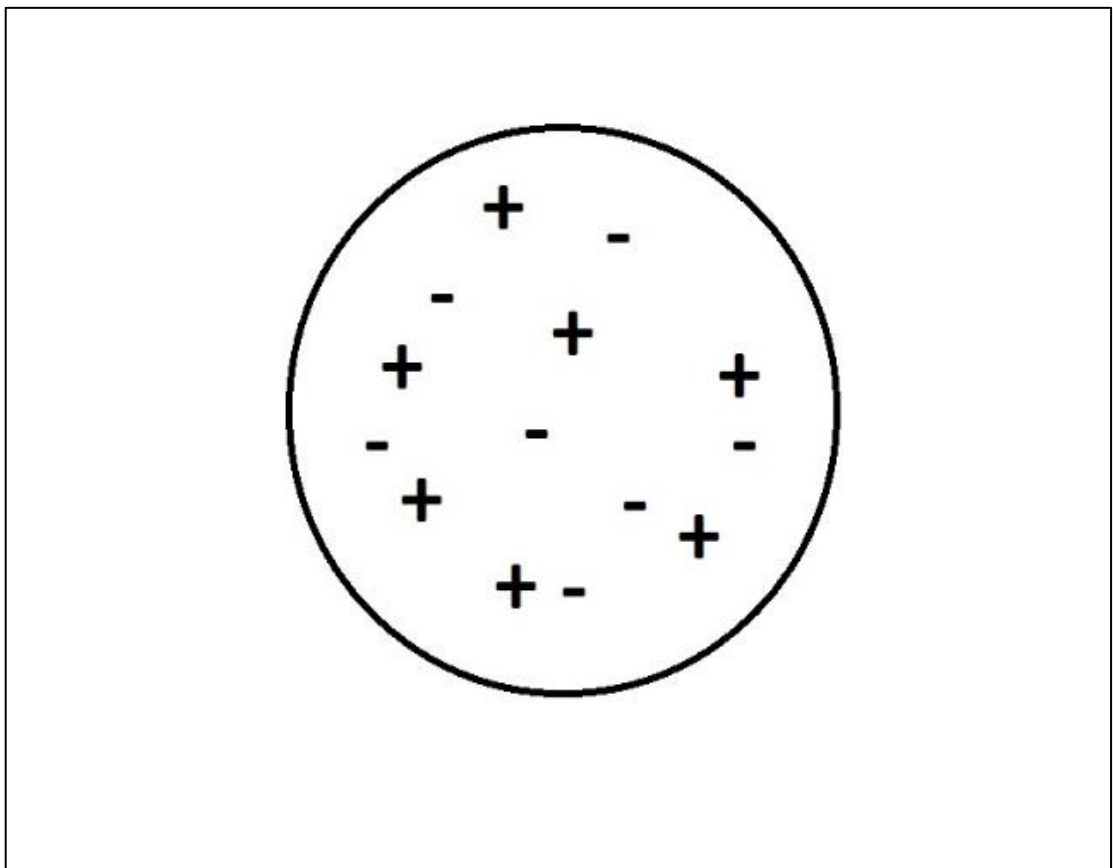
Abschließender Überblick

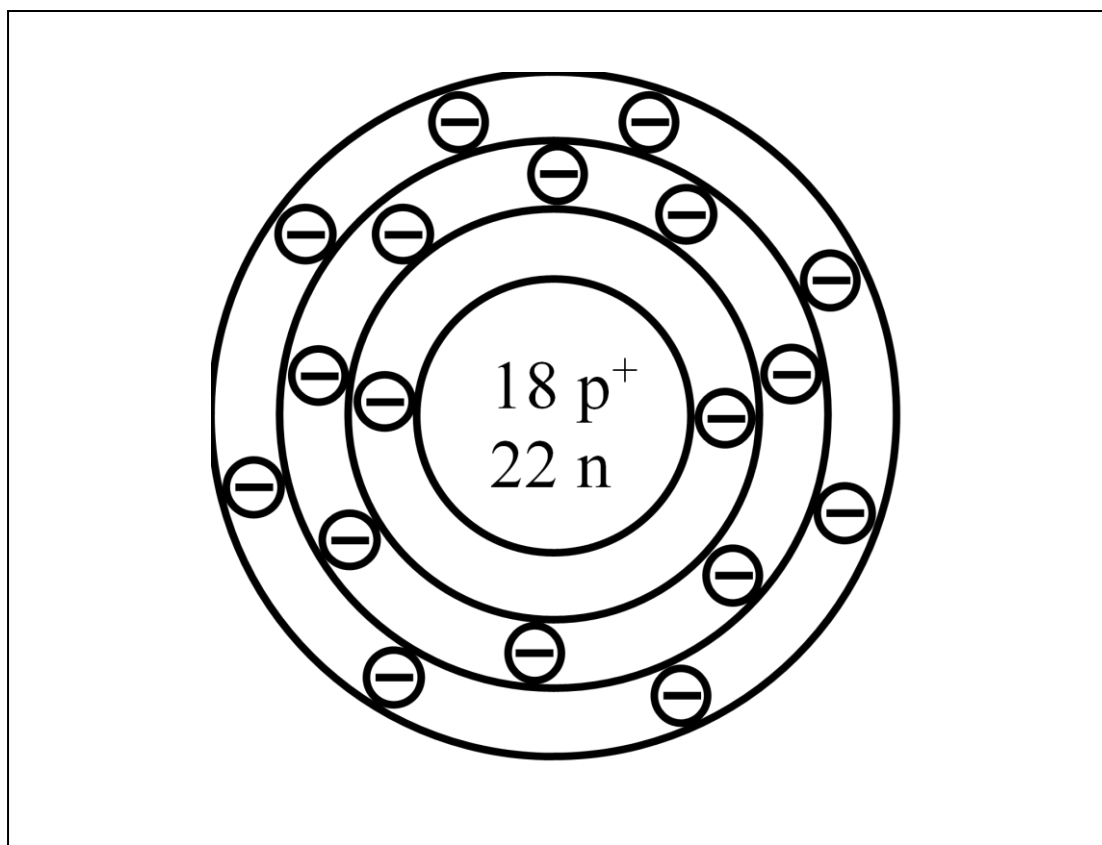
MATERIAL:	-
METHODE:	Zusammenfassung und Wiederholung
SOZIALFORM:	Plenum
ZIEL:	Die Inhalte der letzten Einheiten werden im Plenum zusammengefasst und Fragen geklärt.

Druckvorlage

(Abbildungen: eigene Darstellungen)







Anhang 6: Fragebogen Konzeptevaluierung

Fragebogen Konzeptentwurf Atommodelle

Liebe Kolleg*innen!

Im Zuge meiner Masterarbeit beschäftige ich mich mit der Modellkompetenz von Schüler*innen im Chemieanfangsunterricht. Dazu habe ich einen Konzeptentwurf zu den „Atommodelle“ für die 4. Klasse der Sekundarstufe I AHS entworfen, mit welchem das Modellverständnis der Schüler*innen gefördert werden soll. Mit diesem Fragebogen soll das Unterrichtskonzept von Expert*innen beurteilt und eingeschätzt werden. Für die erfolgreiche Teilnahme an der Umfrage, würde ich Euch bitten, vor der Teilnahme das Dokument „Unterrichtskonzept zum Atommodell“ durchzulesen, welches Du gerne behalten kannst. Die Umfrage dauert anschließend ca. 5 Minuten.

Vielen Dank für Eure Teilnahme!

Antonia Aigner

Allgemeine Daten

1. Alter: _____ 2. Geschlecht: ☐ ☐ ☐
 männlich weiblich divers
3. Anzahl der Dienstjahre: _____

Beurteilung Unterrichtskonzept

	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu
4. Das Unterrichtskonzept ist sehr klar strukturiert.	☐	☐	☐	☐
5. Die Arbeitsanweisungen und Materialien sind sehr verständlich ausgearbeitet.	☐	☐	☐	☐
6. Das Unterrichtskonzept ist der Altersgruppe sehr angepasst.	☐	☐	☐	☐
7. Das Unterrichtskonzept ist stark schüler*innenzentriert aufgebaut.	☐	☐	☐	☐
8. Das Unterrichtskonzept bedient sich einer großen Methodenvielfalt.	☐	☐	☐	☐
9. Das Unterrichtskonzept bietet den Schüler*innen ausreichend Möglichkeiten die Lerninhalte aktiv selbst zu erarbeiten.	☐	☐	☐	☐

10.	Im Unterrichtskonzept werden komplexe Sachverhalte für Schüler*innen sehr verständlich dargestellt.	☐	☐	☐	☐
11.	Das Unterrichtskonzept hat ausreichend Möglichkeiten zur Ergebnissicherung.	☐	☐	☐	☐
12.	Das Unterrichtskonzept ist sehr gut im Unterricht umsetzbar.	☐	☐	☐	☐
13.	Die Vorstellungen der Schüler*innen finden ausreichend Platz zur Diskussion im Unterrichtskonzept.	☐	☐	☐	☐
14.	Das Unterrichtskonzept fördert deutlich die Modellkompetenz.	☐	☐	☐	☐
15.	Das Unterrichtskonzept fördert sehr die Unterscheidung der Erfahrungswelt und der Modellwelt.	☐	☐	☐	☐
16.	Das Unterrichtskonzept zeigt deutlich die vielfältigen Darstellungsmöglichkeiten des Atommodells auf.	☐	☐	☐	☐
17.	Durch das Unterrichtskonzept werden die naturwissenschaftlichen Forschungsmethoden sehr gut veranschaulicht.	☐	☐	☐	☐
18.	Durch die verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten des Atommodells fördert das Unterrichtskonzept das Modellverständnis.	☐	☐	☐	☐
19.	Die Behandlung des historischen Hintergrunds von Atommodellen im Unterricht hilft sehr ein Modellverständnis aufzubauen.	☐	☐	☐	☐