

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Nutzung von Kreativität als Methode im Chemieunterricht
zur Stimulation und Visualisierung der Denkprozesse
von Schüler*innen in der Sekundarstufe I

verfasst von | submitted by

Helene Hochreiner BEd

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

Wien | Vienna, 2024

Studienkennzahl lt. Studienblatt |
Degree programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 199 500 504 02

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree pro-
gramme as it appears on the student record
sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach
Bewegung und Sport Unterrichtsfach Chemie

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Michael Alfred Anton

Zusammenfassung

Seit Beginn der 1950er Jahre gibt es Bestrebungen in der Forschung, den Begriff der *Kreativität* (Guilford, 1950) in seiner Komplexität zu beschreiben. Daraus resultiert eine Vielfalt an Veröffentlichungen, die sich in weiterer Folge auch mit der Vermittlung von Kreativität in der Schule beschäftigen. In der vorliegenden Masterarbeit wird aufgezeigt, welche wichtige Bedeutung kreative Prozesse auch in den Naturwissenschaften haben. Die Fachdisziplin *Chemie* beschäftigt sich mit vielerlei Phänomenen, deren zugrundeliegenden Wirkmechanismen für das menschliche Auge allein nicht beobachtbar sind. Dazu bedarf es einer *Entwicklung von Modellen*, um diese Vorgänge auf der *Teilchenebene* (z.B. Atome, Moleküle) erklären zu können. Dafür muss im Rahmen *kreativer Prozesse* etwas Neues geschaffen werden, um diese Vorgänge für ein breiteres Publikum zugänglich zu machen.

Um Schüler*innen die Kompetenz des problemlösungsorientierten Denkens mit Hilfe von kreativen Methoden näher zu bringen, wurde ein *Schulversuch* zur Thematik der chemischen Bindungen geplant, durchgeführt und evaluiert. Dabei wurde eruiert, inwiefern und ob die Lernenden in der Lage sind, anhand ihres Vorwissens und bestehender Vorstellungen zu Vorgängen auf der Teilchenebene den Prozess der *Modellbildung* nachvollziehen können. Sie sollten in Kleingruppen mit Süßigkeiten jeweils drei Konstrukte zu den *Stoffgruppen* der Salze, Metalle und Nichtmetalle bauen und anschließend digital mit einer passenden Beschreibung sichern.

Als Proband*innen wurden zwei Klassen ($N = 31$) der 8. Schulstufe einer AHS herangezogen. Aufgrund der kleinen Stichprobe erfolgte die Erhebung in Form einer *Triangulation*, also zusätzlich zur Ergebnissicherung der Lernenden wurden Vorher- und Nachher-Fragebögen eingesetzt. Während der praktischen Arbeitsphase wurden ergänzend Beobachtungsprotokolle angefertigt.

Bei der Analyse der Daten hat sich gezeigt, dass die Planung des Schulversuchs unter Einbeziehung intrapersonaler, physikalischer und pädagogisch-sozialer Faktoren gewinnbringend umgesetzt werden konnte. Im Fazit wird ein *Empfehlungskatalog* mit Tipps angeführt, welche bei einer erneuten Durchführung bzw. allgemein bei der Gestaltung kreativer Lernaufgaben für eine wirksame Umsetzung auf Seiten der Lernenden und Lehrenden zu berücksichtigen wären.

Abstract

Since the early 1950s, there have been efforts in research to describe the term of *creativity* (Guilford, 1956) in all its complexity. This had resulted in a variety of publications, that have subsequently also dealt with the teaching of creativity in schools. This master's thesis demonstrates the importance of creative processes in the natural sciences. The discipline of *chemistry* deals with many different phenomena whose underlying mechanisms of action cannot be observed by the human eye alone. It is therefore necessary to *develop models* to explain these processes at the *particle level* (e.g. atoms, molecules). To do this, something new must be created as part of *creative processes* in order to make these processes accessible to a wider audience.

An *experiment in the framework of real life at school* on the topic of chemical bonds was planned, carried out and evaluated in order to introduce pupils to the skills of problem-solving-oriented thinking with the help of creative methods. The aim was to determine to what extent and whether learners are able to understand the *process of modeling* based on their prior knowledge and existing ideas about processes at the particle level. In small groups, they were asked to use sweets to build three constructs each for the *material groups* of salts, metals and non-metals and then save them digitally with a suitable description.

The pupils of two classes ($n = 31$) from the 8th grade of an AHS were used as test persons. Due to the small sample size, *triangulation* was carried out in terms of a before and after questionnaire in addition to securing the pupils' results. Observation protocols were also drawn during the practical work phase.

The analysis of the data showed that the initial concept could be implemented profitably, considering various intrapersonal, physical and pedagogical-social factors. The conclusion provides a *list of recommendations* with tips that should be taken into account by both teachers and learners as a guarantee of effectiveness when carrying out creative learning tasks again or designing them in general.

Vorwort

„Wer noch nie einen Fehler gemacht hat, hat sich nie an etwas Neuem versucht!“

(Albert Einstein)

Vor zwei Jahren habe ich begonnen mich mit dem Thema *Kreativität* intensiver auseinanderzusetzen und im Zuge dessen wurde dieses Zitat zum Motto meines Daseins als Lehrende.

An dieser Stelle möchte ich mich somit bei meinem Betreuer Univ.-Prof. Dr. Michael Alfred Anton bedanken, der mir die besondere Bedeutung des Lehrberufs aufgezeigt hat. Außerdem machte er mir Mut, etwas Neues auszuprobieren und hat mich dabei stets mit wertvollen Rückmeldungen bestärkt.

Ich möchte auch meiner gesamten Familie danken, die während des Studiums stets ein offenes Ohr für meine Anliegen hatten und mich in meinen Vorhaben tatkräftig unterstützten. Dieser Dank gilt insbesondere meinen Eltern und meiner jüngeren Schwester.

Ein besonderes Dankeschön gebührt meinem Partner, der mir seit dem ersten Studententag zur Seite steht und gezeigt hat, dass das Leben nicht nur aus Studium und Arbeit besteht.

Mein Dank gilt auch meinen Studienkolleg*innen, die diese Ausbildungszeit mit wunderschönen Momenten gefüllt haben.

Auch meinen Kolleg*innen in der Schule gebührt ein großer Dank, da sie stets eine große Unterstützung waren und die Umsetzung des Schulversuchs ermöglicht haben. An dieser Stelle ist auch ein Dank meine teilnehmenden Schüler*innen zu richten.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Abstract	II
Vorwort	III
Inhaltsverzeichnis	IV
1. Einleitung	1
1.1. Persönliche Erfahrungen	1
1.2. Wahrnehmung in der Gesellschaft	2
1.3. Wissenschaftliche Aufarbeitung	5
1.4. Forschungsfrage	9
1.5. Kurzübersicht der Arbeit	9
2. Fachbegriffe und Methodik	11
2.1. Kreativität	11
2.1.1. Etymologie vom Begriff <i>Kreativität</i>	12
2.1.2. Klassifikation individueller Kreativität	13
2.1.3. Kognitive Mechanismen	15
2.1.4. Intrapersonale Faktoren	18
2.1.5. Ablaufschemata von kreativen Prozessen	20
2.2. Modelle und Modelldenken	21
2.2.1. Modelle in den Naturwissenschaften	22
2.2.2. Umgang mit Modellen im Chemieunterricht	23
2.3. Methodik der Implementierung in der Schule	25
2.3.1. Physikalische Faktoren	26
2.3.2. Pädagogisch-soziale Faktoren	28
2.4. Methodik der Evaluierung	31
2.4.1. Forschungsmethoden	32
2.4.2. Aufbau der Evaluationsinstrumente	34
2.4.3. Auswertungsmethoden	35
3. Validierung in Form eines Schulversuchs	37
3.1. Planungsphase	37
3.1.1. Kreativität im österreichischen Lehrplan	37
3.1.2. Bezug der Unterrichtseinheit zum Lehrplan	38
3.1.3. Fachspezifische Grundlagen	39
3.1.4. Organisatorische Maßnahmen	44
3.1.5. Charakterisierung der Proband*innen	57
3.2. Durchführungsphase der Unterrichtseinheit	58

3.3.	Ergebnisse	61
3.3.1.	Fragebogen (Vorher).....	61
3.3.2.	Praktische Arbeitsphase – Dokumentation	63
3.3.3.	Fragebogen (Nachher).....	78
3.4.	Diskussion	81
3.4.1.	Intrapersonale Faktoren	81
3.4.2.	Physikalische Faktoren	85
3.4.3.	Pädagogisch-soziale Faktoren	89
3.4.4.	Chemiespezifische Diskussion der Modelle	92
4.	Fazit und Ausblick	99
	Literaturverzeichnis	103
	Abkürzungsverzeichnis.....	108
	Abbildungsverzeichnis.....	109
	Tabellenverzeichnis.....	110
	Anhang	111
	Anhang A: Beschreibung der Rollen innerhalb der Gruppe	111
	Anhang B: Evaluationsinstrumente	112
	Anhang C: Beobachtungsbögen zur praktischen Arbeitsphase	117

1. Einleitung

Der Begriff *Kreativität* ist im Alltag omnipräsent und doch ist er für viele Menschen schwer zu definieren. Im Rahmen der Einführung ins Thema dieser Arbeit erfolgt eine Übersicht zu meinen persönlichen Erfahrungen mit Kreativität und der allgemeinen Wahrnehmung dieser in der Gesellschaft. Im Anschluss daran wird ein Einblick in die Vielfalt der Literatur zur Kreativitätsforschung gegeben, welche als wissenschaftliche Basis für diese Arbeit herangezogen wurde. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse hat sich die Forschungsfrage für diese Masterarbeit ergeben. Zum Abschluss erfolgt eine Kurzübersicht zu den einzelnen Kapiteln.

1.1. Persönliche Erfahrungen

Mein Umgang mit Kreativität hat sich im Laufe der Lebensjahre verändert. Nach meinem Wechsel in das Gymnasium, gelang es mir nicht, die spielerische Leichtigkeit beim Lernen in der Primarstufe (1. – 4. Schulstufe) weiterhin zu erhalten. Daher begann ich ab der 7. Schulstufe, die Inhalte in den meisten Unterrichtsfächern einfach auswendig zu lernen. Außerdem meldete ich mich im Unterricht nur, wenn ich mir bei der Antwort ganz sicher oder etwas aus dem Buch vorzulesen war. Die Angst, etwas *Falsches* zu sagen, war zu groß und in den Augen meines jüngeren Ichs das Risiko, für eine nicht erwartete Antwort gerügt zu werden, nicht wert. Diese Haltung habe ich auch vor allem bei meinen Mitschülerinnen in der Klasse beobachtet.

Mit meinem aktuellen Wissensstand kann ich sagen, dass die damalige Konzeption des Unterrichts zum Großteil auf *konvergentem Denken* beruhte, bei dem nur eine einzige Lösung für eine Fragestellung zugelassen ist. Das *Auswendiglernen* der richtigen Fakten war somit die konsequente Antwort auf diese Praxis und hat sich aus Sicht der Lernenden bewährt.

Aus meiner nun zweijährigen Erfahrung als Lehrperson kann ich nachvollziehen, weshalb der Unterricht auf diese traditionelle Weise gestaltet und durchgeführt wurde und leider auch immer noch wird. Insbesondere zu Beginn der Unterrichtstätigkeit liegt der Fokus noch sehr auf dem korrekten persönlichen Verhalten als Lehrkraft und dem Erfüllen des Lehrplans. Die Gestaltung offener Unterrichtssequenzen erfordert Mut zur Lücke, da diese unter Umständen zeitaufwändiger sein könnten und deren Ergebnisse

auch einmal nicht den damit verbundenen Erwartungen entsprechen können. Zudem könnten Lösungsvorschläge auftreten, die spontan aufgrund von fehlender fachlicher Kompetenz zu diesem Zeitpunkt nicht zufriedenstellend erklärt werden können. Dieser Umstand kann vor dem Hintergrund von zu wenig implementierter offener Fehlerkultur im Unterricht von Seiten der Lehrenden und Lernenden in einer unangenehmen Situation enden.

Zusätzlich ist unser Schulsystem auf das Erbringen von Leistungen ausgerichtet, weshalb permanent jegliche Aktivitäten der Schüler*innen im Unterricht dokumentiert werden sollten. In derartigen Situationen ist es dementsprechend schwieriger, wirksame kreative Lernprozesse zu erleben, da diese möglicherweise fehlerbehaftet sein können. In diesem Kontext ist es wichtig, den Jugendlichen Fehler als Zeichen dafür aufzuzeigen, dass etwas fehlt bzw. noch nicht ganz schlüssig ist. Daher benötigen solche Arbeitsphasen eine aktive *Trennung von Lernen und Leisten*.

Um nun die Abstraktheit der Chemie in einem kreativeren Ansatz vermitteln zu können, habe ich im Schuljahr 2023/24 an der Pädagogischen Hochschule Oberösterreich einen Hochschullehrgang mit dem Titel *flex-based learning*¹ besucht. Dabei habe ich verschiedene Methoden kennengelernt, um fachliche Inhalte problemlösungsorientiert unterrichten zu können (Haim & Aschauer, 2022). Dieser Lehrgang hat mich inspiriert, mich künftig bei der Vermittlung von Themen wie beispielsweise der chemischen Bindungen nicht nur auf Schulbücher und bereits bestehende Modelle und Modellbaukästen zu verlassen, sondern neue Wege zu beschreiten.

1.2. Wahrnehmung in der Gesellschaft

Kreativität wird im alltäglichen *Sprachgebrauch* in vielfältiger Weise nur im Kontext mit Kunst bzw. Sprache in Verbindung gebracht. Damit wird zum einen das Gemälde eines Kleinkinds beschrieben und zum anderen die sprachliche Gewandtheit, welche beim Spiel *Scrabble* gefordert wird.

Doch bevor das Wort *Kreativität* im Sprachgebrauch an Popularität gewonnen hatte, wurden im Zusammenhang mit diesem Phänomen Ausdrücke wie Genie, Talent, Erfindung, Entdeckung und Vorstellungskraft genutzt (Glăveanu & Kaufman, 2019). Um einen Einblick zu erhalten, welche Personen in der aktuellen Gesellschaft als

¹ Nähere Details unter folgendem Link: <https://www.school-creative-solutions.at/ausbildung> [Zugriff am 31. August, 2024]

kreativ gelten, haben Hutmacher und Haager (2019) eine Straßenbefragung ($N^2 = 35$) durchgeführt. Die Ergebnisse lassen sich in drei Kategorien unterteilen: *Privatpersonen*, *kreativschaffende* und *nicht-kreativschaffende* Berufe. Die erste Gruppe umfasst etwa ein Fünftel der Antworten und hat Kinder, Bekannte aus dem eigenen Umkreis oder sich selbst angegeben. Knapp über fünfzig Prozent der Befragten führten Kreativschaffende aus den Bereichen Kunst, Musik, Literatur und Film an. Die Antworten der restlichen Teilnehmenden umfasste eine Vielzahl unterschiedlicher Berufsgruppen wie Philosophen, Physiker und Trainer (Hutmacher & Haager, 2019). Dieses Verständnis zu kreativen Persönlichkeiten spiegelt sich auch in vielen Publikationen der Kreativitätsforschung wider, in denen der Fokus entweder auf „Genies“ oder auf „Alltagskreativität“ liegt. Diese Dichotomie erschwert jedoch beispielsweise die Zuordnung von, in der Forschung ebenfalls notwendigen Kreativität. Diese führt nur in wenigen Fällen zu revolutionären Erkenntnissen und kann aber oftmals auch weit über den Rahmen alltäglicher Kreativität hinausgehen.

Die zwei folgenden historischen Anekdoten zeigen überdies auf, dass für kreative Prozesse bestimmte Rahmenbedingungen förderlich sind. Der griechische Mathematiker und Physiker Archimedes soll die entscheidende Erkenntnis zu den Gesetzen des Auftriebs in der Badewanne erlangt haben und dem deutschen Chemiker August Kekulé erschien im Traum eine Schlange, die sich in den eigenen Schwanz biss, wodurch er die chemische Struktur der Verbindung *Benzen* entschlüsselt hat. Diese *spontanen Eingebungen* passieren nicht zufällig, sondern sind das Ergebnis einer intensiven vorangegangenen Auseinandersetzung mit einer Thematik und einer anschließenden, erholenden Denkpause.

Der bisherige Verlauf der Menschheitsgeschichte hat gezeigt, dass mit standardisierten Denkmustern oftmals keine bahnbrechenden Lösungen erreicht werden, sondern kreative Ansätze für das Erlangen neuer Erkenntnisse gebraucht werden. Mit neuem Wissen geht gleichzeitig auch Verantwortung einher. Es entstehen zudem Neider sowie Konkurrenzkämpfe. Außerdem stehen kreative Personen bis heute oft vor dem Vorurteil, sich dem Zeitgeist und der Gesellschaft widersetzen zu wollen (Sternberg, 2018). Neue Erkenntnisse stehen zuweilen auch im Konflikt mit bisherigen Traditionen oder den Interessen einflussreicher Führungskräfte, weshalb Forschende

² N = Stichprobengröße

als verrückt dargestellt, eingesperrt oder zum Schweigen gebracht werden. Auf diese Weise kann die natürliche Neugierde der Menschen innerhalb kürzester Zeit in Angst umschwenken, weshalb die öffentliche Meinung Neuem und den damit einhergehenden Veränderungen in vielen Fällen vorzeitig ablehnend gegenübersteht (Weiner, 2000).

Eine weitere Hürde kann auch die *Auseinandersetzung mit sich selbst und den eigenen Überzeugungen* aus früheren Zeiten darstellen, da diese im Rahmen kreativer Prozesse ein Hindernis darstellen können und somit das Schaffen von Neuartigem verhindern (Sternberg, 2018).

Wie sieht in unserer Zeit das Verständnis für den Zusammenhang von *Kreativität* und *Naturwissenschaften* aus? Im Rahmen einer Studie an der Universität Köln (Bliersbach, 2017) wurden angehende Chemielehrkräfte zu ihren Vorstellungen über die Bedeutung von Kreativität in dieser Wissenschaftsdisziplin befragt. Dabei haben mindestens drei Viertel der Studierenden Kreativität als nicht essenziell für die Chemie angegeben. Außerdem sehen manche im kreativen Zugang sogar das komplette Gegenteil zur angeblich rein systematisch aufgebauten, objektiven Naturwissenschaft. Diese Ergebnisse demonstrieren, dass in den Schulen kreative Unterrichtsmethoden und das Potential von Kreativität bisher kaum aktiv besprochen wurde. Dieser Umstand muss insbesondere im Hinblick auf die Phase der *Berufswahl* geändert werden, damit trotz aktuell vorherrschendem Verständnis auch kreative Jugendliche eine berufliche Zukunft im Bereich der Chemie sehen. Diese Studie deckt somit einen dringenden Handlungsbedarf auf, die für wissenschaftliche Forschungsaktivitäten unbedingt erforderliche Kreativität aktiv in der Ausbildung von Chemielehrenden zu verankern (Bliersbach, 2017).

Offensichtlich nicht wahrgenommen wird die *inhaltliche Parallelität* von *Kunst* und *Chemie* auf den Ebenen der Stoffe (Farben versus chemische Elemente) und der Ergebnisse (Kunstwerk versus chemische Verbindungen bzw. fertige Werkstoffe). Die Kunstschaffenden stehen auf derselben Ebene wie die Chemiker*innen. Beide sollen neuartige Produkte kreieren, die der Menschheit dienen bzw. sie erfreuen. Die Künstler*innen haben jedoch den Vorteil, dass deren Komponenten (Farben) und Ergebnisse (Bilder) für jeden immer sichtbar sind mit Ausnahmen wie vorliegender Farbenblindheit. Die Forschenden hingegen versuchen Stoffe zu verändern, deren

Bestandteile für das freie Auge nicht sichtbar sind. Diese Arbeitsweise erfordert das Vorhandensein und Verständnis für Modelle, um die internen Zusammenhänge sichtbar zu machen!

1.3. Wissenschaftliche Aufarbeitung

Im Kontext der Themenstellung dieser wissenschaftlichen Arbeit wurde Literatur zu folgenden Aspekten gesucht und gefunden.

Der erste Schwerpunkt liegt auf dem Thema *Kreativität*. Sie ist im Alltag und in der Forschung präsent und historisch in Bezug auf den Ursprungsort der Entstehung und der ausführenden Zielgruppe gewachsen. Die Definitionsversuche dazu fokussieren sich auf spezifische Aspekte von Kreativität, doch alle erheben den Anspruch auf das Erschaffen von etwas Neuartigem und Funktionellem (z.B. Maier, Möhrle, & Specht, 2018; Plucker, Beghetto, & Dow, 2004). Rhodes (1961) formulierte eine Unterteilung in *Four P's of Creativity*, welche Bliersbach (2017) ausformulierte und als Ausgangspunkt für diese Arbeit herangezogen wurde. Glăveanu (2013) entwickelte dieses Konzept zu den *Five A's (actor, action, artifact, audience, affordance)* weiter. Beghetto und Kaufman (2007a) kategorisieren die Ausprägungsform von Kreativität bei Personen anhand der *Four C theory*, um der oftmals vorherrschenden Dichotomie von Genie und Alltagskreativität entgegenzuwirken.

Kreative Prozesse erfordern überdies eine enorme Denkleistung, bei welcher die trainierbaren exekutiven Funktionen *Inhibition*, *Arbeitsgedächtnis* und *kognitive Flexibilität* eine entscheidende Rolle spielen (Diamond, 2013). In der Studie von Moffitt et al. (2011) zeigten Erwachsene etwa eine bessere körperliche und mentale Gesundheit und einen höheren Ausbildungsgrad auf, wenn sie im Alter zwischen drei und elf Jahren bereits eine gute Inhibitionskontrolle gegenüber Ablenkungen gezeigt haben.

Basierend auf der Annahme von Guilford (1950), dass jede Person ein kreatives Potential besitzt, wurde in der Literatur (z.B. bei Csikszentmihalyi, 2010) oftmals versucht, typische Charaktereigenschaften der *einen* kreativen Person zu identifizieren, die es jedoch nicht gibt (Hutmacher & Haager, 2019). Amabile (1998) führt daher als grundlegende Einflussfaktoren für die Kreativität einer Person eine *domänenspezifische Expertise*, *kreativitätsrelevante Prozesse* und *Motivation* an, welche per se keine

Beschränkung auf konkrete Charaktereigenschaften erfordern. Weitere zu berücksichtigende Konzepte im Rahmen dieser Thematik sind die *Selbstbestimmungstheorie* (Deci & Ryan, 1993) und das *Mindset* von Lernenden (Dweck, 2017). Nachdem die Beschreibung der Phasen zwei und drei im *Vier-Phasen-Modell* von Wallas (1926) zum kreativen Prozess in ihrer Beschreibung von außen nicht beeinflussbar erscheinen, wurde dieses Modell zum Teil um andere kontrollierbarere Phasen erweitert oder umbenannt (z.B. *Creative Problem Solving* von Treffinger, Isaksen, & Stead-Dorval, 2021). Amabile und Pratt (2016) haben das *Vier-Phasen-Modell* ebenfalls modifiziert und in Kombination mit der Komponententheorie von Amabile (1998) und neueren Erkenntnissen aus der Kreativitätsforschung zu einem dynamischen Modell erweitert. In all diesen Phasen braucht es für das Generieren neuartiger Ideen sowohl *divergentes Denken* als auch für die Beurteilung dieser *konvergentes Denken*.

Ein weiterer Themenkreis umfasst die Thematik der Modelle und den Prozess der Modellbildung. Stachowiak (1973) beschreibt in seiner *Allgemeinen Modelltheorie* die Funktionen von Modellen in Form von drei charakteristischen Merkmalen. Diese wurden von Van Driel und Verloop (1999) um zwei weitere Aufgabenbereiche ergänzt. Trotz dieser vielfältigen Funktionen von Modellen besteht bis zum Chemiestudium und teilweise auch noch während der Ausübung als Chemielehrkraft die Vorstellung, dass diese nur die Aufgabe einer Abbildung der Realität erfüllen (De Jong, van Driel, & Verloop, 2005; van Driel & Verloop, 1999). Bei der Bildung von Modellen spielen gemäß van Driel und Verloop (1999) *Kreativität* und *Kommunikation* eine bedeutende Rolle, denn sie sind das Resultat von sozialen Gedankenaustauschen unter stimulierenden Rahmenbedingungen.

Für die Vermittlung müssen wissenschaftliche Modelle oftmals didaktisch transformiert werden, weshalb in der Literatur (Justi & Gilbert, 2002; De Jong & Taber, 2007; Taber, 2008) eine weitere Unterteilung in curriculare, Lehr- und gelernte Modelle erfolgt. Die Denkweise in der Chemie ist gemäß Eilks und Bindernagel (2008) eng mit der Handhabung von Modellen und den bereits in der Praxis bewährten *Abstrahierungsmodellen* von Johnstone (2000) und Mahaffy (2004) verknüpft. Ein weiterer Fokus im Unterricht sollte gemäß Barke (2006) und Reiners (2022) auch auf den bereits aus dem Alltag vorhandenen und jenen im Unterricht neu erworbenen Vorstellungen der

Schüler*innen liegen. Diese sollen den Lernenden aufzeigen, dass diverse chemische Konzepte in bestimmten Kontexten passender sind als ihre bisherigen Präkonzepte. Die Vermittlung kann insgesamt durch die Nutzung angemessener Lehr- und Lernmaterialien und dem konsequenten Gebrauch einer geeigneten Fachsprache unterstützt werden.

Der letzte Themenschwerpunkt der Literaturrecherche bezieht sich auf die Implementierung von Kreativität in der Schule und dafür förderliche Rahmenbedingungen. Je nach Wirkungsbereich werden mit dem kreativen Schaffensprozess und den Endprodukten unterschiedliche Ziele verfolgt. Für die Durchführung kreativer Lernprozesse ist essenziell, auch die räumlichen und zeitlichen Rahmenbedingungen miteinzubeziehen. Das Aufbrechen gewohnter linearer Anordnungen von Möbeln (Davies, et al., 2013) wird auch in weltweit bekannten Unternehmen aus der Wirtschaft genutzt, um die Mitarbeitenden für kreative Ideen inspirieren zu können (Haager, 2019)³. Um einen *flow*-Zustand (Csikszentmihalyi, 1991) erreichen zu können, müssen die Lernenden wissen, wie sie sich ihre Zeit im Lernprozess einteilen, um zielführende Ergebnisse zu erhalten (Hany, 1993). Dazu zählen auch die selbstbestimmte Nutzung von Pausen (Beeftink, van Eerde, & Rutte, 2008), angemessene Aufgaben der Lehrenden und ein leistungsfähiger Körper und Geist.

Insbesondere bei kreativen Lernprozessen kann die Einstellung der Lehrperson gegenüber Kreativität für den Ausgang der Ergebnisse entscheidend sein, da damit die Arbeitsatmosphäre im Klassenraum aktiv beeinflusst wird (Hong, Hartzell, & Greene, 2009). Außerdem ist für kreative Denkprozesse gemäß dem Zitat “before you can think out of the box, you have to start with a box⁴ ” (Tharp, 2006, S. 78-79) eine gute Basis an fachlichem Wissen essenziell. Doch diese Inhalte sollten auch verstanden und beispielsweise für das Lösen von Problemstellungen angewendet werden können. Diese Voraussetzungen werden im Begriff des *vollständigen Wissens* (Neber, 1993) vereint, welches sich aus Fakten und Wissen zu den Konditionen und Funktionen eines Objektes zusammensetzt, und somit für kreative Ideen genutzt werden kann.

³ Beispiele: Skateboard-Rampe im RedBull Center in Santa Monica, Rutsche im Google Unternehmen in Zürich

⁴ Übersetzung: „Bevor man über den Tellerrand hinausschauen kann, muss man mit einer Box beginnen.“

Diese Wissensnutzung kann gemäß Neber (1993) *situativ*, bei *kooperativen Aktivitäten* und beim *entdeckenden Lernen* gefördert werden. Insbesondere bei letzterem tritt das *aktive Fragestellen* in den Fokus, bei dem *wissensgenerierende* und *prozessregulierende Fragen* entwickelt werden (Neber & Anton, 2008). In diesem Zusammenhang sind auch die Lerntheorie des *Konstruktivismus* und *metakognitive* Lernstrategien von großer Bedeutung (Anton, 2019; Rickey & Stacy, 2000). Hierbei wird betont, dass die Lernumgebung *kognitiv aktivierend* (Streller et al., 2019) sein sollte, die Schüler*innen aus ihren Komfortzonen gelockt (Diamond, 2013) und *kognitive Konflikte* in ihnen ausgelöst werden müssen (Streller et al., 2019). Je nach Wissensstand der Lernenden können die Hilfestellungen der Lehrenden verringert werden (z.B. Blanchard, et al., 2010), bis diese ihnen im Lernprozess nur noch *ko-konstruktiv* zur Seite stehen. Außerdem kann regelmäßiges Feedback unterstützend wirken (Amabile & Pratt, 2016) und den Schüler*innen kann rückgemeldet werden, in welchen Situationen Kreativität passend bzw. unpassend ist (Beghetto & Kaufman, 2014).

Durch diese aktive und idealerweise an das Können der Lernenden angepasste Unterstützung werden bzw. können reaktive und spontane Formen von Kreativität (Neber, 1993) gefördert werden, die eine Grundlage für lebenslanges Lernen schaffen. Die Schüler*innen müssen auf eine zielführende Bearbeitung von aktuell noch nicht existenten bzw. vorhersehbaren Problemstellungen und jene Probleme, die mit aktuellen Ressourcen und Denkmustern (noch) nicht gelöst werden können, vorbereitet werden. Dazu kommt die Förderung von interdisziplinären Ansätzen und die Zusammenarbeit mit anderen, welche aufgrund des zunehmend komplexeren Wissens in Zukunft essenziell sein werden.

Aus diesen Überlegungen heraus entstand im amerikanischen Raum das *4K-Modell* (Greenhill, 2010), welches vier Kompetenzen beschreibt, die für Kinder und Jugendliche im 21. Jahrhundert unabdingbar sind: *Kommunikation*, *Kollaboration*, *Kreativität* und *Kritisches Denken*. Mit der Überarbeitung der Lehrpläne (2023) halten diese *21st Century Skills* auch Einzug in die Leitvorstellungen der allgemeinen Bildungsziele. Damit soll nun der Vermittlungsschwerpunkt in den österreichischen Schulen sowohl auf kognitiven, aber auch auf emotionalen und sozialen Aspekten liegen.

Bei der Vermittlung von Kreativität handelt es sich demzufolge um ein sehr anspruchsvolles und zeitaufwändiges Vorhaben, bei welchem mehrere Faktoren berücksichtigt

und beeinflusst werden können. Dabei müssen Lehrkräfte bedenken, dass manche Aspekte die Kreativität fördern, aber auch unterdrücken können. Ebenso kann dieselbe Lernumgebung von den Schüler*innen jeweils unterschiedlich erlebt werden. Somit können die besten Absichten von Lehrenden, die Lernenden zu motivieren, auch zu unerwarteten negativen Ergebnissen führen. Daher sollten Lehrpersonen verschiedene Kombinationen von Möglichkeiten unter Berücksichtigung der jeweiligen Zielgruppe und des Themas ausprobieren (Beghetto & Kaufman, 2014).

1.4. Forschungsfrage

Daraus ergibt sich nachstehend formulierte Forschungsfrage für diese wissenschaftliche Arbeit: *Unter welchen Bedingungen kann Kreativität im Chemieunterricht zur Stimulation und Visualisierung der Modelle der drei chemischen Bindungstypologien für Schüler*innen in der Sekundarstufe I gewinnbringend eingesetzt werden?*

1.5. Kurzübersicht der Arbeit

In Kapitel zwei erfolgt eine Literaturlaufarbeitung zu den Themen Kreativität, Modelle und Modelldenken und der Implementierung dieser in der Schule. Des Weiteren wird die Methodik der Evaluierung im Kontext von Forschungsmethoden, Untersuchungsinstrumenten und Auswertungsmethoden erläutert.

Kapitel drei enthält Informationen zur Anwendung der Inhalte aus der Literatur in Form eines Schulversuchs. Inhalt dieses Abschnittes sind eine Aufarbeitung der Planungsphase, der tatsächlichen Durchführungsphase sowie die Ergebnisse der Evaluationsinstrumente und deren Diskussion.

Zum Abschluss folgt in Kapitel vier ein Fazit in Form eines Empfehlungskatalogs und ein kurzer Ausblick für künftige Umsetzungen dieser Art.

2. Fachbegriffe und Methodik

Um die Zielsetzungen, Inhalte und den Umgang mit den Ergebnissen des durchgeführten Schulversuchs leichter verstehen und kommunizieren zu können, werden zu den Kernthemen dieser Arbeit vorab Definitionen und Erkenntnisse aus wissenschaftlichen Aktivitäten vorangestellt. In den folgenden Abschnitten werden allerdings nur für diese wissenschaftliche Arbeit wichtigen Theorien aufgegriffen. Sowohl die Bedeutung des für den Chemieunterricht unverzichtbaren Werkzeugs *Modellbildung* als auch die Rahmenbedingungen für die Implementierung dieser Methodik werden aufgezeigt. Die Effizienz möglicher Evaluationsinstrumente wird analysiert, um die Validierung in Form eines Schulversuchs besser darstellen zu können.

2.1. Kreativität

Zur Thematik der Kreativität existieren viele Theorien, die sich auf unterschiedliche Aspekte dieses Phänomens beziehen. Manche sind lediglich theoretische Konstrukte, die bis dato nur begrenzt empirisch verifiziert werden konnten, da die Messbarkeit von Kreativität ein komplexes Unterfangen ist. Außerdem existieren viele Mythen, Fehlvorstellungen und offene Fragen zu dieser Thematik, wodurch zum Teil auch von einer gezielten Förderung in Bildungseinrichtungen abgesehen wird.

„Das ist eine sehr kreative Idee von dir!“

„Wir zeigen Ihnen, wie Sie ihr Kreativitätspotential voll entfalten können!“

„Ich möchte gerne wieder ein bisschen Zeit für kreatives Arbeiten haben.“

Mit diesen Aussagen wird beispielhaft aufgezeigt, wie der Begriff *Kreativität* bzw. das Adjektiv *kreativ* heute im Alltag verwendet werden. Jene Slogans suggerieren, dass jedem Menschen das Potential für das Erbringen von kreativen Leistungen innewohnt. Diese Auffassung hat sich jedoch erst im Verlauf der letzten hundert Jahren im Denken der Menschen verfestigt. Gemäß Glăveanu und Kaufman (2019) ist eine intensivere Auseinandersetzung mit der Etymologie dieses Begriffes erforderlich, um ein tieferes Verständnis für seine Bedeutung zu entwickeln. In Abhängigkeit von wirtschaftlichen, politischen und sozialen Rahmenbedingungen wurden damit unterschiedliche Bedeutungen assoziiert.

2.1.1. Etymologie vom Begriff *Kreativität*

Der Begriff Kreativität lässt sich vom lateinischen Verb *creare* ableiten, welches mit erschaffen oder hervorbringen übersetzt wird (Stowasser, Petschenig, & Skutsch, 2012). Das Nomen selbst gelangte über das englische Wort „creativity“ (Guilford, 1950) in den deutschen Sprachgebrauch.

Beim Vergleich von vierzig Definitionen zu *Kreativität* und sechzehn zu *Imagination* erkannte Rhodes (1961) mehrere Überschneidungen und Verknüpfungen zwischen diesen beiden Begriffen. Daraus entstanden vier Aspekte, die als *Four P's of creativity* (*persons, process, press, products*) in der Kreativitätsforschung bekannt wurden. Im deutschen Sprachraum spricht man dabei auch von der **kreativen Person**, dem **kreativen Prozess**, dem **kreativen Rahmen** und dem **kreativen Produkt**. Bliersbach (2017) formulierte unter Bezugnahme auf diese vier Teilaspekte der Kreativität folgende Definition: „Kreativität beschreibt **das in jedem Menschen innewohnende Potenzial**, **mithilfe von verschiedenen metakognitiven Strategien, die vor allem auf dem Ausbrechen aus bekannten Strukturen und der Rekombination von Wissen beruhen**, **etwas für dessen jeweiliges Umfeld gleichsam Neues und Relevantes zu erschaffen**“ (Bliersbach, 2017, S. 7). Mit dieser Beschreibung werden bereits viele Aspekte dieses Forschungsbereiches abgedeckt und ermöglichen es jeder Person eine Idee davon zu bekommen, in welchen Bereichen Interventionen für die Förderung von Kreativität anzusetzen sind.

Gemäß dem Gabler Wirtschaftslexikon bezeichnet Kreativität „[...] **die Fähigkeit eines Individuums oder einer Gruppe, in phantasievoller [sic!] und gestaltender Weise zu denken und zu handeln**. [...] Kennzeichnend für **kreative Produkte** ist, dass sie **gleichzeitig neu und angemessen, nützlich oder wertvoll für die Lösung eines Problems sind**“ (Maier, Möhrle, & Specht, 2018). Auch hier erfolgt in der Originalversion ein Verweis auf die vier P's von Rhodes (1961).

Eine weitere, umfassendere Definition zu Kreativität lautet: „Creativity is the **interaction among aptitude, process, and environment** by which **an individual or group produces a perceptible product that is both novel and useful as defined within a social context**“⁵ (Plucker, Beghetto, & Dow, 2004, S. 90). Mit *Eignung* sind hier dynamische

⁵ Übersetzung: Kreativität ist die Wechselwirkung zwischen Eignung, Prozess und Umfeld, durch die ein Individuum oder eine Gruppe ein wahrnehmbares Produkt hervorbringt, das sowohl neuartig als auch nützlich ist und in einem sozialen Kontext definiert wird.

Fähigkeiten, Einstellung und Motivation gemeint. Beide Definitionen beziehen auch Gruppen und die Bedeutung des sozialen Kontextes mit ein, welcher darüber bestimmt, ob ein Produkt neuartig und nützlich ist.

Zusammenfassend ergibt sich, dass Kreativität bedeutet etwas Neuartiges und für die Aufgabenstellung Funktionelles bzw. Angemessenes zu kreieren. In den Naturwissenschaften handelt es sich dabei beispielsweise um neue Hypothesen, Modelle oder experimentelle Vorgehensweisen für den jeweiligen Forschungsbereich, die in Form einer Publikation oder einem Produkt auf dem Markt veröffentlicht werden.

2.1.2. Klassifikation individueller Kreativität

Um ein besseres Verständnis für Kreativität in verschiedenen Wirkungsbereichen zu entwickeln, wurde in Tabelle 1 eine Übersicht für eine Klassifikation von grundlegenden und zusätzlich förderlichen persönlichen Voraussetzungen für Kreativität bei besonderen Leistungsträger*innen (Genies) in der naturwissenschaftlichen Forschung und im MINT-Unterricht erstellt. Auf diese wird in den folgenden Abschnitten näher eingegangen.

Tabelle 1 Klassifikation von Kreativität in verschiedenen Wirkungsbereichen

Kriterien	„Genies“	NAWI-Forschung	MINT-Unterricht
Ausprägungsform ⁶	<i>BIG-C</i>	<i>PRO-C</i>	<i>LITTLE-C</i> und <i>MINI-C</i>
Belohnung	Öffentliches Ansehen, Auszeichnung	Aufstiegchancen, Finanzielle Entlohnung, Auszeichnungen	Noten, Aha-Erlebnisse, Wissensgenese, Berufsorientierung, Interesse, Selbstwirksamkeit
Motivation	<u>intrinsisch</u> und <u>extrinsisch</u>	intrinsisch und extrinsisch	intrinsisch und <u>extrinsisch</u>
Vorwissen	heterogen	Fachspezifische Ausbildung, Arbeitserfahrung	Fächerkanon der Schule, individuelle Interessen

Das *Four C* – Modell⁷ von Kaufmann und Beghetto (2009) beschreibt vier Ausprägungsformen von Kreativität:

- Mit der *BIG-C* werden revolutionäre Ideen oder Produkte wie beispielsweise die Relativitätstheorie von Albert Einstein beschrieben (Kaufman & Beghetto,

⁶ Vgl. Kaufman & Beghetto, 2009

⁷ C ... creativity

2009). Die Belohnung dafür zeigt sich meist in Form von öffentlichem Ansehen oder Auszeichnungen. Bei manchen Personen tritt dies jedoch erst posthum ein, da ihre Arbeit nicht gewürdigt wurde oder ihrer Zeit voraus war (Kaufman & Beghetto, 2009).

- Die *PRO-C* beschreibt die Professionalisierung einer Person, die sie sich in Form einer akademischen Laufbahn oder einer Meisterausbildung und anschließendem Sammeln von Praxiserfahrung oder durch selbstständiges kreatives Arbeiten mit oder ohne unterstützender Personen angeeignet hat. Dieses Level an Expertise reicht jedoch noch nicht für einen *BIG-C* Status aus (Kaufman & Beghetto, 2009). Gemäß der Theorie von Sternberg, Kaufman und Pretz (2002) können solche Produkte im einfachsten Fall eine Neuauflage von etwas bereits Bestehendem oder die Aufarbeitung aus einer anderen Perspektive sein. Es kann sich dabei beispielsweise aber auch um die komplette Neuausrichtung oder einer bisher nicht denkbaren Kombination von zwei Disziplinen handeln (Sternberg, Kaufman, & Pretz, 2002). Diese Art von Kreativität ist auch in der naturwissenschaftlichen Forschung zu finden und wird mit Aufstiegschancen auf der Karriereleiter, finanzieller Entlohnung und Auszeichnungen verbunden.
- Mit der *LITTLE-C* wird das Auftreten von kreativen Handlungen im Alltag beschrieben, die kein Expertenwissen erfordern. Diese Aktionen sollten in der Schule, am Arbeitsplatz, zu Hause und im sozialen Umfeld identifiziert und entsprechend gefördert werden. Ein Beispiel dafür ist die Neuinterpretation eines bekannten Kochrezepts, welches im Anschluss von Freunden gelobt wird. Für dieses Produkt ist somit kein allzu großer Aufwand erforderlich und erhält unmittelbares Feedback von Bekannten oder im schulischen Kontext von Mitschüler*innen oder Lehrpersonen (Kaufman & Beghetto, 2009).
- Die *MINI-C* bezieht sich auf persönliche, kreative Einsichten und Interpretationen beim Kennenlernen neuer Konzepte oder der Bildung von Metaphern im Lernprozess. Dies kann zum Beispiel das Erkennen der Funktionen chemischer Formeln sein, welche im Anschluss für das Lösen einer Aufgabe genutzt werden. Der Fokus liegt somit auf der dynamischen Konstruktion des subjektiven Wissens in einem konkreten soziokulturellen Rahmen. Bei dieser Ausprägungsform werden auch noch nicht ausgereifte kreative Einsichten von Lernenden

anerkannt oder jene, die aufgrund von fehlendem Wissen und Erfahrung noch nicht entsprechend kommuniziert werden können. Auf diese Weise kann ein besseres Verständnis vom Entstehungs- und Weiterentwicklungsprozess der kreativen Produkte erlangt werden, wodurch introvertierte Lernende weniger leicht übersehen und stattdessen bestärkt und aktiv gefördert werden können (Kaufman & Beghetto, 2009).

Im MINT-Unterricht werden vorrangig *LITTLE*- und *MINI-C* beobachtet. Die nach außen sichtbare Entlohnung für die Mitarbeit bei kreativen Aufgaben geschieht in der Schule in Form von Noten. Bei den Lernenden zeigen sich während dem Prozess Aha-Erlebnisse, die zu einer Wissensgenese führen. Das dabei potenziell erlangte Interesse für die Thematik selbst oder für die damit verbundenen Denk- und Arbeitsprozesse kann relevant für die Berufsorientierung sein. Außerdem entwickeln manche Schüler*innen dabei eine positive Selbstwirksamkeitsüberzeugung, dank der sie selbst überzeugt sind, auch herausfordernde Aufgabenstellungen meistern zu können. In der Schule darf daher nicht nur zwischen *BIG*- und *LITTLE-C* unterschieden, sondern es müssen auch die anderen Ausprägungsformen berücksichtigt werden (Kaufman & Beghetto, 2009).

Die Zuordnungen in der Tabelle 1 zu den drei Bereichen trifft auf den Großteil kreativer Personen zu. Viele davon bleiben lebenslang im Bereich der *MINI*- oder *LITTLE-C* und streben gar keine höhere Form wie beispielsweise die *PRO-C* an. Nichtsdestotrotz gibt es auch hier Ausnahmetalente, die entweder eine Ebene überspringen oder bereits in jungen Jahren mit wenig Aufwand eine professionelle Kreativität erreichen.

Inzwischen gibt es Methoden und Tests zur Messung von Kreativität, um sie gezielter fördern zu können (Kaufman & Beghetto, 2009). Eine genauere Beschreibung dieser Erkenntnisse würde jedoch den Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit sprengen, weshalb hier darauf verzichtet wurde.

2.1.3. Kognitive Mechanismen

Als Grundlage für kreatives Denken werden kognitive Mechanismen zur Aufnahme, Verarbeitung, Speicherung und Beurteilung von Informationen herangezogen. Diese sind auch unter dem Sammelbegriff der *exekutiven Funktionen* bekannt und kommen in Alltagssituationen dann zum Einsatz, wenn ein bereits automatisiertes Vorgehen

oder das Vertrauen auf den Instinkt für die Lösung einer Aufgabenstellung nicht zielführend ist (Goschke, 2017). In dieser Arbeit liegt der Fokus auf der *Inhibition*, dem *Arbeitsgedächtnis* und der *kognitiven Flexibilität*, die als Fundament für weitere übergeordnete, exekutive Funktionen wie logisches Denken, Problemlösen und Planen angesehen werden können (Diamond, 2013; Miyake, et al., 2000).

Bei der *Inhibition* steht die „Reizunterdrückung“ (Bellebaum, Thoma, & Daum, 2012, S. 72) im Vordergrund, bei welcher die Aufmerksamkeit auf die eine, im Moment angebrachte oder notwendige Tätigkeit gerichtet wird. Die Inhibitionskontrolle ermöglicht somit auf der kognitiven Ebene eine Verdrängung unerwünschter Gedanken und Erinnerungen und eine selektive Aufmerksamkeit für das Ausblenden ablenkender Subjekte oder Objekte. Zusätzlich werden die eigenen Emotionen und das Verhalten so diszipliniert und kontrolliert, um sich dem inneren Verlangen widersetzen zu können, anderen, interessanteren oder entspannenderen Tätigkeiten nachzugehen. Dazu gehört auch die Selbstbeherrschung, nicht alles laut auszusprechen, was einem in den Sinn kommt. Diese Fähig- bzw. Fertigkeit ist bei jeder Person unterschiedlich stark ausgeprägt und es kann auch passieren, dass manche, für eine Tätigkeit relevanten Inhalte, absichtlich oder unabsichtlich ausgeblendet werden (Diamond, 2013). In der Schule müssen beispielsweise Schüler*innen meist dem Drang widerstehen, während der Stunde unaufgefordert aufzustehen oder mit dem Sitznachbar zu flüstern (Rauch, 2022).

Im *Arbeitsgedächtnis* werden ständig neue Informationen aufgenommen, zwischengespeichert und mit bereits vorhandenen Inhalten abgeglichen (Bellebaum, Thoma, & Daum, 2012). Morris und Jones (1990) bezeichnen diese Vorgänge als Aktualisierungsfunktion („Updating function“), bei welcher die aufgenommenen Informationen hinsichtlich ihrer Bedeutsamkeit für die aktuelle Aufgabe überprüft und kodiert werden. Anschließend werden die darin gespeicherten Inhalte überarbeitet und alte, nunmehr irrelevante Informationen durch neue, aktuell bedeutsamere ersetzt. Dies impliziert eine aktive Manipulation der für die Aufgabe relevanten Informationen und ist abzugrenzen von der Vorstellung einer reinen passiven Speicherfunktion des Arbeitsgedächtnisses (Morris & Jones, 1990). Dazu zählt zum Beispiel das Erkennen von Verbindungen zwischen scheinbar nicht zusammenhängenden Inhalten oder eine

neuartige, bisher unkonventionelle Rekombination dieser, was für kreative Prozesse unabdingbar ist (Diamond, 2013).

Die *kognitive Flexibilität* ermöglicht, den Aufmerksamkeitsfokus schnell und geschickt zwischen unterschiedlichen Aufgabenstellungen zu verlagern und sich an verändernde Bedingungen anzupassen (Bellebaum, Thoma, & Daum, 2012). Gemäß Davidson et al. (2006) entwickeln Kinder und Jugendliche diese exekutive Funktion erst spät, womit entwicklungspsychologisch vorerst nur auf Inhibition und Arbeitsgedächtnis aufgebaut wird. Die Durchführung eines interpersonellen oder örtlichen Perspektivenwechselns erfordert die Deaktivierung vorangegangener Sichtweisen und die Versorgung des Arbeitsgedächtnisses mit neuen Informationen (Diamond, 2013). Dies ist auch essenziell für kreatives Arbeiten und tritt im Alltag oft mit der Aufforderung „think outside the box“ (Diamond, 2013, S. 149) auf.

Diese exekutive Funktion kann unter anderem mit Wortflüssigkeitstests (engl. *verbal fluency tests*) gemessen werden, bei welchen beispielhaft möglichst viele Begriffe mit dem Anfangsbuchstaben H notiert werden sollen (Diamond, 2013; Bellebaum, Thoma, & Daum, 2012; Guilford, 1956). Während Diamond (2013) diese Art von Tests für die kognitive Flexibilität nutzt, führen Bellebaum, Thoma & Daum (2012) diese unter der Bezeichnung *divergentes Denken* als eigene exekutive Funktion an. Guilford (1956; 1957) beschreibt damit eine Form des Denkens, bei welcher für die Lösung einer Aufgabenstellung eine Vielzahl an Antworten aus möglichst vielen verschiedenen Wissensgebieten gefunden werden sollen. Im Prinzip gibt es hier keine eindeutige Schlussfolgerung, weshalb Guilford (1957) dieser lösungsproduzierenden Form des Denkens ein großes Potential für *Kreativität* und Problemlösen zuschreibt.

Das Gegenstück dazu bildet das *konvergente Denken*, bei welchem nur in eine bestimmte Richtung gedacht wird und welches auch nur eine gültige Antwort zulässt. Diese Art zu denken ist deshalb so wichtig, weil sie die Basis für den Erwerb von Faktenwissen darstellt und die Wahrscheinlichkeit, damit originelle Ideen zu finden, mit dem Umfang des Allgemeinwissens steigt. Andererseits ist diese Art zu denken insbesondere bei der anschließenden Beurteilung der Ideen notwendig, da nicht alle ausprobiert werden können und manche Personen kreativer sind als andere (Guilford, 1956).

Bei Untersuchungen stellten Miyake et al. (2000) fest, dass die drei exekutiven Funktionen Inhibition, Arbeitsgedächtnis und Flexibilität eindeutig als eigenständig betrachtet und deren Ausprägung teilweise anhand von Tests individuell erhoben werden kann. Dies schließt jedoch eine positive Beeinflussung untereinander nicht aus. Durch gezieltes Ausblenden von aktuell irrelevanten Informationen können grundsätzlich die Prozesse im Arbeitsgedächtnis beschleunigt werden. Allerdings müssen für das Schaffen neuer kreativer Lösungen alle drei Fähigkeiten zusammenspielen. Glücklicherweise sind diese kognitiven Funktionen vom Kleinkind bis ins hohe Alter trainierbar (Diamond, 2013).

Die Nutzung exekutiver Funktionen, insbesondere der kognitiven Flexibilität, ist herausfordernd und erfordert eine immense Denkleistung. Daher sind für eine optimale Funktionsfähigkeit zur Erbringung dieser Leistung sowohl die soziale also auch die emotionale und körperliche Gesundheit von großer Bedeutung. Das Auftreten von Stresssituationen, Schlaf- und Bewegungsmangel beeinträchtigt diese kognitiven Funktionen (Diamond, 2013).

2.1.4. Intrapersonale Faktoren

Im Laufe der Geschichte gab es immer wieder Erzählungen von *verrückten* Genies, weshalb sich Untersuchungen im Zusammenhang mit psychischen Erkrankungen vor allem auf *BIG-C* beziehen. Diese Assoziationen mit von der Norm abweichendem Verhalten ist bis in die Klassenzimmer spürbar. Manche Lehrpersonen werten gewisse Schüler*innen ab, weil sie Kreativität mit störendem Verhalten wie dem Stellen von sehr einzigartigen, möglicherweise gerade mit der Thematik unzusammenhängenden oder sehr vielen Fragen auf einmal verbinden (Beghetto, 2007b). Doch wie in Kapitel 2.3.1 näher erörtert wird, sollte gerade das Entwickeln von epistemischen Fragen im Unterricht gefördert werden, um die Lernenden auf ein lebenslanges Lernen vorzubereiten.

Der amerikanische Psychologe Guilford (1950) entkoppelte die Kreativität vom Vorhandensein von Intelligenz und schrieb jeder Person ein kreatives Potential zu. Damit bereitete er die Grundlage für die moderne Kreativitätsforschung. Csikszentmihalyi (2010) beschreibt, dass kreative Menschen durch ihre Komplexität ausgemacht werden.

In ihrer Komponententheorie hat Amabile (1998) drei grundlegende Faktoren beschrieben, die die Kreativität einer Person maßgeblich beeinflussen: *Domänenspezifische Expertise*, *kreativitätsrelevante Prozesse* und *Motivation*.

Die *domänenspezifische Expertise* umfasst Fachwissen, technische Fertigkeiten, Intelligenz und Talent für die Tätigkeit in einem bestimmten Bereich und angesichts der Komplexität aktueller Problemstellungen idealerweise auch in anderen Bereichen (Amabile, 1998; Amabile & Pratt, 2016). Wie in Tabelle 1 beschrieben wird, kann die Expertise von Genies sehr heterogene Ursprünge haben, während diese in der naturwissenschaftlichen Forschung zumeist auf einer fachspezifischen Ausbildung und/oder Arbeitserfahrung beruht. In der Schule bringen die Lernenden Vorwissen aus den verschiedenen Fächern und ihre individuellen Interessen in den Unterricht mit ein.

Die *kreativitätsrelevanten Prozesse* sollen Eigenständigkeit, Risikobereitschaft und die Fähigkeit für Perspektivenwechsel begünstigen. Zu den kognitiven Prozessen zählt beispielsweise die Herangehensweise an eine Aufgabenstellung unter maßgeblicher Beteiligung exekutiver Funktionen. Bei den persönlichen Prozessen stehen Selbstkontrolle, die Fähigkeit, bei Stagnation im Denkprozess Pausen zu machen, Ausdauer und Toleranz gegenüber im Prozess auftretenden Unsicherheiten im Vordergrund (Amabile, 1998; Amabile & Pratt, 2016).

Amabile (1998) bezeichnet die ersten beiden Komponenten als individuelle Ressourcen einer Person, die beim Fehlen des dritten Elements möglicherweise gar nicht für die Aufgabenstellung eingesetzt werden. Somit kommen den intrinsischen und extrinsischen Formen der *Motivation* in kreativen Prozessen eine entsprechend große Bedeutung zu. Die intrinsische Motivation weist auf ein großes Interesse oder sogar eine Leidenschaft für die Erfüllung der Aufgabe hin, welche eine persönliche Herausforderung oder eine befriedigende Tätigkeit für jene Person darstellt. Zu den extrinsischen Formen zählen äußere Anreize wie etwa zeitliche Fristen, Wettbewerbe mit Bewertung oder finanzielle Anreize bzw. Anerkennungen (Amabile, 1998).

Die beiden Motivationsarten können sich auch gegenseitig positiv ergänzen. Eine Möglichkeit dafür sind informierende extrinsische Motivatoren, welche die kreativen Personen in ihrer Kompetenz und Arbeit bestärken. Im Gegensatz dazu stehen kontrollierende extrinsische Antriebskräfte, welche die persönliche Autonomie

untergraben können (Amabile, 1998; Amabile & Pratt, 2016). Gemäß der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (1993) begünstigen ein positives Kompetenz- und Autonomieerleben die Motivation für die Bearbeitung von Aufgabenstellungen. Inwiefern eine Person extrinsische Anreize als informierend oder kontrollierend empfindet, hängt jedoch von der persönlichen Arbeitseinstellung ab (Amabile & Pratt, 2016). Wenn Entlohnungen sowohl für kreative als auch für konventionelle Ergebnisse bereitgestellt werden, kann dies auch eine mindernde Wirkung auf die intrinsische Motivation und in weiterer Folge auf die Kreativität haben (Kaufman & Beghetto, 2009).

Für erfolgreiche kreative Prozess selbst ist vor allem eine anfänglich hohe intrinsische Motivation erforderlich (Amabile & Pratt, 2016). Diese oder zumindest ein synergistisches Zusammenwirken beider Motivationsarten sollte insbesondere auf der *MINI*- und *LITTLE-C* Ebene berücksichtigt werden. In der Forschung wird die Art der Motivation vorrangig von der Arbeitseinstellung der jeweiligen Person beeinflusst. Den Handlungen von Genies liegt meistens eine intrinsische Motivation zugrunde, welche aus einer Leidenschaft für das jeweilige Fachgebiet entspringt (Beghetto & Kaufman, 2007a).

Grundsätzlich sollten Lehrpersonen die Einstellungen der Lernenden zu ihren eigenen Fähigkeiten kennen. Die amerikanische Psychologin Dweck (2017) hat sich in diesem Zusammenhang mit den Themen *Fixed and Growth Mindset* auseinandergesetzt, womit ein statisches und dynamisches Selbstbild von sich selbst beschrieben wird. In Bezug auf die Kreativität könnten diese wie folgt lauten: „Ich bin einfach nicht kreativ genug dafür!“ oder „Ich kann diese Aufgabe schaffen, wenn ich mich genug anstrenge!“ Ein näheres Eingehen auf diese Thematik ist in dieser Arbeit nicht vorgesehen. Dennoch sollte dieses Konzept beim Unterrichten berücksichtigt werden.

2.1.5. Ablaufschemata von kreativen Prozessen

Die Arbeitsphase beim Schaffen kreativer Produkte wird in der Kreativitätsforschung *kreativer Prozess* genannt und wie bei einem typischen Forschungszyklus in Abschnitte unterteilt, die jedoch nicht zwingend linear ablaufen müssen.

Das *Vier-Phasen-Modell* nach Wallas (1926) dient als Grundlage für die Beschreibung kreativer Problemlöseprozesse. Zu Beginn steht die *Präparationsphase*, in welcher eine Problemstellung erkannt, definiert und analysiert wird. Dafür müssen entweder bereits Vorwissen und entsprechende Fertigkeiten vorhanden sein oder in diesem Zusammenhang eben angeeignet werden. Darauf folgt die *Inkubationsphase*, in welcher

eine bewusste oder unbewusste Auseinandersetzung mit dem Problem erfolgt, in dem anderen einfacheren Tätigkeiten nachgegangen oder eine Erholungsphase z.B. Schlafen eingelegt wird. Diese nach außen hin ruhige Haltung einer Person wird oft von einem inneren Spannungszustand begleitet und kann theoretisch Minuten bis Jahre andauern. Die *Illuminationsphase* tritt meist plötzlich in einem Entspannungszustand ein, welchem eine intensive Auseinandersetzung mit dem Thema vorausgeht. Man spricht dabei auch vom sogenannten *Aha-Erlebnis*, dessen Eintrittszeitpunkt nicht absehbar ist. In der *Verifikationsphase* werden die Ergebnisse der vorangegangenen Abschnitte mündlich oder schriftlich festgehalten, ausgearbeitet und auf ihre Umsetzbarkeit geprüft (Krampen, 2019).

Dieses Modell wurde von Amabile und Pratt (2016) erweitert, um diesen Prozess anschaulicher zu beschreiben und von außen kontrollierbarer zu machen. Sie unterteilen beispielsweise die *Präparationsphase* in die *Vorstellung* der Aufgabe durch die Person selbst oder einer externen Person wie z.B. der Lehrperson und in die *Vorbereitung*, in welcher vorhandene Informationen und Ressourcen erhoben und neue angeeignet werden. Danach folgt die *Ideenfindungsphase*, in welcher die gezielte Auseinandersetzung mit der Problemstellung durch Einsatz von Kreativitätstechniken wie *Brainstorming* oder *Mind-Mapping* unterstützt wird. Ebenso wird die *Verifikationsphase* in die *Ideenvalidierung*, bei welcher die Lösungsmöglichkeiten mit den vorgegebenen Aufgabenkriterien überprüft und ausprobiert werden, und in die darauffolgende *Beurteilung* der Ergebnisse nach Erfolg, Misserfolg oder Fortschritt aufgespalten. Damit wird der Prozess entweder abgeschlossen oder es kann in allen drei Fällen eine Feedbackschleife erfolgen und mehrmals in Form eines Iterationsprozesses von vorne begonnen werden, bis idealerweise ein neues kreatives Produkt generiert wird (Amabile & Pratt, 2016).

2.2. Modelle und Modelldenken

Etymologisch lässt sich die Bedeutung des Begriffes *Modell* aus dem lateinischen *modus* oder *modulus* ableiten und wird mit Maß, Maßstab, Größe oder Grenze, aber auch Vorschrift oder Regel übersetzt (Stowasser, Petschenig, & Skutsch, 2012). In der Alltagssprache sind etwa Wörter wie *Modellflugzeug*, *Modellathlet* oder *Kartenmodell* gebräuchlich. Üblicherweise werden damit Verkleinerungen, Vorbilder oder auch

Ausschnitte von realen Gegenständen, Personen oder Umgebungen dargestellt bzw. beschrieben (Saborowski, 2022). Dieser Gebrauch und die Übersetzungsmöglichkeiten der lateinischen Ursprungswörter zeigen somit potenzielle Einsatzbereiche von Modellen.

2.2.1. Modelle in den Naturwissenschaften

Gerade in der naturwissenschaftlichen Forschung sind Modelle neben Experimenten unerlässlich (Reiners, 2022), um beobachtbare Phänomene zu erklären, aufzuklären oder für das Aufstellen von Prognosen genutzt zu werden, um neue Hypothesen zu generieren und empirisch zu überprüfen (Saborowski, 2022; Eilks & Bindernagel, 2008; Van Driel & Verloop, 1999).

Gemäß der *Allgemeinen Modelltheorie* von Stachowiak (1973) weisen Modelle charakteristischerweise drei Merkmale auf:

- (1) *Abbildungsmerkmal*: „Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können.“ (ebd., S. 131)
- (2) *Verkürzungsmerkmal*: „Modelle erfassen im allgemeinen [sic!] nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und/oder Modellbenutzern relevant scheinen.“ (ebd., S. 132)
- (3) *Pragmatisches Merkmal*: „Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion a) für bestimmte – erkennende und/oder handelnde, modellbenutzende – Subjekte, b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche und tatsächliche Operationen.“ (ebd., S. 132-133)

Zu Beginn der Entwicklung eines Modells stehen persönliche Gedankenkonstrukte von Forschenden, die in Form von Gesprächen oder Niederschriften festgehalten und somit für den Austausch mit anderen zugänglich gemacht werden. Diese Ideen werden verglichen und überprüft, um von einem individuellen wissenschaftlichen Modell zu einem Konsensmodell weiterentwickelt zu werden, welches der Wissenschaftsgemeinschaft zugänglich ist (van Driel & Verloop, 1999; Eilks & Bindernagel, 2008). Die

gestaltende Person nimmt mit ihrer Entscheidungsgewalt somit eine aktive Rolle bei der Modellierung ein, da sie über das Beibehalten oder Vernachlässigen von Aspekten bestimmt. Jeder damit arbeitenden Person muss daher die begrenzte Gültigkeit von Modellen und deren Falsifizierbarkeit bewusst sein (Eilks & Bindernagel, 2008).

2.2.2. Umgang mit Modellen im Chemieunterricht

Der Großteil dieser wissenschaftlichen Modelle ist äußerst abstrakt und erfordert ein umfangreiches Vorwissen in der jeweiligen Fachdisziplin. Dies macht sie daher für die Vermittlung im Chemieunterricht oft unbrauchbar, da sie für Schüler*innen nur schwierig zu verstehen sind. Aus diesem Grund wird in der Literatur (Justi & Gilbert, 2002; De Jong & Taber, 2007; Taber, 2008) eine Unterscheidung in wissenschaftliche, curriculare, Lehr- und gelernte Modelle getroffen. Die *wissenschaftlichen* Modelle werden somit für Lehrpläne und Schulbücher in Form von *curricularen* Modellen für eine bestimmte Zielgruppe didaktisch transformiert und dienen als Ausgangspunkt für *Lehrmodelle*. In Kombination mit weiteren Lernhilfen wie etwa Analogien werden diese den Jugendlichen von den Lehrpersonen vermittelt. Am Ende der Vermittlung stehen die *gelernten Modelle* der Schüler*innen, welche beispielsweise in einem Unterrichtsgespräch oder in Leistungssituationen zum Ausdruck gebracht werden können. Auf diese Weise kann festgestellt werden, ob die Kernaussagen der Modelle reproduziert, auf Aufgabenstellungen transferiert und idealerweise reflektiert werden können (Justi & Gilbert, 2002; De Jong & Taber, 2007; Taber, 2008). Dies setzt jedoch das Verständnis der Lernenden für die verschiedenen Funktionen von Modellen voraus.

Durch selbstständiges Entwickeln von Modellen sollen Schüler*innen erkennen, dass diese nicht *entdeckt*, sondern *erschaffen* wurden und somit keine exakte Wiedergabe der Realität sind (Saborowski, 2022). Ebenso können dabei Grenzen von Modellen bewusst gemacht werden, die ausschlaggebend für eine Überarbeitung oder die Bildung neuer Modelle sein können (van Driel & Verloop, 1999).

Um den Wechsel zwischen beobachtbaren Phänomenen, den Vorgängen auf der Teilchenebene und dem schriftlichen Festhalten dieser in Form von Symbolen verständlicher darstellen zu können, entwickelte Johnstone (2000) das *chemische Dreieck*. Es stellt die Wechselwirkungen zwischen der makroskopischen, submikroskopischen und repräsentativen Ebene bildlich dar und soll somit das Lehren und Lernen von Chemie

bei durchgehender Anwendung der, den Ebenen entsprechenden Begrifflichkeiten vereinfachen. Unter dem Begriff der makroskopischen Ebene werden jene Stoffe und deren Eigenschaften subsummiert, die mit den menschlichen fünf Sinnen⁸ direkt oder mit Hilfsmitteln wie einem Mikroskop wahrgenommen werden können. Mit dem Begriff der submikroskopischen Ebene werden Atome, Moleküle, Ionen und Strukturen zusammengefasst. Diese können nicht direkt mit den Sinnen wahrgenommen werden und stellen somit eine Art *Blackbox* dar. Die repräsentative Ebene schließt unter anderem Formeln, Symbole, Grafiken und Reaktionsschemata ein (Johnstone, 2000).



Abbildung 1 Chemischer Tetraeder nach Mahaffy (modifiziert nach Mahaffy, 2004)

Dieses Konzept wurde von Mahaffy (2004) gemäß Abbildung 1 mit einer *lebensweltlichen Komponente* (Petermann, Friedrich, & Oetken, 2008) erweitert, um zwei weitere wichtige Bereiche des Chemieunterrichts hervorzuheben. Zum einen soll den Lernenden Interdisziplinarität vermittelt und ein stärkerer Bezug zu ihrer Alltagswelt hergestellt werden. Zum anderen rücken die Lernenden und ihre individuellen Bedürfnisse inklusive ihrer Alltags- und (hausgemachten) Fehlvorstellungen verstärkt in den Fokus. Diese können im Zuge der Vermittlung von Inhalten im Unterrichtsgespräch oder aufgrund von mangelhaften Lehr- und Lernmaterialien dazu entstehen. Besondere Vorsicht ist daher bei der Nutzung von Anthropomorphismen und Animismen geboten, bei welchen die chemischen Lerninhalte mit menschlichen Wesenszügen und ebendiesen Eigenschaften erklärt werden (Reiners, 2022). Diese für den Anfangsunterricht möglicherweise hilfreichen Verbildlichungen müssen den Lernenden jedoch auch aktiv als solche dargestellt werden. Denn bei nachlassender Konsequenz auf Seiten der Lehrenden und Lernenden können sich mangelhafte Sprachgewohnheiten entwickeln, die im weiteren Verlauf der Wissensaneignung Schwierigkeiten bereiten können.

⁸ sehen, hören, riechen, schmecken und tasten

Außerdem betont Mahaffy (2004) unter anderem das Forcieren der Vermittlung von Problemlösestrategien und handlungsorientiertem Lernen, für welche nun im nächsten Abschnitt positiv beeinflussende Rahmenbedingungen behandelt werden.

2.3. Methodik der Implementierung in der Schule

Neben den intrapersonalen Komponenten einer kreativen Person⁹ spielt auch die Lernumgebung bzw. das soziale Umfeld für das Stattfinden von iterativen kreativen Prozessen eine große Rolle. Dazu zählen jegliche Impulse und Umgebungsbedingungen, die positiv oder negativ auf die intrinsische Motivation wirken (Amabile & Pratt, 2016). Im folgenden Abschnitt wird nun näher auf physikalische und pädagogisch-soziale Einflussfaktoren eingegangen, welche als Grundlage für die Planungs- und Umsetzungsphase in Kapitel 3 herangezogen wurden. Für eine gezielte und wirksame Förderung beim Schaffen kreativer Produkte dürfen die Zielpersonen weder überfordert noch ihre möglicherweise nach außen hin nicht direkt sichtbaren Leistungen¹⁰ übersehen werden. In Tabelle 2 sind Kriterien aufgelistet, welche sich bei Anwendung auf Genies, Aktivitäten in der Forschung bzw. Schule markant unterscheiden.

Tabelle 2 Kriterien für das Schaffen neuer Produkte in verschiedenen Wirkungsbereichen

Kriterien	„Genies“	NAWI-Forschung	MINT-Unterricht
Ziel	revolutionäre Produkte, Paradigmenwechsel	neuartige Erkenntnisse und Produkte	Wissen über Theorien, Denk- und Arbeitsweisen
Wissensnutzung	Radikale Kreativität	Routinierte <u>spontane</u> Kreativität	<u>Reaktive</u> und spontane Kreativität
Zeitrahmen	unlimitiert	Abgabefristen	Lehrplan
Herkunft der Themen	Fachdomäne, Gesellschaft, Umwelt	Vorgesetzte/r	Lehrperson
Rahmenbedingungen	<i>flow</i> -Zustand ¹¹	Leistungssituation	Lernsituation

Die Zielsetzung bei der Aktivierung von Kreativität ist neben dem Schaffensprozess selbst ein neues kreatives Produkt¹². Während im künstlerischen Bereich eine Bewertung zur Erfüllung dieser Kriterien meist subjektiv ausfällt, ermöglichen in den Naturwissenschaften mess- und sichtbare Parameter eine grundlegende Objektivität.

⁹ Siehe Kapitel 2.1.4

¹⁰ Siehe *MINI-C* in Kapitel 2.1.2

¹¹ Vgl. Csikszentmihalyi, 1991

¹² Siehe Definitionen in Kapitel 2.2.1

Für Schüler*innen selbst müssen die Produkte persönlich, neu und funktionell in Bezug auf die Erfüllung der gewünschten Kriterien der Aufgabenstellung sein. Dabei ist es irrelevant, ob eine andere Person vorher bereits diese Idee hatte. Sie stehen auch vertretend für die Generierung von Wissen zu fachspezifischen Theorien und wissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen. In der Forschung sollen neuartige Erkenntnisse gewonnen werden, die nicht nur für die Person bzw. die Gruppe, sondern auch für die Wissenschaftsgemeinschaft bisher unbekannt waren und für die Gesellschaft und die Umwelt von Bedeutung sind. Die *Genies* gehen noch einen Schritt weiter und generieren revolutionäre Produkte, die sogar einen Paradigmenwechsel hervorrufen können.

2.3.1. Physikalische Faktoren

In der Schule obliegt es den Lehrpersonen, den Unterricht unter Berücksichtigung von räumlichen und zeitlichen Aspekten zu planen.

In Bezug auf die *Gestaltung von Klassenräumen* haben Lehrende in Absprache mit ihren (Fach-)Kolleg*innen einen gewissen Spielraum, welchen sie nutzen können, um die Kreativität der Schüler*innen zu fördern. Davies et al. (2013) betonen in ihrer Literaturanalyse die Bedeutsamkeit von offenen Räumlichkeiten, in denen möglichst wenig Möbel stehen, damit sich die Lernenden im Raum frei bewegen können. Eine weitere Möglichkeit bietet die Gestaltung von kleinen Arbeitsinseln, mit denen die Jugendlichen zumindest akustisch voneinander getrennt sind (Davies, et al., 2013). Dieses Aufbrechen von der meist strikten Anordnung der Tische in Reihen kann den Schüler*innen auch ein Gefühl von Andersartigkeit vermitteln, wodurch sie sich möglicherweise eher auf kreative Prozesse einlassen (Haager, 2019).

Je nach Wirkungsbereich unterscheiden sich auch die *Herkunft der Themen*, der *zeitliche Rahmen* und die jeweils vorherrschenden Rahmenbedingungen. In der Schule gibt typischerweise die Lehrperson in Form einer Aufgabenstellung eine Thematik oder Impulse dazu vor, welche je nach Situation erweitert oder verändert werden können. Bei diesen Lernprozessen sollte unbedingt auf eine positive Fehlerkultur geachtet werden. Der zeitliche Rahmen ist an die verfügbaren Unterrichtsstunden und an den Lehrplan gebunden, wobei hier manchmal der *Mut zur Lücke* aufgebracht werden kann. In der Forschung werden Themen typischerweise von Vorgesetzten oder in Absprache mit ihnen festgelegt. Für das selbstständige Auffinden eines Themas ist

bereits viel Vorerfahrung zum Ablauf kreativer Prozesse notwendig. In diesem Zusammenhang ergeben sich neue interdisziplinäre Arbeitsfelder. Diese Projekte müssen erfolgsversprechend sein, um extern finanziert zu werden und sind zumeist mit konkreten Abgabefristen verbunden, wodurch ein großer Druck auf die Forschenden herrscht und Kreativitätsprozesse fast unmöglich gemacht werden. Bei Genies können die Themen auch impulsartig aus einer Fachdomäne, der Gesellschaft oder der Umwelt kommen. Dies gilt auch für den Zeitrahmen, da meist nicht eingeschätzt werden kann, wann die *Illumination* kommt. Der Zustand einer Person in solchen Situationen wird als *flow* (Csikszentmihalyi, 1991) bezeichnet und kennzeichnet ein völliges Aufgehen in einer Tätigkeit, auf welche die volle Konzentration gerichtet ist und bei welchem Raum und Zeit vergessen werden.

Um einen solchen Zustand erreichen zu können, müssen die Schüler*innen die Möglichkeit haben selbstbestimmt Pausen einzulegen (Beeftink, van Eerde, & Rutte, 2008). Diese Freiheit ermöglicht es jedoch auch Jugendlichen, anderen, für den Prozess nicht unmittelbar förderlichen Tätigkeiten nachzugehen (Haager, 2019). Aus diesem Grund sollte der Ablauf dieser Lern- bzw. Problemlöseprozesse aktiv mit ihnen besprochen und geübt werden, damit ein angemessenes Verhalten gegeben ist und ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht werden kann (Hany, 1993).

Manche Jugendliche brauchen zu Beginn eine ruhige Phase, in der sie sich selbst einarbeiten und erst nach einem Austausch in der Gruppe mit dem Praxisteil beginnen können. Andere Lernende lesen sich kurz ein und probieren einfach etwas aus (Haager, 2019). Nachdem der Unterricht in der Schule allerdings zeitlich begrenzt ist, braucht es bei den Aufgaben *Deadlines*. Damit dadurch nicht die Kreativität der Schüler*innen beeinträchtigt wird (Amabile, 1998), müssen die Aufgabenstellungen und unterstützenden Materialien so vorbereitet sein, dass sie im vorgegebenen Zeitrahmen gut und angemessen bearbeitbar sind. Andernfalls entscheiden sich die Lernenden immer für die am naheliegendsten, schnellere und sicherere Lösung, anstatt etwas Neues und Kreatives auszuprobieren (Beghetto & Kaufman, 2014). Unter optimalen Voraussetzungen sind Schüler*innen zu Beginn solcher Aktivitäten ausgeschlafen, körperlich fit und konzentriert. Im Schulalltag kann es vorkommen, dass dem nicht so ist, da beispielsweise zuvor eine Leistungsüberprüfung stattgefunden hat oder Eine zurückgegeben wurde oder es sich um die letzte Stunde des Tages handelt.

2.3.2. Pädagogisch-soziale Faktoren

Die physikalischen und intrapersonalen Faktoren können nur in Übereinstimmung mit den pädagogisch-sozialen Faktoren zielführend an die Lernenden angepasst werden, um eine optimale Arbeitsatmosphäre zu generieren, in welcher Kreativität möglich ist. Unter diesem Begriff lassen sich Effekte subsummieren, welche aus der Erziehung, Unterstützung von anderen Personen und einem positiven Betreuungsverhältnis von Lehrperson und Schule resultieren (Haager, 2019).

In seiner Metastudie betont Hattie (2009) die Bedeutsamkeit einer Lehrperson für Lernprozesse. In Bezug auf kreative Lerngelegenheiten zeigt sich, dass hierbei insbesondere die persönliche Einstellung der Lehrperson gegenüber Kreativität essenziell ist und einen erheblichen Einfluss auf die Unterrichtsprozesse hat (Hong, Hartzell, & Greene, 2009). Gegenüber Kreativität positiv eingestellte Lehrkräfte zeigen sich in ihren Unterrichtsplanungen flexibler und lassen spontane Änderungen und Exkurse zu anderen Themen zu.

Diese Einstellung unterstützt den *„Prozess der Wissensgenese als Herstellung von Beziehungen und Erkennen von Zusammenhängen“* (Anton, 2019, S. 20). Die Schulbildung sollte darauf ausgerichtet sein, dass das erlernte Wissen verstanden wird, um es bei Entscheidungsprozessen nutzen zu können. Dieser Aufgabe hat sich die epistemologische bzw. erkenntnistheoretische Didaktik verschrieben und stellt daher Werkzeuge für den Aufbau, die Konstruktion und Vermittlung von Wissen bereit (Anton, 2019).

Im Modell des *„Vollständigen Wissens“* führt Neber (1993) verschiedene Kategorien von Wissen an, wonach Wissen nicht nur reproduziert, sondern auch für das Lösen von Problemstellungen mit neuartigen Ideen nutzbar gemacht werden. Zu Beginn des Lernprozesses steht reproduzierbares *Faktenwissen*, welches jedoch nicht auf ähnliche Aufgaben transferiert werden kann und somit unvollständig ist. Um diese Fakten in *Objekte* überführen zu können, müssen Informationen zu den Konditionen und Funktionen der Fakten angeeignet werden. Unter dem Begriff *Konditionen* wird das Wissen zu den Voraussetzungen für die Nutzung beispielsweise von Stoffen zusammengefasst und mit den *Funktionen* wird beschrieben, wofür diese eingesetzt werden können.

Aus der Kombination dieser drei Wissensqualitäten, ergibt sich ein *vollständiges Wissen*, welches im Alltag angewendet werden kann und die Schüler*innen zu lebenslangem Lernen befähigen soll (Neber, 1993). Zusammengefasst beschreibt *Faktenwissen* den Wissenstand von Noviz*innen und *Objektwissen* jenen von Expert*innen. Wenn den Lernenden jedoch nicht die transdisziplinäre Anwendbarkeit von neuen Wissensinhalten bewusst gemacht wird, ergibt es für sie auch keinen Sinn, sich diese anzueignen (Anton, 2019).

Diese Form der Wissensnutzung kann gemäß Neber (1993) beispielsweise regelmäßig anhand von Problemstellungen aus dem Anwendungsbereich der bereits bekannten Fakten *situativ* erworben und somit erweitert werden. Des Weiteren können *kooperative Aktivitäten* unterstützend wirken, bei welchen sich die Lernenden die Inhalte gegenseitig in Partner- oder Gruppenarbeiten erklären und somit aneignen. Dabei sollten die Inhalte jedoch nicht nur von anderen übernommen, sondern aktiv selbst generiert werden. Je heterogener die Kompetenzunterschiede der einzelnen Personen sind, desto vielfältiger können die Ideen ausfallen (Haager, 2019). Um in der Schule solche Einteilung gezielt vornehmen zu können, muss die Lehrperson die Lernenden bereits sehr gut kennen (Beghetto & Kaufman, 2014). Meist erfolgt die Einteilung jedoch anhand des biologischen Geschlechts oder von Freundschaftsverhältnissen, wodurch nur zufällig Teams mit optimalen Voraussetzungen gebildet werden. Für die Aufnahme in eine Arbeits- oder Forschungsgruppe gibt es hingegen meistens ein Bewerbungsgespräch, womit gezielt interessierte Mitarbeitende ausgewählt werden können, die wissen, worauf sie sich einlassen, und einschlägige Vorerfahrungen besitzen. Dies ermöglicht interdisziplinäre Ansätze im Tätigkeitsbereich.

Für die Komplementierung von unvollständigem Wissen bietet sich auch das *entdeckende Lernen* an, da die Lernenden ihre Kenntnisse anhand von Beispielen oder Problemlöseaufgaben selbst generieren. Für die gewünschte Wirksamkeit müssen bei den Beispielen jedoch gezielte Verknüpfungen zu bisherigem Wissen hergestellt werden. Eine weitere Möglichkeit ergibt sich mit dem *aktiven Stellen epistemischer Fragen*, welche in zwei Funktionen unterteilt werden können (Neber, 1993). Mit *wissensgenerierenden Fragen*¹³ werden anhand von Vorwissen zielgerichtete

¹³ Beispiele für wissensgenerierende Fragen: *Wozu dient ...? Wie hängt ... mit ... zusammen? Welche Voraussetzung ist notwendig für ...?* (Neber, 1999)

Überlegungen für das Erreichen eines Ziels wie dem Lösen einer Problemstellung angestellt und somit Wissen generiert (Neber & Anton, 2008). Dieses, auf *konstruktivistische* Weise geschaffene vernetzte Objektwissen ermöglicht es den Schüler*innen, sich Inhalte besser zu merken (Anton, 2019). Die zweite Funktion erfüllen *prozessregulierende Fragen*¹⁴, mit denen das Erreichen dieser Ziele geprüft und aktiv gesteuert werden kann (Neber & Anton, 2008). Diese sind auch als *metakognitive Handlungen* aufzufassen, in deren Kontext eigene informationsverarbeitende Prozesse wie Überlegungen oder Entscheidungen reflektiert und bewertet werden (Anton, 2019). Das Bewusstsein für diese metakognitiven Prozesse ist hilfreich für das Verstehen von Prinzipien und der Vorgehensweise bei erfolgreichen Problemlösen (Rickey & Stacy, 2000). Damit die Lernenden Fragen beider Typen selbstständig entwickeln können (Neber & Anton, 2008), muss dies den Lernenden jedoch zuvor beigebracht und mit ihnen geübt werden (Anton, 2019).

In diesem Zusammenhang kommt auch der geeigneten *kognitiven Aktivierung* der Lernenden eine besondere Bedeutung zu (Streller et al., 2019). In Kombination mit dem Wissen zu den exekutiven Funktionen ist es bedeutsam, dass die Schwierigkeit der Aufgabenstellungen ständig gesteigert wird, damit sich die Schüler*innen nicht langweilen oder das Interesse daran verlieren. Zusätzlich sollen sie auch regelmäßig aus ihrer *Komfortzone* gelockt werden, denn nur so können sie sich verbessern (Diamond, 2013). Hierfür bieten sich komplexere Aufgaben an, bei welchen bereits bekanntes Wissen auf neue Situationen angewendet werden muss. Auch das Auslösen von *kognitiven Konflikten* kann für die Konfrontation von Lernenden mit Phänomenen genutzt werden, welche sich nicht mit ihren bisherigen Vermutungen dazu decken. Außerdem kann die Kombination aus forschend-entdeckendem Lernen und dem aktiven Fragestellen die Schüler*innen für die Bearbeitung anspruchsvollerer Aufgabenstellungen motivieren (Streller et al., 2019).

Je nach Vorerfahrungen und Können der Lernenden ist es möglich, den Unterricht gemäß unterschiedlicher Öffnungsgrade zu gestalten. In den meisten Konzepten (z.B. Blanchard, et al., 2010) werden mehrere Levels definiert, bei welchen sich die Lehrperson zunehmend zurücknimmt und die Schüler*innen sich immer selbstständiger in

¹⁴ Beispiele für prozessregulierende Fragen: *Was will ich wissen? Was weiß ich schon? Was ist besonders wichtig?* (Neber, 1999)

offenen Lernsituationen zurechtfinden müssen. Die Lehrkraft nimmt hierbei je nach Bedarf eine mehr oder weniger *ko-konstruktiv* unterstützende Rolle im Lernprozess ein. Sie stellt den Lernenden beispielsweise diverse epistemische Fragen oder erinnert sie an Inhalte aus vorangegangenen Unterrichtsstunden, damit sie Stagnationen im Denkprozess überwinden (Streller, et al., 2019).

In diesem Rahmen ist ein regelmäßiges, ehrliches und konstruktives *Feedback* zu den Ideen bedeutsam, da dies das Kompetenzerleben einer Person und in weiterer Folge auch deren intrinsische Motivation und Selbstwirksamkeitsüberzeugung fördert (Amabile & Pratt, 2016). Ebenso helfen ermunternde Worte von Lehrpersonen, Gleichaltrigen oder Eltern bei herausfordernden Aufgabenstellungen den Schüler*innen dabei, an die eigenen Fähigkeiten zu glauben und nicht vorzeitig aufzugeben (Beghetto & Kaufman, 2014).

Darüber hinaus sollten Lehrende den Lernenden aktiv aufzeigen, in welchen Situationen und unter welchen Rahmenbedingungen Kreativität an- bzw. unangemessen sein kann (Beghetto & Kaufman, 2014).

In der Schule ist meist die *reaktive* Form von Kreativität vorherrschend, bei welcher die Lernenden nur anhand konkreter Anweisungen anderer oder genau definierten Aufgabenanleitungen Lösungen hervorbringen. Idealerweise erlangen die Jugendlichen bis zum Ende ihrer schulischen Laufbahn eine Form der *spontanen* Kreativität, bei welcher sie eigenständig zu kreativen Problemlösungen fähig sind. Im Forschungsbereich sind gewöhnlicherweise spontane Kreativitätsausprägungen stark vertreten und routinemäßig im Einsatz (Neber, 1993). Dies kann noch einmal weiter gesteigert werden, wenn die Fähigkeiten genutzt werden, auch Risiken einzugehen und Grenzen zu überschreiten. Dadurch wird radikale Kreativität ermöglicht, welche oftmals Mut erfordert und ein Kennzeichen von Genies sein kann (Krampen, 2019).

2.4. Methodik der Evaluierung

Die Ressourcen für die Durchführung einer Feldforschung (von Aufschnaiter, 2014) im Rahmen einer Masterarbeit sind begrenzt und bringen einige Hürden und Einschränkungen mit sich, auf welche nun näher eingegangen wird. Nichtsdestotrotz bergen sie den großen Vorteil, dass die Ergebnisse nicht in wissenschaftlich perfekt konfigurierter Umgebung, sondern tatsächlich im Schulalltag generiert werden. Dies erhöht die

ökologische Validität der Resultate, wodurch sie insbesondere für die in der Praxis tätigen Personen eine größere Relevanz aufweisen. Die Schüler*innen müssen verpflichtend am Unterricht teilnehmen, wodurch die Rekrutierung von Proband*innen erleichtert wurde. Dabei ist besonders wichtig, den Lernenden den Sinn und Zweck dieses Forschungsvorhabens mitzuteilen, damit sie auch für sich selbst einen Nutzen sehen und nicht die Teilnahme verweigern (Wilhelm & Hopf, 2014).

2.4.1. Forschungsmethoden

Der Ansatz *Design-Based Research* (Design-Based Research Collective, 2003) ermöglicht eine praxisnahe fachdidaktische Forschung, bei welcher forschungsmethodische Standards eingehalten werden. Üblicherweise arbeiten hier Lehrpersonen und Forschende in Form eines größeren Projekts gemeinsam an der Bearbeitung einer im Unterricht aufgetauchten Fragestellung. Die *Aktionsforschung* (Posch & Zehetmeier, 2010) bzw. genauer die *unterrichtsnahe Aspektforschung* orientiert sich am Format der Design-Forschung und dient als Basis für das im Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit durchgeführte Forschungsprojekt. Dabei wird unter anderem auch das Ziel verfolgt, das eigene praktische Handeln in bestimmten Situationen zu verbessern und positiv zur Weiterentwicklung des Professionswissens beizutragen.

Zu diesem Zweck wurde eine Unterrichtsplanung erstellt, welche anschließend in Form einer *Feldstudie* umgesetzt und evaluiert wurde, um die Erkenntnisse für eine Anpassung und Weiterentwicklung des eigenen Unterrichts zu nutzen. Im Vergleich zu einem groß angelegten Forschungsprojekt wurden in dieser Masterarbeit jedoch weder Pilotstudien zur Qualitätssicherung der Instrumente und Interventionen, noch zyklische Verbesserungsphasen des Unterrichtsdesigns durchgeführt, da diese den Anforderungsrahmen sprengen würden. Während des Planungsprozesse wurde jedoch in Form von konstruktiven Gesprächen mit dem Betreuer und einer Fachkollegin Feedback zum geplanten Vorgehen eingeholt. Unabhängig von der gewählten Herangehensweise bleibt das *Ziel* gleich: Die Bearbeitung praxisrelevanter Fragestellungen, unmittelbares Zurückfließen der Ergebnisse an den Ort des Geschehens (Schule bzw. Unterricht) und Weitergabe der Erkenntnisse an andere Lehrpersonen in Form von Vorträgen oder Veröffentlichungen (Posch & Zehetmeier, 2010).

Aufgrund des Unterrichtsdesigns wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sowohl qualitative als auch quantitative Daten erhoben. Um die Objektivität und Aussagekraft der Daten trotz einer verhältnismäßig kleinen Anzahl an Proband*innen gewährleisten zu können, wurde eine Form der *methodologischen Triangulation* angewendet (Flick, 2011). Dafür wurde mit Hilfe von *Vorher- und Nachher-Fragebögen* (siehe Anhang B) während der praktischen Arbeitsphase die Perspektive der Schüler*innen zur aktuellen Situation im Chemieunterricht und zu Aspekten der durchgeführten Unterrichtssequenz erhoben. Anhand von teilstrukturierten *Beobachtungsbögen* (siehe Anhang B) wurde die Umsetzungsphase aus Sicht von Lehrpersonen dokumentiert und als dritten Aspekt sollten die Lernenden ihre Ideen, Überlegungen und *Ergebnisse* schriftlich oder bildlich festhalten.

Schlussendlich erfolgt in Kapitel 3 eine genaue Dokumentation der unterschiedlichen Phasen des Forschungsprojekts und Auflistung der Ergebnisse, um die *Validität* der Datenerhebung gewährleisten zu können (Mayring, 2022).

Die Ausführung der beiden *Fragebögen* erfolgte digital über die Evaluations- und Schulentwicklungsplattform *IQES online*¹⁵, um den Papierverbrauch einzuschränken und etwaigen Unstimmigkeiten bei den Ankreuzaufgaben vorzubeugen. Den Schüler*innen wurde zu Beginn der Befragung ein QR-Code über den Beamer zur Verfügung gestellt, welchen sie mit ihren Smartphones scannen sollten. Im Falle eines fehlenden technischen Geräts erfolgte die Bearbeitung am Smartphone einer anderen Person, nachdem diese die Befragung beendet hat. Anhand einer sich ständig aktualisierenden Übersicht am Beamer, konnten die Jugendlichen Einsicht zur Anzahl der noch offenen und bereits abgeschlossenen Fragebögen nehmen. Diese Fortschrittsanzeige sollte die Rücklaufquote erhöhen (Busker, 2014).

Während der Bearbeitung der Aufgabenstellung sollten die Schüler*innen ihre Ideen und Denkansätze schriftlich festhalten. Das Aufschreiben verlangsamt das Arbeits-tempo der Gruppe und gibt allen Beteiligten eine willkommene Chance, mitdenken zu können. An dieser Stelle wurde noch einmal aktiv auf das Forschungsziel hingewiesen, damit die Lernenden tatsächlich ihre Gedankengänge zu Protokoll bringen und dies

¹⁵ Diese Plattform wird vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung für alle Schulen kostenlos zur Verfügung gestellt. Link: <https://www.iqesonline.net/at/> [Abgerufen am 13. August 2024]

nicht als Leistungssituation wahrnehmen. Auf diese Weise kann angenommen werden, dass die Daten authentisch sind und nicht aufgrund von sozialer Erwünschtheit verzerrt wurden. Alle Aufzeichnungen wurden am Ende von der Lehrperson abgesammelt. Die Ergebnisse der praktischen Arbeitsphase sollten jedoch in Form von Bildern und Erklärungen oder als Videos auf MS Teams hochgeladen werden.

Zusätzlich führten währenddessen jeweils zwei Lehrkräfte pro Klasse eine offene, passiv teilnehmende *Beobachtung* zur Vorgehens- und Arbeitsweise der Lernenden durch. Für die Umsetzung von Beobachtungen in der Schule gibt es insbesondere an kleineren Standorten oft nur wenige Fachkolleg*innen, die in besagtem Zeitraum durchgängig verfügbar sein können. Um trotzdem ausreichend Daten für diese Masterarbeit zur Verfügung zu haben, wurde hierfür auch auf andere fachfremde Lehrkräfte zurückgegriffen, die im besagten Zeitraum zeitliche Kapazitäten aufwiesen.

2.4.2. Aufbau der Evaluationsinstrumente

Für die Erstellung der *Items* der *Fragebögen* wurden die Unterlagen aus der Lehrveranstaltung *Fachdidaktische Forschungsmethoden für LA (WiSe 2023)* und die Literatur von Busker (2014) herangezogen. Sie wurden in Blöcken gemäß Anhang B organisiert, die nacheinander durch Drücken einer Schaltfläche aufzurufen waren. Dies sollte den Jugendlichen erleichtern sich auf die einzelnen Inhalte fokussieren zu können und durch das aktive Weiterdrücken eine kleine *Denkpause* einzulegen.

Als Frageformat wurden geschlossene und offenen Fragen gewählt. Für die Aussagen des ersteren Typus wurde eine vierstufige *Likert-Skala* mit den intervallskalierten Formulierungen „*stimme gar nicht zu*, *stimme eher nicht zu*, *stimme eher zu* und *stimme völlig zu*“ eingesetzt. Damit soll das allgemeine persönliche Selbstkonzept der Jugendlichen und jenes im Unterrichtsfach Chemie angemessen abgebildet und eine Ankreuztendenz zur Mitte bereits im Vorhinein ausgeschlossen werden. Um bei der Beantwortung einer sozialen Erwünschtheit entgegenzuwirken, wurde zu Beginn der Durchführung und im Einleitungstext explizit noch einmal auf das Ziel der Untersuchung und die Anonymität bei der Auswertung hingewiesen. Zusätzlich wurde in der Planungsphase versucht, das Stattfinden von vorangegangenen Tests und Prüfungen zu berücksichtigen, da diese das Antwortverhalten insbesondere bei der Erhebung von affektiven Merkmalen wie beispielsweise Interesse und Motivation beeinflussen können (Busker, 2014).

Für die beobachtenden Lehrkräfte wurde im Vorhinein ein teilstrukturierter Beobachtungsbogen gemäß Anhang B zur Verfügung gestellt, um gezielt den Fokus auf wesentliche Merkmale des Unterrichts zu lenken. Dabei sollte die Nutzung der angebotenen Hilfsmittel durch die Jugendlichen, deren Herangehensweise für die Bearbeitung der Aufgabenstellung und Organisation innerhalb der Gruppe beobachtet werden. Es sollten auch Äußerungen zum Schwierigkeitsgrad der Aufgaben und Überwindungsstrategien diverser Frustrationsphasen festgehalten werden. Ein weiterer Beobachtungsfokus war die Anzahl der gestellten Fragen an die Lehrperson und wie lange sie in etwa für die Lösungsfindung der jeweiligen Modelle brauchen.

2.4.3. Auswertungsmethoden

Die Nutzung von Fragebögen mit Likert-Skalen ermöglicht bei der Auswertung eine hohe *Objektivität*, da sich unabhängig von der bearbeitenden Person immer die gleichen Ergebnisse ergeben.

Die Plattform *IQES* ermöglicht beim Vorher-Fragebogen die Möglichkeit einer Unterscheidung der Antworten nach dem Geschlecht, da dies explizit abgefragt wurde. Bei einer Personenanzahl unter fünf pro Geschlechtszuordnung wird bei der automatischen Auswertung keine exakte Zuordnung der Personen zu den Aussagen, sondern nur der Mittelwert und die Standardabweichung angegeben. Beim Nachher-Fragebogen ist die Zuordnung nach dem Geschlecht nicht möglich, da es nicht als eigenes Item abgefragt wurde. Außerdem konnten die Antworten am Ende doch nicht - wie anfangs angenommen – den einzelnen Personen anhand ihrer selbst erstellten Codes zugeordnet werden.

Für deren *quantitative Auswertung* wurden die Daten jeweils gesondert pro Klasse und als Gesamtheit aller Proband*innen betrachtet. Dafür wurden pro Item der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet, indem den Ausdrucksformen der Zustimmung bzw. Ablehnung einer Aussage die Werte eins bis vier zugeordnet. Die Aussage „*stimme gar nicht zu*“ hat dabei den Wert eins erhalten. Aufgrund der kleinen Stichprobe und der diesbezüglich fehlenden Aussagekraft zu den Ergebnissen wurde auf die Durchführung eines Signifikanztests (z.B. *t-Test*) verzichtet.

Die Auswertung der Notizen von den Lernenden wurde gemäß einer Häufigkeitsverteilung durchgeführt.

Aufgrund begrenzter zeitlicher Ressourcen konnte keine gemeinsame Einschulung der Beobachter*innen stattfinden, weshalb sich bei der Art der Aufzeichnungen zum Teil doch Unterschiede ergaben. Daher wurden die in der Planungsphase festgelegten *Beobachtungsschwerpunkte* gemäß den vorhandenen Aufzeichnungen subjektiv schließlich den zwei Kategorien „soziale Gruppenprozesse“ und „Herangehensweise an die Aufgabenstellung“ zugeordnet.

Für die erste Kategorie wurden in Anlehnung an den Hochschullehrgang *flex-based learning* die Rollenbilder in offenen Teamprozessen übernommen. Zu diesem Zweck wurden stellvertretend fünf Tieren (Delfin, Elefant, Biber, Erdmännchen, Walross) gemäß ihren Wesenszügen¹⁶ typische Charaktereigenschaften in Bezug auf Gruppenarbeiten zugesprochen.

Bei der *Herangehensweise* wurden zunächst die Nutzungshäufigkeit der angebotenen Arbeitsmaterialien und zusätzlichen Hilfestellungen (schriftlich und verbal) aufgelistet. Danach erfolgt eine Übersicht zu den in der Gruppe erfolgten Arbeitsschritten und die Angabe, zu welchen Modellen sie gemäß den Beobachtungen bzw. Notizen Überlegungen angestellt hatten.

Aufgrund der vorhandenen Ressourcen wurden die Gruppe 5 in der 4C-Klasse und die Gruppe *H₂O* in der 4A-Klasse doppelt *beobachtet*. Der Vergleich der Aufzeichnungen bestätigte den Effekt aus der Literatur (Brückmann & Duit, 2014), gemäß jenem bei Fach- bzw. Fachfremden Kolleg*innen die Beobachtungsschwerpunkte jeweils anders gewichtet sind und somit Unterschiede auftreten.

Die Skizzen bzw. Fotos zu den Modellen wurden nach den jeweiligen Bindungstypen geordnet zusammengefasst.

¹⁶ Die Auswahl der Tiere und die Zuordnung der Wesenszüge ist zum Teil zu hinterfragen, aber bietet eine Möglichkeit zur Einteilung der Schüler*innen und deren Rollen in den Gruppenprozessen.

3. Validierung in Form eines Schulversuchs

Aus der in Kapitel 1.4 beschriebenen Forschungsfrage ergibt sich folgende Hypothese:

*Es wird angenommen, dass unter Berücksichtigung intrapersonaler, physikalischer und pädagogisch-sozialer Faktoren Kreativität als Ergänzung zur aktuellen Unterrichtsgestaltung eine geeignete Methode ist, um den Denkprozess von Schüler*innen bei der Modellbildung im Chemieunterricht zu stimulieren und sichtbarzumachen.*

Alle nachfolgenden beschriebenen Aktivitäten sind darauf ausgerichtet die obenstehende Hypothese zu validieren.

3.1. Planungsphase

Im Rahmen des Planungsprozesses wurden folgende Aspekte berücksichtigt:

- Lehrplan
- Fachspezifische Grundlagen
- Organisatorische Maßnahmen
- Charakterisierung der Schüler*innen

3.1.1. Kreativität im österreichischen Lehrplan

Mit dem Schuljahr 2024/25 tritt in der Sekundarstufe I in den Allgemeinbildenden höheren Schulen (AHS) in allen Unterrichtsfächern ein neuer Lehrplan in Kraft. Auch wenn dieser im Chemieunterricht erst in drei Jahren offiziell zur Anwendung kommt, wurde er in dieser Arbeit vorausschauend als Rechtsgrundlage genutzt.

Bereits beim *Allgemeinen Bildungsziel* des neuen Lehrplans (BMBWF, 2023) wird in den Leitvorstellungen Bezug zum *4K-Modell* genommen. Dabei wird Kreativität auf die gleiche Bedeutsamkeitsebene wie die drei anderen Kompetenzen – Kommunikation, Kollaboration und Kritikfähigkeit – gestellt.

Ebenso sollen die Schüler*innen bei der *fächerübergreifenden Kompetenz Entrepreneurship Education* als Kompetenzziel am Ende der Sekundarstufe I „Ursachen einer Problemlage in Projekt- und Lernsituationen erkennen sowie kreativ nachhaltige Ideen zur Problemlösung entwickeln“ (BMBWF, 2023) können.

Im Fachlehrplan des Unterrichtsfaches Chemie hingegen kommen weder die Begriffe *kreativ* noch *Kreativität* vor (BMBWF, 2023).

Im Unterrichtsfach Physik hingegen wird beispielsweise bereits in der Bildungs- und Lehraufgabe darauf hingewiesen, dass die Schüler*innen *Forschung als kreativen Prozess* als einen Kernaspekt des Wesens der Physik als Naturwissenschaft identifizieren sollen (BMBWF, 2023). Somit soll zumindest auf die Bedeutsamkeit von Kreativität in der naturwissenschaftlichen Forschung hingewiesen und so auch den Lernenden vermittelt werden. Folglich könnten möglicherweise etwaige Fehlvorstellungen zum Thema Kreativität und Naturwissenschaften (Bliersbach, 2017) bereinigt werden. Im Unterrichtsfach Chemie scheint dies aktuell jedoch noch nicht im Fokus der für den Lehrplan verantwortlichen Expert*innen zu liegen.

3.1.2. Bezug der Unterrichtseinheit zum Lehrplan

Die naturwissenschaftliche Grundbildung in der Schule verfolgt zwei essenzielle Ziele:

- 1) Vermittlung von spezifischem Fachwissen und
- 2) Entwicklung eines Verständnisses für die Arbeits- und Denkweisen in der jeweiligen Disziplin (Reiners, 2022).

Unter Berücksichtigung dieser beiden Aspekte kann die Bildungs- und Lehraufgabe des Chemieunterrichts (BMBWF, 2023) erfüllt werden, sodass die Schüler*innen eine Grundlage für ein lebenslanges Lernen erlangen und ein kritisches Urteilsvermögen entwickeln können. Dies ist im Kontext eines kompetenzorientierten Unterrichts vorgesehen, in welchem die Themen der Anwendungsbereiche mit jenen der Inhalts- und Handlungsdimensionen verknüpft und im Anschluss daran überprüft werden.

Im Rahmen dieses Schulversuchs sind in Bezug auf die Inhaltsdimension die beiden zentralen fachlichen Konzepte zu *Stoffen und ihre Teilchen* sowie *Struktur-Eigenschaftsbeziehungen* im Fokus gelegen. Diese Basiskonzepte können mit den Modellen von Johnstone (2000) und Mahaffy (2004) verknüpft werden. Die auf der makroskopischen Ebene beobachtbaren (Alltags-)Phänomene sollten mit Hilfe von diversen Teilchenmodellen auf der submikroskopischen Ebene erfasst und erklärt werden. Um chemische und physikalische Eigenschaften von Stoffen erklären zu können, ist unter anderem die Betrachtung von Art, Verknüpfung und räumlicher Anordnung der Teilchen auf der submikroskopischen Ebene erforderlich. Dabei treten oft Überschneidungen der beiden Inhaltsdimensionen auf, womit eine vollständige Abgrenzung dieser beiden Konzepte beinahe ausgeschlossen ist.

In Form einer kooperativen Gruppenarbeit sollten die Jugendlichen untereinander Wissen austauschen, miteinander Erkenntnisse gewinnen und interpretieren und darauf basierend gemeinsam Entscheidungen treffen und diese begründen. Dementsprechend erforderte die geplante Unterrichtseinheit von den Lernenden Kompetenzen in allen drei Handlungsdimensionen.

Die Inhalte der Unterrichtseinheit lassen sich ebenso zu mehreren Anwendungsbereichen zuordnen. Im Zentrum stehen folgende vier Themenbereiche:

- „Aggregatzustände und Eigenschaften von Stoffen,
- Bindungsmodelle, Strukturen und Wechselwirkungen,
- Symbolische und grafische Darstellungen auf Teilchenebene und
- Planen, Durchführen, Beobachten, Erfassen, Auswerten und Dokumentieren von Untersuchungen“ (BMBWF, 2023)

Die letzte Aufgabenstellung bezog sich eher auf den Arbeitsprozess bei der Gewinnung von Erkenntnissen als auf konkrete Fachinhalte. Unter diesen Rahmenbedingungen war bei der Untersuchung kein chemisches Experiment im klassischen Sinn gemeint, sondern die Entwicklung von Modellen. Als Vorwissen waren Inhalte aus dem Themenbereich „Aufbau von Atomen und Periodensystem“ (BMBWF, 2023) erforderlich.

Die Lernenden sollten somit im Rahmen der Aufgabenstellung ihr bisher erlerntes Vorwissen zu Modellen, Atomaufbau, Periodensystem und die darauf basierenden Basiskonzepte der Chemie nutzen, um in Kombination mit vorgegebenen Stoffeigenschaften den Entwicklungs- und Konstruktionsprozess von Modellen der chemischen Bindungstypen selbst in Form eines *entdeckenden Lernens* nachzuerleben (Neber, 1993).

3.1.3. Fachspezifische Grundlagen

Im folgenden Abschnitt folgen Erläuterungen zu jenen Inhalten, welche die Schüler*innen in vereinfachter Form bereits als Vorwissen aus vorangegangenen Chemiestunden oder anderen Unterrichtsfächern mitgebracht haben. Zusätzlich wird auf jene Inhalte eingegangen, die sie im Rahmen dieser Unterrichtseinheit für das Lösen der Aufgabenstellung angewandt und enden und in den weiteren Unterrichtsstunden genauer gelernt haben.

3.1.3.1. Aufbau der Atome

Bereits in der Antike hat es Bestrebungen gegeben, herauszufinden, woraus Stoffe tatsächlich bestehen. Aus dieser Zeit stammt der Begriff *atomos*, welcher mit unteilbar übersetzt wird. Aufgrund der Weiterentwicklung der Naturwissenschaften, der Zunahme an Wissen und der Möglichkeit zur Durchführung genauerer Experimente konnten die Vorstellungen zu den Atomen immer genauer spezifiziert werden. Gemäß aktuellem Stand der Wissenschaft bestehen Atome aus weiteren Bauteilchen, auf deren Entdeckungsgeschichte nun näher eingegangen wird. Diese neuen Erkenntnisse führten in weiterer Folge zur Falsifizierung der ursprünglichen Definition der Unteilbarkeit dieser kleinen Teilchen (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

Im Jahre 1911 führte der neuseeländische Physiker Ernest *Rutherford* den Streuversuch durch und zeigte damit, dass Atome aus einem elektrisch positiv geladenen *Kern* und einer elektrisch negativ geladenen *Hülle* bestehen¹⁷. Die Anzahl der positiven und negativen Ladungen ist gleich, weshalb Atome nach außen hin elektrisch neutral geladen sind. Gemäß seinen Ergebnissen muss der Atomkern im Verhältnis zur Hülle winzig klein sein, obwohl er beinahe die gesamte *Masse* des Atoms trägt¹⁸ (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

Zwei Jahre später 1913 entwickelte der dänische Physiker Niels *Bohr* dieses Modell weiter und postulierte, dass sich die elektrisch negativ geladenen Teilchen (kurz: *Elektronen e⁻*) in der Hülle auf bestimmten *Energienstufen* (auch Bahnen bzw. Schalen genannt) um den Kern bewegen. Aktuell gibt es insgesamt sieben Schalen, auf denen sich die Elektronen aufhalten können. Die höchstmögliche Anzahl an Elektronen pro Schale kann mit dem Term $2 * Nr.^2$ berechnet werden, wobei für *Nr.* theoretisch jede beliebige natürliche Zahl mit Ausnahme von Null eingesetzt werden kann. Je größer die Atome werden, desto mehr Schalen sind mit Elektronen besetzt (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

¹⁷ Aus didaktischer Sicht ist dieses Modell insbesondere in der Sekundarstufe I nicht so ergiebig, weshalb es im Chemieunterricht oftmals gar nicht behandelt wird.

¹⁸ Masse eines Protons: $1,673 * 10^{-27} \text{ kg}$

Masse eines Elektrons: $9,109 * 10^{-31} \text{ kg}$

Mit der Entdeckung des Vorhandenseins von elektrisch neutral geladenen Teilchen (kurz: *Neutronen* n^0) im Atomkern im Jahre 1932 von Rutherfords Schüler James Chadwick konnte erklärt werden, weshalb sich die ebenfalls darin befindlichen elektrisch positiv geladenen Teilchen (kurz: *Protonen* p^+) nicht gegenseitig abstoßen. Die Neutronen besitzen eine ähnliche Masse¹⁹ wie die Protonen und entsprechen somit gemeinsam in etwa der Gesamtmasse eines Atoms. Mit der *Massenzahl* wird die Summe aus Protonen und Neutronen beschrieben. Die Zahl der Protonen im Kern wird auch *Kernladungszahl* genannt und legt die Zugehörigkeit eines Atoms zu einem bestimmten Element fest. Demgegenüber kann bei einem Element jedoch die Menge der Neutronen variieren, wodurch sich die jeweiligen Atommassen unterscheiden. Diese verschiedenen Atomarten werden als *Isotope* eines Elements angegeben. Das Element Wasserstoff existiert beispielsweise in der Natur in Form von drei Isotopen (Protium, Deuterium, Tritium), welche jeweils zunehmend keines, eines und zwei Neutronen enthalten (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

Mit dem *Bohr'schen Schalenmodell* lässt sich der innere Aufbau von Atomen und in weiterer Folge auch die Stellung der Elemente im Periodensystem der Elemente (PSE) erklären. Jedoch weist es auch gewisse Grenzen auf, weshalb mit Hilfe neuerer Erkenntnisse aus der naturwissenschaftlichen Forschung das *Orbitalmodell* entwickelt wurde. Eine nähere Beschreibung von diesem würde den Rahmen dieser Masterarbeit sprengen und ist in der entsprechenden Literatur zu finden (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

3.1.3.2. Aufbau des Periodensystems der Elemente

Im PSE werden alle aktuell 118 bekannten Elemente in ansteigender *Ordnungszahl*, welche der Anzahl der Protonen im Atomkern entspricht, von links nach rechts aufgezählt. Die Anordnung der Elemente wurde so gewählt, dass sich Stoffe mit ähnlichen Eigenschaften in der Nähe voneinander befinden (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

¹⁹ Masse eines Neutrons: $1,675 \cdot 10^{-27}$ kg

Die achtzehn senkrechten Spalten werden als *Gruppen* bezeichnet, wobei diese insbesondere früher in Haupt- (1., 2., 13. – 18.) und Nebengruppen (3. – 12.) unterschieden wurden. Aus der jeweiligen Hauptgruppenzahl kann direkt die Anzahl der Elektronen in der äußersten Schale (Außen- bzw. Valenzelektronen) abgelesen werden. Die sieben waagrechten Zeilen im PSE werden auch *Perioden* genannt und entsprechen der Anzahl an möglichen besetzbaren Schalen im Bohr'schen Atommodell. Mit Ausnahme der ersten Periode, in welcher die Schale mit bereits zwei Valenzelektronen vollständig gefüllt ist, können in den übrigen äußersten Schalen jeweils maximal acht vorliegen (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

3.1.3.3. Chemische Bindungstypen

Die Anzahl der Valenzelektronen und die jeweiligen Bindungspartner beeinflussen, welche Art der chemischen Bindung eingegangen wird, wenn die Atome miteinander wechselwirken (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

Die Elemente der achten Hauptgruppe werden als *Edelgase* bezeichnet. Sie liegen aufgrund ihrer vollen äußersten Schale in einem energetisch günstigen und somit stabilen Zustand vor, weshalb sie auch als einzelne Atome vorkommen können. Alle anderen Atome müssen eine chemische Bindung eingehen, um diesen *Ideal- bzw. Edelgaszustand* erreichen zu können. Daraus lässt sich die *Oktett- bzw. Edelgasregel* ableiten, gemäß welcher die Atome diesen Idealzustand von zwei bzw. acht Außenelektronen in der äußersten Schale nur durch Aufnahme, Abgabe oder gemeinsamer Nutzung dieser mit anderen Atomen erreichen können (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

In der Valenzschale von *Metallatomen* befinden sich nur wenige Elektronen, weshalb es energetisch günstiger ist, diese beim Ausbilden einer chemischen Bindung abzugeben. Im Vergleich dazu sind die Außenschalen der *Nichtmetallatome* bereits mit mindestens vier Außenelektronen gefüllt, weshalb sie für das Erreichen des Idealzustandes entweder die vorhandenen Elektronen mit anderen Atomen teilen oder weitere Elektronen aufnehmen (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

Bei der *Atombindung* (kovalente Bindung, Elektronenpaarbindung) überlappen sich die Elektronenhüllen von mindestens zwei Atomen, wodurch sich anhand der

bindenden Valenzelektronenpaaren Moleküle ausbilden. Diese Bindung erfolgt insbesondere zwischen Nichtmetallen, da der Elektronegativitätsunterschied²⁰ zwischen den Bindungspartnern nicht groß genug ist, um die Elektronen ganz anzuziehen. Dies führt nach außen hin zu einer elektrischen Neutralität der Moleküle (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

Die Stoffe mit Atombindungen sind *Nichtleiter*, da keine frei beweglichen Ladungen verfügbar sind. Je nach Stärke der Kräfte, die zwischen den Molekülen wirken, können diese Stoffe bei Raumtemperatur (etwa 20°C) im festen, flüssigen und gasförmigen *Aggregatzustand* vorliegen. Die Ausprägung dieser zwischenmolekularen Kräfte ist abhängig von der Masse und den Elektronegativitätsunterschieden zwischen den Atomen innerhalb der Moleküle (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

Bei der *Ionenbindung* sind die Elektronegativitätsunterschiede zwischen den Atomen so groß, dass eine Atomsorte die bindenden Elektronenpaare kaum anzieht und die andere dafür umso mehr. Im Zuge dieser Elektronenübertragung bilden sich *Ionen* aus, die als elektrisch geladene Teilchen bezeichnet werden. Bei der Elektronenabgabe von Metallatomen bilden sich *Kationen*. Die Nichtmetallatome nehmen Elektronen auf, wodurch ein Elektronenüberschuss entsteht, und werden *Anionen* genannt (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

Die Kat- und Anionen ordnen sich auf der submikroskopischen Ebene aufgrund ihrer entgegengesetzten Ladungen regelmäßig in Form eines *Ionengitters* an. Aufgrund der starken zwischenmolekularen Wechselwirkungen liegen Stoffe mit Ionenbindung daher bei Raumtemperatur im festen *Aggregatzustand* vor. Als Festkörper sind Salze nicht elektrisch leitfähig, während sie hingegen als Salzlösungen bzw. -schmelzen aufgrund von vorhandenen frei beweglichen Ladungsträgern elektrische Leiter sind. Die Einwirkung einer mechanischen Kraft von außen kann zu einer Verschiebung der Ionen im Gitter führen, die ein Zerschneiden der Salzkristalle zur Folge haben. Aus diesem Grund werden sie auch als *spröde* bezeichnet (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

In der Sekundarstufe I wird bei der *Metallbindung* das *Elektronengasmodell* vermittelt. Dabei wird davon ausgegangen, dass die positiven Atomrümpfe der Metalle in einem

²⁰ Die Elektronegativität beschreibt die Fähigkeit eines Atoms in einer chemischen Bindung Bindungselektronen stärker anzuziehen.

regelmäßigen Gitter angeordnet sind und sich dazwischen alle abgegebenen Valenzelektronen als Elektronengas bewegen. Daraus ergibt sich, dass alle Metalle – mit Ausnahme von Quecksilber – bei Raumtemperatur als Festkörper vorliegen (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

Bei mechanischer Einwirkung von außen werden die positiven Atomrümpfe im Metallgitter verschoben, ohne dass sich etwas an den Wechselwirkungen innerhalb verändert. Daher gelten Metalle als verformbar bzw. *duktil*. Aufgrund dieser vorhandenen frei beweglichen Ladungsträger sind Metalle sehr gute elektrische Leiter. Mit diesem Modell können nicht alle optischen Metalleigenschaften erklärt werden. Daher wurde der metallische Glanz auf den Eigenschaftskärtchen in Abbildung 11b nur deshalb angeführt, um an die Alltagsvorstellungen der Schüler*innen anzuknüpfen (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010).

3.1.4. Organisatorische Maßnahmen

In diesem Abschnitt sind all jene Aspekte angeführt, die Gegenstand der vorangegangenen Planungsphase waren. Diese wurden vor der Durchführung mit dem Betreuer dieser wissenschaftlichen Arbeit und einer Fachkollegin besprochen und entsprechend überarbeitet, bevor sie den Lernenden zur Verfügung gestellt wurden.

3.1.4.1. Auswahl der Baumaterialien

Zu Beginn der Planung stand die Überlegung, ob für die Umsetzungsphase bereits vorgefertigte *Modelle* bzw. *Modellbaukästen* zur Vermittlung der chemischen Bindungen genutzt werden könnten. Die *Molymod*-Kästen sind beispielsweise als Lernbehelfe durch den Umstand charakterisiert, dass die Bauelemente (z.B. Kugeln und Stäbchen) in ihrer Ausprägung bereits ein Grundverständnis für die Bindungstypen erfordern. Durch bereits vorgegebene Farben und Bohrungen in den Kugeln sind beliebige Variationen, wie sie im Lernprozess auftreten können, nicht möglich. Für den kreativen Lernvorgang ist dies nicht zielführend, da angesichts der Inflexibilität das Ziel der Stimulierung einer eigenen Denkleistung nicht erreicht werden kann. Außerdem kann die Darstellung des Modells für die Ionenbindung bereits im Vorhinein zu Fehlvorstellungen führen, da zwischen den Anionen und Kationen keine stäbchenartigen Verbindungen vorliegen. Des Weiteren kann das Elektronengasmodell der Metalle mit diesen Baukästen nicht adäquat dargestellt werden.

Eine Inspiration dazu brachte eine Unterrichtsstunde, die im Rahmen der Schulpraxis im Bachelorstudium selbst geplant und gehalten wurde. Dafür sollten die Schüler*innen zum Abschluss des Kapitels *Chemische Bindungen* im Fernunterricht zu Hause eines dieser Modelle mit Hilfe von Gegenständen aus ihrem Haushalt konstruieren und mit Beschriftungen versehen. Die Abbildungen 2, 3 und 4 zeigen die von den Jugendlichen zum Teil sehr kreativen Zweckentfremdungen von Alltagsgegenständen.



Abbildung 2
Modell zur Atombindung
(eigene Aufnahme)

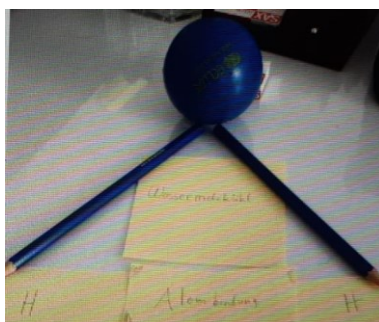


Abbildung 3
Modell zur Atombindung
(eigene Aufnahme)



Abbildung 4
Modell zur Metallbindung
(eigene Aufnahme)

Bei der Nutzung von Haushalts- und Bastelgegenständen war zu bedenken, ob hier nicht zu hohe Kosten in der Beschaffung entstehen. Außerdem könnte es zu irreparablen Abnutzungerscheinungen kommen, wodurch Materialien wegen zu großer Eingriffe nicht mehr wiederverwendbar sein könnten.

Die Idee für die Verwendung von *Süßigkeiten* stammte aus Unterrichtsgesprächen mit den Schüler*innen der 4A-Klasse, die sich des Öfteren darüber beklagten, dass im Kontext von Erklärungen z.B. bei den homo- und heterogenen Stoffgemischen²¹ oftmals auf Lebensmittel zurückgegriffen wurde und sie damit an das bevorstehende Mittagessen erinnert wurden. Folglich entstand die Idee, Lernende mit der Perspektive diese Naschereien am Ende der Unterrichtseinheit sogar noch verzehren zu dürfen, zusätzlich extrinsisch motivieren zu können. Um die Wirksamkeit nicht zu verlieren, sollte dieses Angebot mit Süßwaren im Unterricht jedoch sparsam eingesetzt werden (Kaufman & Beghetto, 2009).

Nach diversen Erhebungen in Lebensmittelgeschäften wurde eine entsprechende Auswahl an Süßigkeiten getroffen, welche in Abbildung 5 dargestellt ist. Als Auswahlkriterien dienten hierbei Farbe, Konsistenz, Menge und Kosten.

²¹ Beispiel: Ein Gemenge ist ein heterogenes Stoffgemisch aus mehreren unterschiedlichen Feststoffen wie z.B. ein Müsli.

Das Kalkül der Verfügbarkeit von nicht in diesem Kontext verwendbaren Materialien, wurde nicht weiterverfolgt.

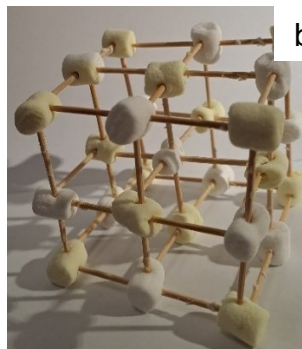


Abbildung 5 Angebot der zur Verfügung gestellten Süßigkeiten

Mit den verfügbaren Süßigkeiten wurden bereits im Zuge der Planungsphase mögliche *Lösungsvorschläge* für den Bau der Modelle exemplarisch ausprobiert. Ein paar dieser Optionen sind in den Abbildungen 6, 7 und 8 angeführt.



a.



b.

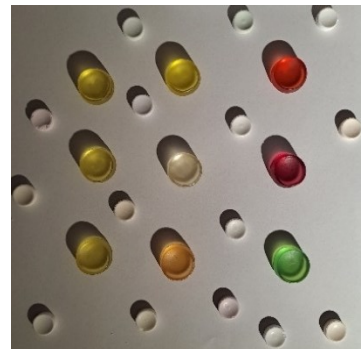
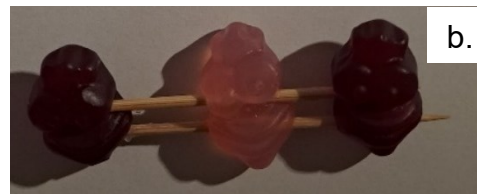


Abbildung 6 Modelle zur Ionenbindung

Abbildung 7 Modell zur Metallbindung



a.



b.

Abbildung 8 Modelle zur Atombindung

3.1.4.2. Organisation von Teilnehmer*innen

Als *Proband*innen* für die Durchführung wurden jene Klassen ausgewählt, in denen jeweils ein biologisches Geschlecht in der Anzahl dominierte ²². Die zeitliche Planung

²² Charakterisierung der Schüler*innen in Kapitel 3.1.5

von Doppelstunden in Absprache mit der Administration und die Verfügbarkeit von mindestens zwei Beobachter*innen pro Klasse bzw. Unterrichtsstunde war eine organisatorische Herausforderung. Angesichts der kurzen Vorbereitungszeit war deshalb die Einbeziehung zusätzlicher *Proband*innen* aus der dritten 4. Klasse dieses Jahrgangs nicht durchführbar.

Schlussendlich wurde der Termin für die *Umsetzung des Schulversuchs* an einem Tag mit einer einstündigen Pause zwischen den beiden Klassen festgelegt, um die Ergebnisse zu sichern und den Raum entsprechend wieder vorbereiten zu können. In Rücksprache mit der Direktion und einer Fachkollegin wurde beschlossen, dass eine vorangestellte Einholung der Erziehungsberechtigten zur Teilnahme der Schüler*innen an der Feldforschung nicht nötig sei. Die Durchführung dieses Projekts wurde als Teil des Unterrichts angesehen, sodass für die Lernenden kein zeitlicher Mehraufwand gegeben war und ihre Daten anonymisiert wurden. Mit den vom Unterrichtsentfall betroffenen Lehrkräften erfolgte ein Stundentausch.

3.1.4.3. Gestaltung der Stundenablaufs

Gemäß dem vorläufigen *Stundenablauf* in Abbildung 9 sollte die Stunde mit administrativen Tätigkeiten und einer Einführung über den Ablauf der Doppelstunde beginnen, gefolgt von der Durchführung des Vorher-Fragebogens. Nach einer ausführlicheren Erklärung der Aufgabenstellung sollte gemäß Abbildung 10 eine selbstständige Arbeitsphase in Kleingruppen folgen, deren Ergebnisse im Anschluss daran digital über MS Teams zu sichern sind. Den Abschluss sollte der Nachher-Fragebogen und ein Austausch im Plenum über die Funktionalität der Modelle einzelner Gruppen bilden.

Grundsätzlich ist es schwierig, bei der Umsetzung neuer Konzepte, insbesondere bei kreativen Aufgabenstellungen, einen konkreten *Zeitrahmen* anzusetzen, da die tatsächliche Bearbeitungszeit oft nicht eingeschätzt werden kann (Wilhelm & Hopf, 2014). Außerdem sollten zu viel Druck und Stress vermieden werden, damit die Lernenden es wirklich wagen, Risiken einzugehen und neue Ansätze ausprobieren (Beghetto & Kaufman, 2014). Vor diesem Hintergrund wurde daher die eigenständige Arbeitsphase für vierzig Minuten angesetzt. Dies entspricht auch der erwartbaren Aufmerksamkeitsspanne und ist in den regulären Unterricht im Schulalltag integrierbar.

Dauer	Überblicksgeschehen	LuL-Tätigkeit	SuS-Tätigkeit	Aktions- und Sozialform	Material/Medien
3 Min.	Administrative Aufgaben	Anwesenheitskontrolle	-	L/Klasse	Internetzugang
	Beschreibung: Sitzordnung überprüfen und fehlende SuS eintragen. Bei Bedarf die Gruppeneinteilung entsprechend anpassen!				
5 Min.	Überblick zum Ablauf der Doppelstunde	Erklärung des Ablaufs und etwaiger Hinweise	zuhören und aufkommende Fragen stellen	L/Klasse	
	Beschreibung: Die Stunde soll als Einführung für das nächste Thema „chemische Bindungen“ dienen. Im Rahmen der Masterarbeit kann ich mir die Zeit nehmen, um zu evaluieren, ob ein kreativer Ansatz gewinnbringend für den Lernerfolg und das Fähigkeitsselbstkonzept der Lernenden ist. Zu Beginn sollen die SuS den Fragebogen (Vorher) digital bearbeiten. Im Anschluss daran folgt die Arbeitsphase, in welcher sie mit Hilfe der Süßigkeiten Modelle bauen sollen. Danach werden die Ergebnisse digital gesichert und der zweite Fragebogen (Nachher) bearbeitet.				
7 Min.	Bearbeitung von Fragebogen (Vorher)	QR-Code für Fragebogen bereitstellen, bei technischen Schwierigkeiten helfen	Fragebogen online ausfüllen	SuS/Einzelarbeit	Internetzugang Umfrage auf PC öffnen QR-Code
	Beschreibung: Die SuS sollen mit ihrem Smartphone den QR-Code scannen und die Fragen gewissenhaft beantworten.				
7 Min.	Erklären der Aufgabenstellung	Vorstellen des Arbeitsauftrages und Präsentieren der Gruppeneinteilung	Zuhören und aufkommende Fragen stellen	L/Klasse	Gruppeneinteilung in PowerPoint-Präsentation Rollenkarten Chemieheft Arbeitsanweisung 3 Kärtchen mit Eigenschaften Lernposter Periodensystem
	Beschreibung: Die SuS erhalten den Hinweis, dass vor ihnen ein mehrere Arbeitsblätter und Materialien liegen. Es wird gemeinsam die Arbeitsanweisung besprochen. Dabei wird speziell noch einmal auf das chemische Dreieck von Johnstone hingewiesen. Des Weiteren wird kurz auf die Funktion der anderen Materialien hingewiesen. Die SuS werden darauf hingewiesen, dass die beiden anwesenden Lehrpersonen sie beim Arbeitsprozess beobachten und dazu Notizen machen werden. Wichtig: Es handelt sich hierbei um keine Leistungssituation! Die SuS sollen sich innerhalb der Gruppe miteinander austauschen und diskutieren, welche Ideen ihnen zu den jeweiligen Modellen einfallen. Fehler sind hier erlaubt und sollen Denkprozesse und Diskussionen anregen. Die Bearbeitungszeit ist für 40 Minuten vorgesehen, in denen sie so viel wie möglich der Aufgabenstellung schaffen sollten.				

Abbildung 9 Vorläufige Stundenplanung - Teil 1

40 Min.	Arbeitsphase	Moderatorin, bei Bedarf Verständnisfragen stellen, die SuS zum Nachdenken anregen sollen	selbstständige Bearbeitung der Aufgaben	SuS/Gruppenarbeit	Materialtisch mit Süßigkeiten, Zahnstocher, Küchenrolle, Scheren ... Tippkärtchen am LuL-Tisch
	Beschreibung: Die SuS sollen ihre Vorgehensweise protokollieren und begründen. Daran erkennt man, ob sie das bisher erlernte Wissen anwenden können und ihre Modelle funktionieren. Wichtig: Sie sollen sich die Materialien selbst aussuchen, die am Materialtisch zur Verfügung stehen. Jede Gruppe muss für sich allein arbeiten! Beispielfragen: - Kann das so existieren? - Was ist notwendig, damit ein Stoff elektrischen Strom leiten kann? - Was besagt die Oktett- bzw. Edelgasregel? Wichtig: Hilfsfragen sollen das Denken nicht ersetzen! (Ko-Konstruktion)				
10 Min.	Ergebnissicherung	Ergebnissicherung überwachen und schauen, dass alles fotografiert wird	Ergebnisse fotografieren und beschreiben bzw. beschriften und hochladen aus MS Teams	SuS/Gruppenarbeit	Smartphones, Modelle
	Beschreibung: Die SuS machen Fotos und Erklärungen von ihren Modellen.				
7 Min.	Bearbeitung von Fragebogen (Nachher)	QR-Code für Fragebogen bereitstellen	Fragebogen online ausfüllen	SuS/Einzelarbeit	Internetzugang Umfrage auf PC öffnen QR-Code
	Beschreibung: Die SuS sollen mit ihrem Smartphone den QR-Code scannen und die Fragen gewissenhaft beantworten				
21 Min.	Abschluss der Stunde	Anleitung einer Diskussion zur Funktionalität der Modelle	Zuhören, eigene Modelle beschreiben, selbstständige Kontrolle der Funktionalität der Modelle	L/Klasse	Modelle
	Beschreibung: Einzelne Gruppen sollen ihre Modelle im Plenum der Klasse vorstellen und deren Funktionalität erklären. Dabei sollen sich alle SuS an den Diskussionen beteiligen und dabei selbst ihr eigenes Modell auf Funktionalität kritisch betrachten. der erfolgreichen Ergebnissicherung und der Beantwortung des Fragebogens dürfen sich die SuS die Modelle aus Süßigkeiten mitnehmen bzw. aufessen.				

Abbildung 10 Vorläufige Stundenplanung - Teil 2

3.1.4.4. Gestaltung der Räumlichkeit

Unter Berücksichtigung der Literaturanalyse von Davies et al. (2013) und Haager (2019) war für eine positive Beeinflussung des kreativen Lernprozesses während dieser Einheit eine *Umstrukturierung* des Raumes geplant. Gemäß Abbildung 11 sollten somit die Tische entgegen den sonst üblichen Reihen in kleine Arbeitsinseln mit Abständen zueinander angeordnet werden. In der Mitte des Raumes war der Materialtisch und etwas abseits ein Tisch mit den Proben zu den Stoffgruppen vorgesehen. Dies sollte die Schüler*innen anregen zwischendurch für den kreativen Lernprozess förderliche Bewegungspausen einzulegen (Beeftink, van Eerde, & Rutte, 2008). Außerdem sollte diese räumliche Trennung der Gruppen idealerweise eine Minimierung von Wettbewerbssituationen und Vergleichen untereinander vorbeugen.

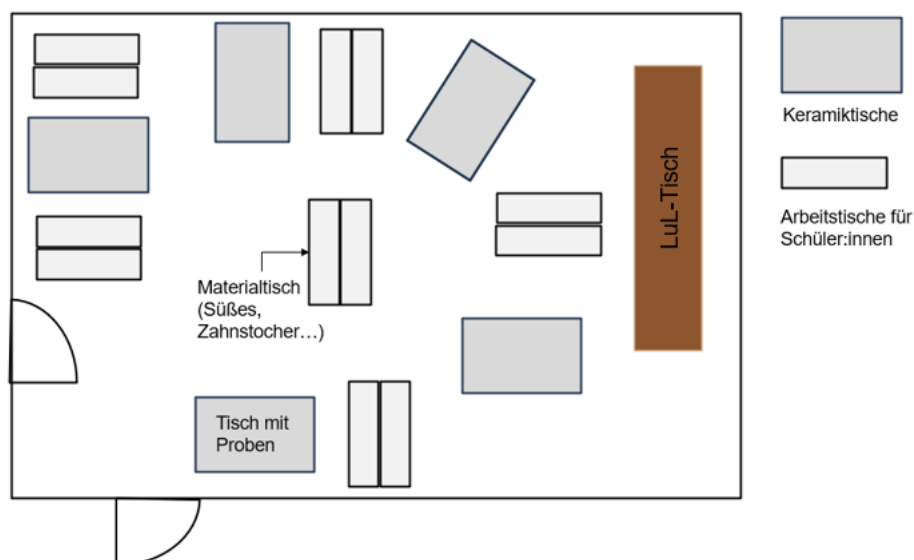


Abbildung 11 Plan für den Chemiesaal

3.1.4.5. Verfügbare Arbeitsmaterialien

In der *Arbeitsanweisung* gemäß Abbildung 12 sollte die inhaltliche Zuordnung des Themas noch einmal hervorgehoben werden. Diese sollte unter anderem auch die Lehrperson entlasten, wenn Schüler*innen bei den Erklärungen zu Beginn aufgrund der Vielzahl an Informationen etwas vergessen oder schlichtweg mit den Gedanken vom Thema abschweifen (von Aufschnaiter, 2014). Die Abbildung des chemischen Dreiecks (Johnstone, 2000) sollte den Lernenden noch einmal verdeutlichen, auf welcher Ebene die Inhalte gegebenenfalls nun zu verorten sind.

Arbeitsanweisung



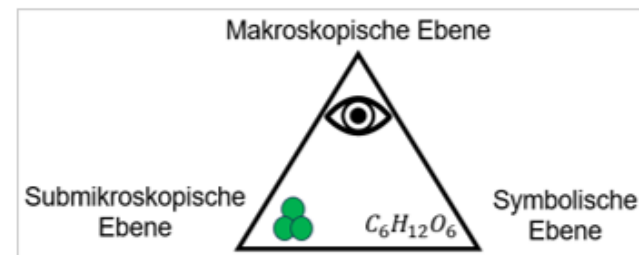
Einleitung

Ihr habt euch in den letzten Chemiestunden mit dem Aufbau von Atomen und dem Aufbau des Periodensystems beschäftigt.

Die Vielfalt der verschiedenen Stoffe auf der Welt beruht darauf, dass sich die Atome auf verschiedene Art und Weise miteinander verbinden. Durch diesen Zusammenschluss der Teilchen kann man auf der makroskopischen Ebene verschiedene Eigenschaften der Stoffe wahrnehmen.

Diese Stoffe sind chemisch auf drei verschiedene Arten miteinander verbunden und daher kann man sie anhand ihrer typischen Eigenschaften in drei (Stoff-)Gruppen einteilen:

- Metalle
- Salze
- Nichtmetalle

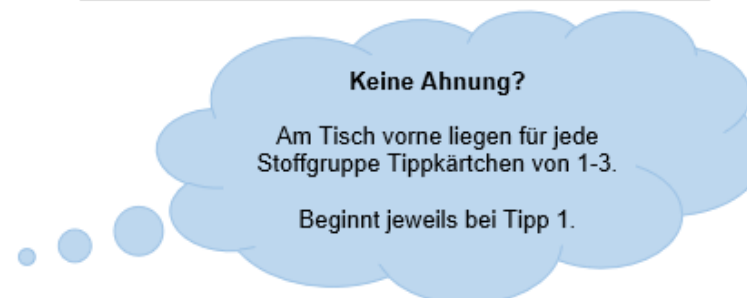


Aufgabenstellung

Vor euch liegen folgende Dinge:

- Anleitung
- 3 Kärtchen mit jeweils einer Stoffgruppe und ihren typischen Eigenschaften
- Chemieheft
- Merkblatt zu bisher gelernten Inhalten (Lernposter)

- (1) Überlegt euch einen **Gruppennamen** und teilt ihn der Lehrperson bzw. beobachtenden Person mit.
- (2) Überlegt euch innerhalb der Gruppe, wie die **Teilchen** in den jeweiligen Stoffgruppen auf der **submikroskopischen Ebene** miteinander verbunden sind bzw. miteinander wechselwirken.
Nutzt dafür die Kärtchen, das Chemieheft, das Merkblatt und euer bisher erworbenes Wissen aus der Schule und dem Alltag.
- (3) **Baut** nun mit den gegebenen Materialien jeweils ein **Modell** zu jeder dieser drei **Stoffgruppen** auf submikroskopischer Ebene.



Ergebnissicherung:

- (1) Macht jeweils zwei aussagekräftige **Fotos** von euren Modellen.
- (2) **Beschreibt** in wenigen **Sätzen** euer Modell. **Erklärt** dabei, warum **euer Modell** (unter Berücksichtigung der Eigenschaften der jeweiligen Stoffgruppen) so aussieht.
- (3) Stellt eure gesammelten **Ergebnisse** auf Microsoft Teams.

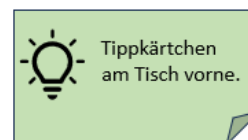
Abbildung 12 Arbeitsanweisung für die Schüler*innen

Zu Beginn war als erste gemeinsame kreative Tätigkeit die Bestimmung eines Gruppennamens geplant. Dann sollten sie Ideen sammeln, wie die Atome der jeweiligen Stoffgruppen auf der submikroskopischen Ebene miteinander wechselwirken bzw. miteinander verbunden sein könnten. Für die Bearbeitung war vorgesehen, dass nur Materialien genutzt werden sollten, welche in der Arbeitsanweisung vorgegeben waren. Somit war die Nutzung des Chemiebuchs untersagt, um überprüfen zu können, ob sie in der Lage sind, mit ihrem Wissen und den verfügbaren Materialien auf die chemischen Strukturen der Modelle schließen zu können. Dabei handelt es sich um eine *deduktive Herangehensweise*. Am Ende sollten sie die Instruktion zur Art der Sicherung ihrer Ergebnisse nachlesen können.

Nachdem die Schüler*innen die Nutzung von *PowerPoint-Präsentationen* im Unterricht gewohnt waren, sollte ergänzend während der Dauer des Arbeitsprozesses eine Übersicht zu den Aufgaben entsprechend der Abbildung 13 via Beamer gezeigt werden. Darauf erfolgt auch noch einmal eine Erinnerung an die Zuteilung von *Rollen* innerhalb der Gruppe, welche sie bereits aus vorangegangenen Arbeitsphasen kennen. Die Aufgabenbereiche sind in Anhang A näher beschrieben. Bisherigen Erfahrungen zufolge gewährleistet diese Übertragung von Pflichten auf einzelne Personen einen reibungsloseren Ablauf und stärkt ihr Verantwortungsbewusstsein. Im Falle einer kleineren Gruppengröße, hätte eine Person zwei Rollen in Doppelfunktion übernommen.

Aufgabenstellung

- **Gruppennamen** bestimmen
- **Rollen** verteilen
 - 3er Gruppe: Zeitmanager, Materialverantwortlicher, Protokollant
 - 4er Gruppe: Zeitmanager, Materialverantwortlicher, Protokollant, Lautstärkewächter
- **Aufgabenstellung** lösen (40 Min.)
jeweils ein passendes Modell mit den Süßigkeiten bauen für **Metalle**, **Salze** und **Nichtmetalle**
- **Ergebnissicherung**: Fotos + Beschreibung auf Teams laden



Es gibt **KEINEN** Spion!!

Abbildung 13 Übersicht zu den Aufgaben (Einblendung via Beamer)

Für die Kärtchen zu den *Eigenschaften* der jeweiligen Stoffgruppen wurden gemäß Abbildung 14 a - c möglichst eindeutige Charakteristika ausgewählt, die mit der Struktur der Bindungen erklärt werden könnten. Diese betreffen unter anderem ihren

Aggregatzustand bei Raumtemperatur, ihr Verformungs- bzw. Bruchverhalten und ihre elektrische Leitfähigkeit.

Salze	Metalle
a. Eigenschaften: - bei Raumtemperatur fest - bei Druck spröde (d.h. zerbrechen) - im festen Zustand Nichtleiter - Salzlösungen und -schmelzen sind Leiter <u>Beispiele:</u> Natriumchlorid, Kupfersulfat	b. Eigenschaften: - bei Raumtemperatur fest (<i>Ausnahme:</i> Quecksilber) - durch Druck verformbar (duktil) - gute elektrische Leiter - metallischer Glanz <u>Beispiele:</u> Kupfer, Aluminium
Nichtmetalle	
c. Eigenschaften: - Nichtleiter - bei Raumtemperatur fest, flüssig oder gasförmig - nach außen elektrisch neutral - bestehen aus mindestens 2 Atomen <u>Beispiele:</u> Kohlenstoffdioxid, Schwefel, Wasser, Zucker	

Abbildung 14 Kärtchen mit materialspezifischen Eigenschaften (a. – c)

Des Weiteren war angedacht aus der Chemiesammlung jeweils zwei bis drei Proben zu Beispielen dieser Stoffgruppen als *Anschauungsmaterial* gemäß Abbildung 15 zur Verfügung zu stellen.



Proben von links nach rechts:

Aluminium, Kupfer, Schwefel, Wasser, Zucker, Kupfersulfat, Natriumchlorid

Abbildung 15 Schnappdeckelgläser mit Proben zu den jeweiligen Stoffgruppen

Als Voraussetzung für eine erfolgreiche Erarbeitung neuer Inhalte im Zuge von Problemstellungen wird die *domänenspezifische Expertise* (Amabile, 1998) gesehen, welche im schulischen Kontext unter den Begriffen *Vorwissen* und *Vorerfahrungen* bekannt ist. Dabei handelt es sich um bereits bekannte Inhalte aus vorangegangenen Chemiestunden, anderen Fächern oder dem Alltag. In den Abschnitten 2.2.1 und 3.1.3

erfolgt eine Aufarbeitung des fachspezifischen Vorwissens zur geplanten Unterrichtseinheit. Für die Verdeutlichung der Zusammenhänge besagter Lerninhalte sollte den Lernenden als Ergänzung zum Chemieheft und dem Periodensystem zusätzlich ein *Lernposter* gemäß Abbildung 16 zur Verfügung gestellt werden.

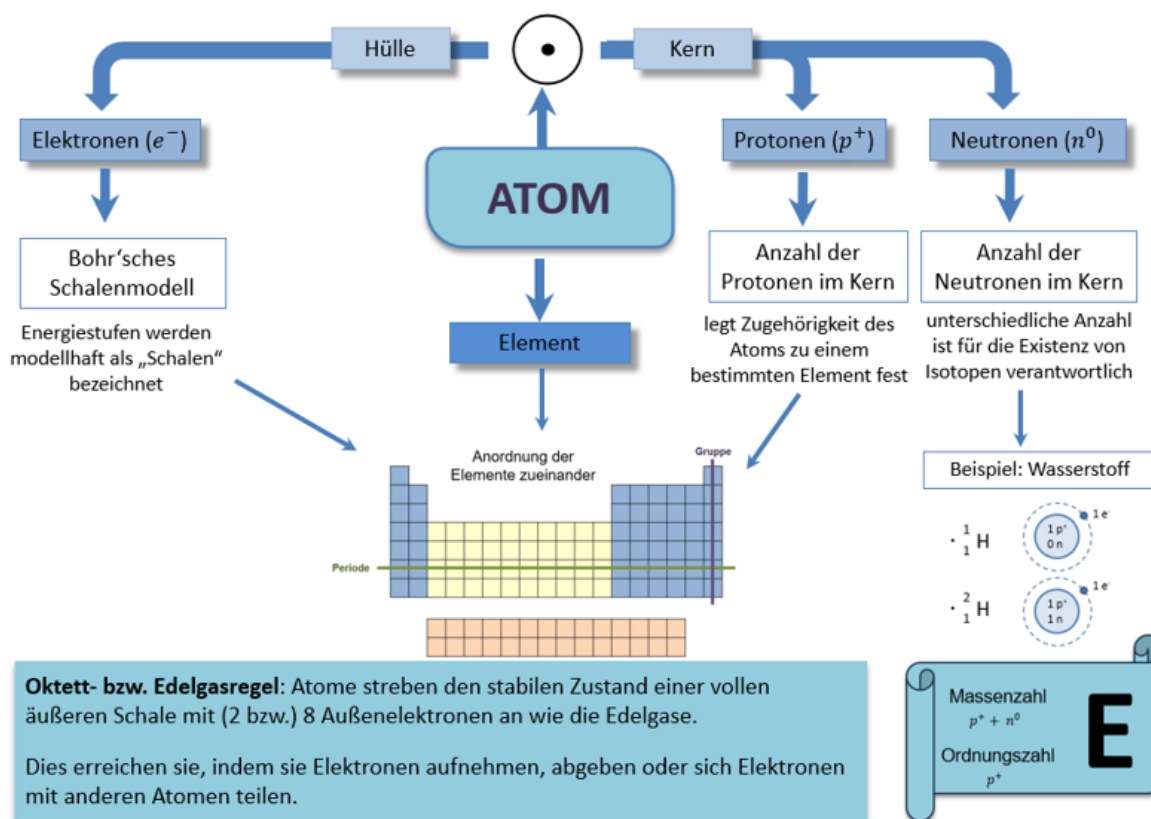


Abbildung 16 Lernposter (in Anlehnung an Geiger J., WiSe 09/10 LMU)

Beim Auftreten von Schwierigkeiten im Zuge der Bearbeitung sollen die Schüler*innen von der Lehrperson *ko-konstruktiv* Unterstützung in Form von *epistemischen Fragen*²³ erhalten, um den Denkprozess wieder in Gang zu bringen (Anton, 2019). Zusätzlich sollten *gestufte Lernhilfen* eingesetzt werden, um zur inneren Differenzierung nach *Leistung* und *Lerngeschwindigkeit* beizutragen (Reiners, 2022). Im Fall dieses Schulversuchs sollten auf den Tippkärtchen gemäß Tabelle 2 vor allem epistemische Fragen gestellt werden, die eine schriftliche Form der Ko-Konstruktion (Streller et al., 2019) darstellen und somit ebenfalls zur Entlastung der Lehrperson während der Umsetzung beitragen sollten. Anhand der Möglichkeit selbst bestimmen zu können, wann und ob sie Tipps in Anspruch nehmen, könnten die Lernenden Autonomie erleben (Deci & Ryan, 1993).

²³ In Abschnitt 2.3.2 sind Beispiele für wissensgenerierende und prozessregulierende Fragen.

Bei den Inhalten der Tipps wurde versucht, auf das Vorwissen der Jugendlichen aufzubauen und Wissen aus anderen Unterrichtsfächern miteinzubeziehen. Gemäß Lehrplan der 7. Schulstufe wurde beispielsweise das Elektronengasmodell der Metallbindung bereits im Physikunterricht vermittelt.

Die geplanten Hilfestellungen sollten bei Bedarf jeweils einzeln in aufsteigender Reihenfolge geholt werden. Auf ihre Verfügbarkeit wird in der Arbeitsanweisung explizit noch einmal hingewiesen, da erfahrungsgemäß oftmals nicht unmittelbar in Sichtweite befindliche Materialien im Eifer des Gefechts schnell vergessen werden.

Tabelle 2 Tippkärtchen zu den jeweiligen Stoffgruppen

<u>Tipps zu den Metallen:</u> (1) Denkt an den Physikunterricht im Vorjahr. Dort habt ihr bereits gelernt, wie Metalle auf submikroskopischer Ebene aufgebaut sind. (2) Metalle sind gute elektrische Leiter. Was ist erforderlich, damit elektrischer Strom fließen kann? (3) Damit elektrischer Strom fließen kann, braucht es frei bewegliche Teilchen. Stichwort: Elektronengas.
<u>Tipps zu den Salzen:</u> (1) <i>Hilfsmittel:</i> PSE, Lernposter Die Atome von manchen Elementen haben nur wenige bzw. viele Elektronen in der äußeren Schale. Wie verhalten sie sich, um den Edelgaszustand zu erreichen? (2) Atome können Elektronen aufnehmen oder abgeben. Sind sie dann immer noch neutral geladen? (3) Atome werden durch Abgabe oder Aufnahme von Elektronen zu positiv oder negativ geladenen Teilchen. Wie sind sie in einem Salz-Modell angeordnet, sodass sie beide gemeinsam darin vorkommen können?
<u>Tipps zu den Nichtmetallen:</u> (1) Wie lauten die chemischen Formeln von Kohlenstoffdioxid oder Wasser? Aus welchen Elementen sind diese zusammengesetzt? (2) <i>Hilfsmittel:</i> PSE, Lernposter Berücksichtige die Anzahl ihrer Valenzelektronen. Was können sie tun, um den Edelgaszustand zu erreichen? (3) Die Atome teilen sich die Valenzelektronen. In welcher Reihenfolge sind die Nichtmetallatome im Modell angeordnet?

3.1.4.6. Zusammensetzung der Arbeitsgruppen

Aufgrund vorangegangener positiver Erfahrungen sollten maximal bis zu vier Schüler*innen in einer Gruppe sein. Bei der *personellen Konfiguration* sollte einerseits aktiv auf geschlechtshomogene Konstellationen geachtet werden, um Effekten vorzubeugen, bei denen Mädchen in geschlechtsheterogenen Gruppen erfahrungsgemäß oftmals weniger präsent sind. Andererseits sollten Freund*innen gezielt getrennt werden, um eine Parallele zur Arbeitswelt zu schaffen, in welcher manchmal auch mit weniger bekannten Personen zusammengearbeitet werden muss. Je nach Möglichkeit sollte dann noch versucht werden, das bislang gezeigte Interesse an der Chemie und deren bisherigen Leistungen zu berücksichtigen. Dies kann zur Konfiguration eines möglichst großen Pools an vielfältigen Kompetenzen führen, die bei beim Lösen der Aufgabenstellung hilfreich sein könnten.

Damit den Jugendlichen in dieser, aufgrund der vorgegebenen Gruppeneinteilung nunmehr neuen sozialen Umgebung ein Lernprozess gelingen kann, sollte eine Wiederholung der wichtigsten *Regeln für eine Zusammenarbeit* gemäß Abbildung 17 erfolgen. Grundlegend für das gemeinsame *Brainstorming* zu Beginn ist einerseits das Aufschieben von Beurteilungen und andererseits die Überzeugung, dass eine große Anzahl die Qualität der Ideen unterstützt (Hany, 1993). Außerdem sollte hierbei erneut ausdrücklich betont werden, dass nicht funktionstüchtige Lösungsversuche nicht als Fehler, sondern als Erkenntnisgewinn zu deuten sind. Der Leistungsimpuls sollte idealerweise gemäß der intrinsischen Motivation aus der Begeisterung für die Tätigkeit selbst entstehen (Amabile, 1998).

Gruppenarbeit

- Diskussionen
- Austausch

Fehler sind erlaubt!



Abbildung 17 Goldene Regeln bei kooperativen Arbeitsformen

3.1.4.7. Inhaltliche Gestaltung der Fragebögen

Im Fokus des *Vorher-Fragebogens* stand die Erhebung der Teilnehmer*innen zur Einstellung gegenüber der Fachdisziplin Chemie und deren Erfahrungen zum aktuellen Chemieunterricht. Im Einleitungstext haben die Jugendlichen Instruktionen für die Bearbeitung erhalten. An dieser Stelle erfolgte auch ein Hinweis zur Anonymität der Daten, weshalb sie im nächsten Schritt einen individuellen Code generieren sollten, um bei der Auswertung einen Vorher-Nachher-Vergleich durchführen zu können. Den Abschluss der Vorbemerkungen bildete die Aufforderung sich beim Auftreten von Fragen zu melden und einen Dank für die Teilnahme.

Zunächst wurden allgemeine Daten zum Alter, Geschlecht und der Durchschnittsnote in den Schularbeitsfächern erhoben. Dann folgten Fragen zum grundsätzlichen Interesse an der Chemie, die Bedeutsamkeit und Anwendbarkeit chemischer Inhalte für die Jugendlichen in ihrem Alltag und inwiefern sie mit der Vermittlungsart der Themen im Unterricht umgehen können. Im darauffolgenden Teil wurden die Zufriedenheit, das Lerntempo und der Umgang mit Herausforderungen im Unterricht abgefragt. Danach wurde ihre Einschätzung zum Aneignen neuer Lerninhalte und der Verknüpfung an ihr Vorwissen erhoben. Den Abschluss bildeten Fragen zum Mehrwert von Gruppenarbeiten, zur Anstrengungsbereitschaft bei schwierigen Aufgaben und zu ihrer Wahrnehmung des Abstraktheitsgrads der Chemie.

Beim zweiten *Fragebogen* wurde nach der Angabe des persönlichen Codes anhand verschiedener Themenschwerpunkte ermittelt, wie es den Schüler*innen beim praktischen Arbeiten ergangen ist. Zu Beginn wurde erhoben, inwiefern die Aufgabenstellung motivierend, dem Wissensstand entsprechend verständlich formuliert und ob sie anhand der vorhandenen Materialien bearbeitbar war. Der nächste Fragenblock thematisierte den Spaßfaktor an der Lernsituation in Kombination mit kreativen Methoden und ob das selbstständige Ausprobieren mit Sachgegenständen das Verständnis für die Chemie gefördert hat. Des Weiteren wurde die Anwendbarkeit von Vorwissen aus dem Chemieunterricht, anderen Fächern und dem Alltag in dieser Lernsituation ermittelt und erfragt, ob die Süßigkeiten eine zusätzliche Motivation darstellten. Der Inhalt des dritten Abschnitts bezog sich auf den Mehrwert der Gruppenarbeit und die eigenen Beiträge dazu. Danach folgten Fragen zu den Erfahrungen beim Bauen der Modelle und ob sie deren Bauweise erklären bzw. begründen konnten. Zum Abschluss wurde

in Form von zwei offenen Fragen evaluiert, was den Jugendlichen bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung besonders Schwierigkeiten bereitet hat und welche zusätzlichen Informationen oder Materialien noch hilfreich bzw. notwendig gewesen wären.

3.1.5. Charakterisierung der Proband*innen

Für diese Feldforschung wurden gemäß Tabelle 3 Jugendliche einer AHS im 2. Wiener Gemeindebezirk herangezogen. Sie besuchten im Schuljahr 2023/24 die 8. Schulstufe und wurden gemäß der Stundentafel mit jeweils zwei Wochenstunden Chemie je Klasse unterrichtet.

Tabelle 3 Erstinformationen zu den Proband*innen

Schultyp	Schulstufe	Klasse	Lehrkraft	Schülerinnen	Schüler	Σ SuS
AHS	8	A	1	5	11	16
		C	1	10	5	17

Während des Untersuchungszeitraums wurden in der *4A-Klasse* 16 Jugendliche unterrichtet, von denen fünf weiblich waren und eine davon das Schuljahr wiederholte. Zwei andere Schülerinnen wiesen aufgrund ihrer vorangegangenen Schullaufbahn in der Ukraine bereits ein sehr fundiertes Wissen in der Chemie auf. Eine Unterrichtsstunde pro Woche verbrachten sie allerdings im Deutschförderunterricht. Die Schüler*innen haben seit der 7.Schulstufe aufgrund ihrer Wahl für das Realgymnasium Unterricht in Geometrischen Zeichnen erhalten.

Ein paar dieser Schüler*innen waren sehr wissbegierige und zeigten ihr Interesse mit häufigem Aufzeigen und dem Stellen von weiterführenden Fragen zu den Unterrichtsthemen. Außerdem versuchten manche von ihnen stets die neu erlernten Fachinhalte mit bereits vorhandenem Wissen aus der Physik zu verknüpfen. Zwei Schüler waren manchmal sehr hartnäckig und forderten des Öfteren die ganze Aufmerksamkeit der Lehrperson ein, bis ihre offenen Fragen geklärt wurden. Dies führte gelegentlich zu kurzzeitigen geistigen Abwesenheiten der weniger interessierten Lernenden im Unterricht. Ein anderer Schüler versuchte anhand von Witzen, seine Überforderung zu überspielen und drosselte somit auch das Tempo des Unterrichts. Die Mädchen beteiligten sich eher mit Vorsicht am Unterrichtsgeschehen, da sie – gemäß Nachfrage – oft Angst hatten, etwas Falsches zu sagen oder ihnen die Geschwindigkeit der Vermittlung von Lerninhalten zu schnell erfolgte.

In der *4C-Klasse* wurden 17 Schüler*innen unterrichtet, von denen zwölf Mädchen waren und ein Schüler dieses Schuljahr wiederholte. Diese Jugendlichen besuchten den Gymnasialzweig und lernten somit seit der 7. Schulstufe Französisch.

Der Unterricht in dieser Klasse war meist ruhiger und es die Lernenden meldeten sich im Vergleich weniger. Dies traf insbesondere auf die Mädchen zu, von denen der Großteil seit Schuljahresbeginn bis dato nur selten aufgezeigt hat. Die Buben hingegen erschienen etwas offener in ihrer Unterrichtshaltung und Mitarbeit. Zwei Schüler brachten bereits viel Vorwissen aus den unverbindlichen *NAWI-Übungen* mit und der Repeatingriff manchmal auf das Wissen vom Vorjahr zurück. Der Unterricht in dieser Klasse glich mehr einem Vortrag der Lehrperson, bei welchem die Lernenden oft nur wenig Interaktion in Bezug auf die chemischen Lehr- und Lerninhalte zeigten. Zusätzlich schien es, als ob sie kaum Fragen stellten, um die Inhalte zu verstehen, selbst wenn sie etwas nicht verstanden hatten.

Während der erste *Chemietest* in der 4C-Klasse bereits am 28. November 2023 mit einem Notendurchschnitt von 3,44 stattgefunden hat, wurde dieselbe Leistungsüberprüfung in der Parallelklasse erst nach dem Erhebungszeitraum durchgeführt.

3.2. Durchführungsphase der Unterrichtseinheit

In diesem Abschnitt werden all jene Ereignisse und Aspekte erläutert, die abweichend zur vorangegangenen Planung abgelaufen sind bzw. zusätzlich durchgeführt wurden:

- Eine Woche vor der Durchführung wurden die Kristallgittermodelle, die für gewöhnlich vorne am Tisch der Lehrperson liegen, aus dem Chemiesaal entfernt.
- Um die Arbeitslast aller Beteiligten am Tag der Durchführung zu minimieren, wurde die Bearbeitung des ersten Fragebogens bereits in der vorangegangenen Chemiestunde am Dienstag, 28. November 2023 durchgeführt. Damit konnte den Lernenden in der darauffolgenden Doppelstunde mehr Zeit für die Bearbeitung der Aufgabenstellung zur Verfügung gestellt werden.
- In der 4C-Klasse fand vor der Fragebogenerhebung der Chemie-Test statt und in der 4A-Klasse eine reguläre Unterrichtsstunde.
- Am Freitag, 01. Dezember 2023 wurde der Chemiesaal *vor dem Unterrichtsbeginn* gemäß Abbildung 11 umgestaltet und auf den Tischen jeweils Küchenrolle,

Zahnstocher, Pappteller und die Arbeitsblätter bereitgelegt. Weitere Materialien wurden für die Lernenden am Materialtisch frei zugänglich vorbereitet.

- Zur Vermeidung von Diskussionen zu den bereits festgelegten *Gruppeneinteilungen* wurden auf den Tischen Platzkarten vorbereitet, was zu einem ruhigen und beinahe beschwerdelosen Gruppenzusammenfindungsprozess führte.
- Die *Durchführung* in der 4C-Klasse hat in den ersten beiden Unterrichtsstunden (08:00 – 09:45 Uhr) und in der 4A-Klasse in der vierten und fünften Unterrichtsstunde (11:00 – 12:45 Uhr) stattgefunden. Nach der Anwesenheitskontrolle erfolgte die Erklärung der Aufgabenstellung und um 08:17 Uhr (4C-Klasse) bzw. 11:15 Uhr (4A-Klasse) haben die Lernenden jeweils zu arbeiten begonnen.
- Um 08:45 Uhr wurde bemerkt, dass die *Reihenfolge der Tippkärtchen* fälschlicherweise vertauscht wurde, weshalb die Jugendlichen informiert wurden, ab diesem Zeitpunkt, statt bei Tipp eins mit der Nummer drei zu beginnen.
- Im Zuge der Erklärungen zur Aufgabenstellung ist in der 4A-Klasse aufgrund von ständigem Nachfragen die *Besprechung der Diskussionsregeln* versehentlich entfallen.
- Um 11:20 Uhr erfolgte aufgrund von Bedarf für alle noch einmal ein allgemeiner Hinweis zu den drei Stoffklassen und eine Erklärung zur Oktettregel. Zudem wechselte ein Mädchen, weil sie sich ihrer Gruppe unwohl fühlte und nicht durchsetzen konnte, um 11:30 Uhr mit Erlaubnis der Lehrerin die Gruppe.
- In der ersten Arbeitsphase waren die meisten Schüler*innen mit dem erneuten Durchlesen der Arbeitsanweisung und den beigelegten Materialien beschäftigt. Bei der meist anschließenden Brainstorming-Phase danach begann die Häufigkeit an Fragen rasant zuzunehmen. Der Großteil davon bezog sich auf die Aufgabenstellung bzw. konkret auf die Bedeutung der Begriffe *Teilchen* und *Atome* in der Anweisung, die ihnen große Verständnisschwierigkeiten bereiteten.
- Auch im weiteren Verlauf der Bearbeitungsphase nutzten die Lernenden zum Teil sehr intensiv die Möglichkeit, von der Lehrperson immer wieder Hinweise meist in Form von epistemischen Fragen zu erhalten (Anton, 2019).
- Nach Ablauf von 40 Minuten (4C: um 08:57 Uhr, 4A: um 11:45 Uhr) erfolgte in beiden Klassen jeweils ein Hinweis der Fachkollegin, dass das vorgesehene

Zeitkontingent für diese Phase aufgebraucht sei. Aufgrund der jedoch noch nicht so weit fortgeschrittenen Modelle der Jugendlichen wurde die Arbeitszeit um ca. 30 Minuten verlängert.

- Beim Ertönen der Schulglocke um 08:55 bzw. 11:55 Uhr zur fünf Minuten Pause durften die Schüler*innen bei Bedarf auch den Chemiesaal verlassen.
- In der 4C-Klasse erfolgte um 09:09 Uhr der Hinweis, die *Modelle auch zu beschreiben* und um 09:24 wurden sie aufgefordert, nun die Fotos zu machen und auf MS Teams hochzuladen. Die praktische Arbeitsphase endete somit um 09:29 Uhr und dauerte insgesamt 72 Minuten.
- Die Lernenden der 4A-Klasse wurden um 12:18 Uhr darauf hingewiesen, dass sie nur noch fünf Minuten Zeit hätten, um ihre Ergebnisse hochzuladen. Auf Nachfrage eines Buben durfte eine Gruppe ihre Ergebnisse in Form von Videos dokumentieren. Die Arbeitsphase wurde um 12:24 Uhr beendet und dauerte insgesamt 69 Minuten.
- Der Ablauf der zweiten Fragebogenerhebung erfolgte aufgrund bereits vorhandener Erfahrung mit der Plattform reibungslos.
- Da die Jugendlichen beider Klassen nach dem Hochladen der Ergebnisse bereits sehr erschöpft wirkten, wurde auf die Besprechung einzelner Modelle im Plenum verzichtet. Stattdessen wurde in Form einer kurzen Motivationsrede von der Lehrperson noch einmal betont, dass die Lösung der Aufgabenstellung ohne vorangegangene Verinnerlichung der Herangehensweise in einem kreativen Arbeitsprozess nicht einfach gewesen sei. Außerdem sei die Leistung in dieser Unterrichtsstunde ihre Mitarbeit gewesen und nicht das am Ende erzielte Produkt. Das Machen von Fehlern war somit Teil des Lernprozesses und hat ihnen nur aufgezeigt, dass ihnen noch Wissen fehlte. Dies hat den Großteil von ihnen jedoch nicht davon abgehalten, dennoch etwas Neues auszuprobieren.

All jene in dieser Stunde aufgetretenen *kognitiven Konflikte* (Streller et al., 2019) waren Ausgangspunkt für die darauffolgenden Chemiestunden, in denen die Thematik der chemischen Bindungen unter Einbezug ihrer gebauten Modelle noch einmal aufgearbeitet wurde.

Die zusätzlich engagierten Lehrkräfte wurden instruiert, bei ihren *Protokollen* jeweils drei Gruppen zu beobachten. Die Fachkollegin war während beider Unterrichtssequenzen im Einsatz. In der ersten Doppelstunde übernahm der Physiklehrer der 4C-Klasse die zweite Beobachterrolle. In der 4A-Klasse erfolgte nach einer Stunde der Wechsel von einer Biologie-Geschichte-Lehrerin zu einer Deutsch- und Psychologie und Philosophie-Kollegin.

Aus Gründen der Praktikabilität wechselte die Fachkollegin in der 4A-Klasse auf eine *chronologische Dokumentation*. Außerdem haben die beiden fachfremden Kolleginnen im Eifer des Gefechts trotz vorangegangener Einweisung in die Handhabung der Beobachtungsbögen die *Rückseite* des Beobachtungsbogens übersehen. Eine Kollegin hat allerdings in der zweiten Stunde die noch fehlenden Informationen nach dem Ende der praktischen Arbeitsphase in Form eines Gedächtnisprotokolls ergänzt.

3.3. Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Daten, welche im Laufe der Untersuchung gesammelt wurden, in chronologischer Reihenfolge ihrer Entstehung dargestellt und ausgewertet.

3.3.1. Fragebogen (Vorher)

Der vollständige Fragebogen ist im Anhang in Abschnitt B zu finden. Für diesen Schulversuch waren gemäß Tabelle 4 insgesamt 33 Proband*innen vorgesehen.

Tabelle 4 Anzahl der Proband*innen und vollständig beantwortete Fragebögen

	4C-Klasse	4A-Klasse	Gesamt	
Insgesamte Proband*innenzahl	17	16	33	100 %
Anwesende Schüler*innen	16	12	28	85 %
Abwesende Schüler*innen	1	4	5	15 %
Vollständige Fragebögen	100 %	100 %	28	100 %

Zum Zeitpunkt der ersten Erhebung waren jedoch insgesamt fünf Personen abwesend. Daher wurde die reduzierte Anzahl der Jugendlichen, die diesen Fragebogen beantwortet haben, aus Gründen der Vereinfachung für die Auswertung als die Gesamtzahl der Personen (100 %) festgelegt. Die Pflichtfragen wurden in beiden Klassen jeweils vollständig beantwortet.

Tabelle 5 Allgemeine Daten der Proband*innen

Alter	4C-Klasse (N = 16)	4A-Klasse (N = 12)	Gesamt (N = 28)	
13 - 14	75 %	100 %	24	86 %
15 - 16	25 %	0 %	4	14 %
Geschlecht	4C-Klasse (N = 16)	4A-Klasse (N = 12)	Gesamt (N = 28)	
Weiblich	69 %	25 %	14	50 %
Männlich	31 %	75 %	14	50 %

Anmerkung: N ... Anzahl der Proband*innen

Gemäß den Angaben in Tabelle 5 war der Großteil der Schüler*innen beider Klassen 13 bzw. 14 Jahre *alt*. In der 4C-Klasse waren vier Mädchen bereits älter. Das Geschlechterverhältnis war im Gesamtwert beider Klassen ausgewogen. Die Kategorie *divers* wurde von niemandem ausgewählt.

Tabelle 6 Durchschnittsnote in Deutsch, Mathematik und Englisch

Durchschnittsnote	4C-Klasse (N = 16)	4A-Klasse (N = 12)	Gesamt (N = 28)	
gut	13 %	16,67 %	4	14 %
verbesserungsfähig	81 %	66,67 %	21	75 %
keine Antwort	6 %	16,66 %	3	11 %

Für die Ermittlung der Durchschnittsnote sollten die Jugendlichen ihre Zensuren aus dem letzten Schuljahr oder von den Schularbeiten aus dem aktuellen Schuljahr angeben. Zur Vereinfachung der Auswertung wurde in Tabelle 6 ein Wert über 2,5 als *gut* und jene unter 2,5 als *verbesserungsfähig* eingestuft. Mit der Ausnahme von je zwei Personen pro Klasse waren die Leistungen eher als der zweiten Kategorie zuzuordnen. Insgesamt machten drei Jugendliche keine Angabe dazu.

Tabelle 7 Einstellung der Schüler*innen zur Chemie und zum aktuellen Chemieunterricht

Fragen-Nr.	Inhalt	4C-Klasse (N = 16)		4A-Klasse (N = 12)		Gesamt (N = 28)	
		<i>M</i> ²⁴	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
V1.1	Interesse	2,19	0,81	2,83	1,14	2,46	1,02
V1.2	Spaß	2,31	0,98	2,75	1,16	2,50	1,09
V1.3	Wichtigkeit	2,25	0,83	2,50	1,19	2,36	1,01
V1.4	Alltagstauglichkeit	2,69	0,68	1,92	0,86	2,36	0,85
V1.5	Freizeitaktivität	2,06	0,90	2,67	0,94	2,32	0,97
V1.6	Vermittlungsart	2,69	0,92	3,08	0,76	2,86	0,87
V1.7	Wohlbefinden	2,94	0,90	2,67	0,85	2,82	0,89

²⁴ Für die Berechnung der statistischen Kenngrößen (*M* = Mittelwert, *SD* = Standardabweichung) wurden den Aussagen zur persönlichen Zustimmung- bzw. Ablehnungstendenz Zahlen von eins bis vier zugeordnet (z.B. „stimme völlig zu“ = 4).

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse zur *Einstellung der Lernenden Schüler*innen zur Chemie und zum aktuellen Chemieunterricht* dargestellt.

Tabelle 8 Lernsituation im Chemieunterricht

Fragen-Nr.	Inhalt	4C-Klasse (N = 16)		4A-Klasse (N = 12)		Gesamt (N = 28)	
		M	SD	M	SD	M	SD
V2.1	Aktuelle Lernsituation	2,75	0,75	3,17	0,55	2,93	0,70
V2.2	Lerntempo	2,81	0,81	3,33	0,62	3,04	0,78
V2.3	Unklarheiten	2,38	1,11	3,25	0,92	2,75	1,12
V2.4	Meldeverhalten	1,88	0,86	2,17	1,07	2,00	0,96
V2.5	Neue Lerninhalte	2,44	0,79	3,08	0,76	2,71	0,84
V2.6	Vorwissen	2,81	0,81	3,25	0,60	3,00	0,76
V2.7	Selbstständigkeit	2,50	0,87	3,00	0,58	2,71	0,80
V2.8	Diskussionen in Kleingruppen	2,63	0,99	3,00	0,82	2,79	0,94
V2.9	Anstrengungsbereitschaft	2,56	0,50	3,33	0,62	2,89	0,67
V2.10	Abstraktheit	2,88	0,70	2,75	0,83	2,82	0,76

Die Daten des Fragenblocks zur *bisherigen Lernsituation im Chemieunterricht* sind in Tabelle 8 aufgelistet.

3.3.2. Praktische Arbeitsphase – Dokumentation

In diesem Abschnitt werden zum einen die Notizen und Ergebnisse der Schüler*innen und zum anderen jene der Beobachter*innen dargestellt.

Eine Charakterisierung der Gruppenzusammensetzungen in beiden Klassen erfolgt in Tabelle 9.

Tabelle 9 Charakterisierung der Gruppen in der 4C- und 4A-Klasse

Klasse: 4C			Klasse: 4A		
Gruppenname	Geschlecht		Gruppenname	Geschlecht	
	Weiblich	Männlich		Weiblich	Männlich
5	1	2	H ₂ O	4	-
CHeMnl	-	3	DönerBude	-	3
SAS	3	-	VEJ	-	3
Stern	3	-	Nuke	-	3
M&M's	3	-	Elemente	1	2
Summe	Σ 10	Σ 5	Summe	Σ 5	Σ 11

3.3.2.1. Notizen der Schüler*innen

Die Forschungsmethode *Lautes Denken* ermöglicht, einen Zugang zu den kognitiven Denkprozessen der Proband*innen zu erhalten (Sandmann, 2014). Nachdem für diesen Schulversuch jedoch keine technische Ausrüstung für Video- oder Audioaufnahmen zur Verfügung standen, sollten die Jugendlichen all ihre Ideen und Denkansätze schriftlich festhalten.

Im Zuge der Beobachtungen war nicht vorgesehen, dass auch die Inhalte der jeweiligen Hilfestellung durch die Lehrperson notiert werden, da dies zur Überforderung der Beobachter*innen geführt hätte. Deshalb war eine Differenzierung der Notizen in (1) von den Lernenden selbst erzeugt und kombinierte Inhalte und (2) jene, die mit Unterstützung der Lehrperson generiert wurden, nicht möglich. Dabei ist anzumerken, dass je Gruppe auch unterschiedlich viel Hilfestellungen gegeben wurden.

Mit der folgenden Aufzählung wird beispielhaft ein Einblick in die, auf Nachfrage erhaltenen Hinweise von der Lehrperson zur Stoffgruppe der *Salze* gegeben:

1. Wie vielen Protonen und Elektronen liegen in einem neutralen Atom dieses Elements vor?
2. Wie können die Atome beider Elemente jeweils den Edelgaszustand erreichen?
3. Welche Ladung liegt im „Überschuss“ vor und wie sind diese Atome nun geladen?
4. *Verweis auf den Physikunterricht:* Wie Verhalten sich nebeneinander vorliegende Teilchen mit positiven und negativen Ladungen?
5. Wie könnten geladenen Atome in einem Kochsalzkristall angeordnet sein? Schaut euch dazu die Probe von Natriumchlorid²⁵ genauer an.
6. Was passiert auf der submikroskopischen Ebene, wenn man beispielsweise mit einem Hammer auf einen Salzkristall einwirkt? Weshalb zerbrechen Salzkristalle hierbei?

Nachdem die Lehrerin in beiden Klassen anfangs jeweils den Mitgliedern von zwei Gruppen den Hinweis mit der Nummer 1 gegeben hat, wurde er für alle noch einmal laut als Denkanstoß mitgeteilt.

²⁵ Siehe Abbildung 15

Mit Ausnahme von den Teilnehmenden dreier Gruppen (4C: *CHeMnl*, *Stern*; 4A: *H₂O*) machten sich alle Notizen zur Anzahl der Elektronen und Protonen in neutralen oder geladenen Atomen. Dafür nutzen sie die Elemente der Beispiele, die auf den Kärtchen zu den Eigenschaften²⁶ jeweils angegeben waren. Zusätzlich berechneten die Mitglieder von vier Gruppen (4C: *M&M's*, 5; 4A: *DönerBude*, *Nuke*) mit Hilfe der Atommasse auch die Anzahl der Neutronen. Die Teilnehmenden von sieben dieser Arbeitsgruppen (4C: *SAS*, *M&M's*, 5; 4A: *Elemente*, *H₂O*, *Nuke*, *VEJ*) machten sich Skizzen zum Aufbau des Ionengitters von Natriumchlorid. Außerdem notierten sich die Mitglieder zweier Teams (4A: *DönerBude*, *H₂O*) zusätzlich zum bereits ausgedruckten Informationsblatt noch einmal die Eigenschaften der Stoffe in ihren Aufzeichnungen.

Bei mindestens einer der drei Stoffgruppen zeichneten die Mitglieder von vier Gruppen (4C: *M&M's*, *SAS*; 4A: *Nuke*, *DönerBude*) in ihren Notizen *Atome* anhand der *Modellvorstellung von Bohr*.

Bei den Notizen zur Atombindung haben die Jugendlichen in einer Gruppe (4A: *Elemente*) ein Wasser-Molekül in linearer Form gezeichnet, andere (4A: *H₂O*) in gewinkelter Form und wieder andere (4A: *DönerBude*) haben eines mit Hilfe des Bohr'schen Atommodells anhand überlappender Schalen gezeichnet.

Für das Modell der Metallbindung haben die Mitglieder zweier Gruppen Skizzen angefertigt, wobei eine davon dem Ionengittermodells eines Salzes ähnelt (4A: *DönerBude*) und die andere (4C: *SAS*) gemäß der Literatur nicht eindeutig einem Metallgitter zugeordnet werden kann. Außerdem haben sich hierzu die Beteiligten von zwei Gruppen Inhalte aus dem Physikunterricht notiert (4C: 5: „um die Teilchen in einem z.B. Metallstück in Bewegung zu setzen, braucht man einen Leiter“ und 4A: *DönerBude*: „je schneller sich die Teilchen bewegen, desto heißer“).

²⁶ Siehe Abbildung 14 a. – c.

3.3.2.2. Beobachtungsprotokolle der Lehrpersonen

Im folgenden Abschnitt werden die sozialen Prozesse und die Herangehensweise der jeweiligen Gruppen an die Aufgabenstellung aufgearbeitet und dargestellt. Die Codierung für die Verweise zu den Beobachtungsprotokollen in Anhang C erfolgt mit einem *B* für Beobachtung, der Nummer der entsprechenden Abbildung und der jeweiligen Zeile im Gesamtprotokoll der beobachtenden Person. Bei Bedarf wird innerhalb der Codierung auch noch auf die Gruppe verwiesen.

Beschreibung der sozialen Prozesse innerhalb der Gruppen:

Um eine bessere Vorstellung von jenen, den Tieren zugesprochenen Wesenszügen zu erhalten, werden die Rollen stichwortartig in Tabelle 10 charakterisiert.

Tabelle 10 Beschreibung der Rollen in offenen Teamprozessen
(zit. n. Hochschullehrgang *flex-based learning*, Haim, K., 2023/24)

Elefant - übernimmt die Führungsrolle - entscheidet, was zu tun ist - entscheidet, wer was tun soll - versucht Kompromisse zu finden	Erdmännchen - sehr zurückhaltend - beobachtet und spricht nicht viel - weiß und kann einiges, sagt und tut aber wenig
Delfin - weiß viel - liefert viele Ideen - ist mitteilsam - diskutiert mit anderen über Ideen - ist motiviert	Walross - zeigt wenig Motivation - wenig Interesse - liefert keine Ideen - lässt sich leicht ablenken - lenkt die anderen oft ab
Biber - ist bei praktischen Umsetzungen sehr aktiv - arbeitet viel und konzentriert - ist experimentell sehr geschickt - probiert immer wieder was aus	

Im folgenden Abschnitt werden die Einnahme von Rollen und das Verhalten innerhalb der Gruppen in beiden Klassen gemäß den Beobachtungsprotokollen beschrieben und in der Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11 Analyse der Rollen in der offenen Lernsituation in der 4C-Klasse

Rolle	Elefant			Delfin			Biber			Erdmännchen			Walross		
Gruppenname	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
5	x			x		x	x							x	x
CHeMnI				x	x	x	x	x	x						
SAS	x			x	x	x		x				x			
Stern	x			x	x		x	x				x			
M&M's	x			x	x	x	x	x	x						

In der Gruppe 5 übernahm S1 (♀) unfreiwillig die Führung (B.39.8). Sie versuchte die Inhalte zu verstehen und die Aufgabenstellung zu bearbeiten (B.38.4). S2 (♂) fühlte sich auch unwohl im Setting, wirkte uninteressiert (B.38.4), war aber bemüht mitzumachen und wurde nach Instruktion von S1 zum Materialverantwortlichen (B.39.8,9). S3 (♂) wirkte gelangweilt (B.39.8) und zeigte keine Eigeninitiative, aber er reagierte auf S1 (B.38.4) und übernahm theoretische Überlegungen mit S1 (B.39.8). Die Zusammenarbeit innerhalb der Gruppe war von Unsicherheit begleitet (B.37.8 z.B. „Soll ich holen?“, „Hol, was du willst“). Insgesamt wirkten sie planlos (B.37.9) und überfordert (B.38.4). Dies teilten sie um 08:30 Uhr auch gegenüber Mitgliedern anderer Gruppen mit (B.38.2). Ihr Sitzposition wurde als schlaff bezeichnet und sie schauten aus dem Fenster (B.37.4).

Die Schüler der Gruppe *CHeMnI* wirkten motiviert, interessiert und neugierig (B.37.4). Wenn jemand ein *Aha-Erlebnis* hatte, reagierte die Buben freudig und drückten dies auch mit ihrer Körpersprache entsprechend aus (B.37.4). Insgesamt erfolgte die Bearbeitung der Aufgabenstellung gemeinsam und geordnet (B.37.8). Einmal beschuldigten sie einen Schüler aus Gruppe 5, ein Spion zu sein (B.37.9).

In der Gruppe *SAS* übernahm S1 die Führung, las vor und gab an, was zu tun war (B.39.8). Die beiden anderen Mädchen brachten sich mit Fragen ein (B.39.8). Beim Bauen wurde die Leitung an S2 übergeben, während S3 alles holte (B.39.8). S1 übernahm dann die Führung wieder und gab die Anweisungen (B.39.8). Insgesamt wirkten sie beim Arbeiten trotz Rückschläge motiviert (B.38.4).

In der Gruppe *Stern* übernahm S1 beim Bauen die Führung (B.38.3). Dann brachte sich S2 beim Bauen ein, nachdem sie realisiert hatte, was S1 machte und S3 half dann S2 (B.38.3). Die Mädchen waren von Beginn bis zum ersten Modell interessiert und motiviert (B.38.4). Während des Arbeitsprozesses blieb die Motivation bei S1 und S2 nach dem Tief bestehen, während S3 abschweifte (B.39.5).

Auch in der Gruppe *M&M's* übernahm S1 die Führungsrolle, indem sie die Fragen an die Lehrperson stellte und ansagte, was diskutiert wurde (B.37.8). Insgesamt zeigten alle insbesondere beim Bauen der Modelle starkes Interesse (B.37.8) und große Motivation (B.37.4). Sie lachten miteinander, brachten euphorisch mit Aussagen wie „Ich weiß, was wir machen, ich weiß, was wir machen...“ Ideen ein (B.37.4) und jede

wollte ihre Ideen präsentieren (B.37.8). Sie beobachteten beispielsweise auch das Verhalten von Gruppe 5 und kommentierten dieses (B.37.9).

Tabelle 12 Analyse der Rollen in der offenen Lernsituation in der 4A-Klasse

Rolle	Elefant			Delfin			Biber			Erdmännchen			Walross		
Gruppenname	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
H ₂ O	x			X	x		X	x				x			x
DönerBude				X	X		X	X				X	X	x	X
VEJ			x				X			X?			x	X	X
Nuke	x	X		X	X		X	X	x			X			
Elemente	x			x			x	X			x			x	x

Zusatz: In der Gruppe *VEJ* nahm S4 die Rolle eines Elefanten ein und in der Gruppe *H₂O* die Rolle eines Erdmännchens und auch Walrosses.

In der Gruppe *H₂O* übernahm S1 die Führung und erklärte die Aufgabe, während S2 nachlas. Die beiden Mädchen hatten aufgrund ihrer Vorerfahrungen bereits mehr Fachwissen, taten sich aber aufgrund der sprachlichen Barriere schwer, mit den anderen zu kommunizieren (B.40). Sie nutzten ihre Smartphones zum Übersetzen der Inhalte (B.40). Nach außen hin entstand der Eindruck, dass jede für sich allein arbeitete (B.41.3). Um 11:30 Uhr stieß S4 aus der Gruppe *VEJ* dazu (B.40). S3 und S4 wirkten beide etwas verloren (B.40), uninteressiert (B.43.8) und wenig motiviert (B.42.4). Offenbar warteten die beiden nur auf das Ende (B.43.5), während die anderen weiter herumprobierten (B.43.8).

S1 und S2 aus der Gruppe *DönerBude* gingen die Aufgabe konzentriert an (B.41.4). Die beiden waren motiviert und interessiert (B.42.4) und arbeiteten engagiert zusammen (B.43.8). Sie folgten rasch den Arbeitsanweisungen (B.42.4), während S3 nur zusah (B.43.8).

In der Gruppe *VEJ* blödelten zunächst alle Buben herum (B.40), bis schließlich nur noch S3 herumalberte und nichts ernst nahm. Daraufhin wurde er vom Rest der Gruppe kritisiert und S4 verließ genervt die Gruppe (B.40). Beim Bauen übernahm S3 schließlich die Führung, während S2 für Ordnung sorgte und S1 sich am Bauen beteiligte (B.40).

Zunächst übernahm S1 in der Gruppe *Nuke* die Führung, welche dann von S2 übernommen wurde, als er erkannte, was zu tun war (B.40). Alle drei Buben arbeiteten gemeinsam und erklärten auch einander die Inhalte (B.40). Insbesondere S1 und S2

arbeiteten hoch motiviert, während S3 zunächst vor allem die Rolle des Zusehers einnahm und erst beim Filmen der Videos aktiv wurde (B.40).

In der Gruppe *Elemente* übernahm S1 (♀) die Führung (B.43.8). S2 (♂) und insbesondere S3 (♂) wirkten, als ob sie die Aufgabe nicht sehr ernst nehmen würden (B.42.2). S1 versuchte die Buben zum Arbeiten zu motivieren, aber diese ließen sich von Schülern aus anderen Gruppen ablenken und aßen mehr als sie tatsächlich arbeiteten (B.42.4). Die Mitglieder dieser Gruppe wirkten überfordert (B.42.2) und es herrschte eine frustrierte und dann auch genervte Stimmung (B.41.4).

Beschreibung der Herangehensweise innerhalb der Gruppen:

Zunächst erfolgt in Tabelle 13 eine Übersicht zur Nutzung der angebotenen und erlaubten Arbeitsmaterialien und Lernhilfen. Die Verwendung vom PSE stand weder explizit auf der Arbeitsanweisung noch auf dem Beobachtungsbogen. In vorangegangenen Stunden wurde jedoch den Lernenden mitgeteilt, dass dies ein Werkzeug sei, welches sie immer nutzen dürfen. Daher wurde auch pro Tisch jeweils eines bereitgelegt.

Tabelle 13 Nutzung der Materialien und Hilfsmittel sowie Stellen fachlicher Fragen an Lehrerin

	Gruppenname	eigenes Heft	Lernposter	Kärtchen mit Eigenschaften	Probenmaterial	PSE	Fragen an Lehrerin	Tippkärtchen (Anzahl)
4C-Klasse	5	✓	✓	✓	✓	k.A.	9x	3
	CHeMnI	✓	✓	✓	✓	✓	6x	1
	SAS	✓	✓	✓	(✓)	k.A.	6x	2
	Stern	k.A.	✓	✓	(✓)	k.A.	5x	1
	M&M's	✓	✓	k.A.	k.A.	k.A.	4x	1
4A-Klasse	H ₂ O	✓	✓	✓	k.A.	✓	4x / oft	k.A.
	DönerBude	✓	✓	✓	k.A.	✓	selten	k.A.
	VEJ	k.A.	k.A.	k.A.	(✓)	k.A.	8x	k.A.
	Nuke	✓	✓	✓	k.A.	k.A.	6x	-
	Elemente	✓	k.A.	✓	✓	✓	oft	k.A.

Anmerkungen: ✓ ... Hinweis auf Nutzung von Beobachter*in; k.A. ... keine Angabe von Beobachter*in zur Nutzung; (✓) ... Nutzung nach Hinweis oder wird von Lehrperson gezeigt, - ... wurde nicht gebraucht

Für eine bessere Übersichtlichkeit wurden explizit erwähnte Phasen der Herangehensweise in den Tabellen 14 und 15 dargestellt. Unter dem Begriff *Theorie lesen* wird das Lesen und die Nutzung vom eigenen Heft, dem Lernposter, der Kärtchen mit den Stoffeigenschaften und dem PSE subsummiert.

Tabelle 14 Arbeitsschritte der Herangehensweise in der 4C-Klasse

Gruppenname	Theorie lesen	Ausprobieren	Notizen	Diskussion	Spio-nage	Ideen für Modelle zur		
						IB	MB	AB
5	x	k.A.	x	(x)	x	x	x	
CHeMnI	x	x	k.A.	x	k.A.	x	x	
SAS	x	k.A.	x	x	k.A.	x	x	
Stern	x	x	x	x	k.A.	x		x
M&M's	x	x	x	x	x	x	x	

Zu Beginn lasen sich die Mitglieder von *Gruppe 5* intensiv die Arbeitsanweisung durch, welche zur allgemeinen Konfusion führte (B.38.3). Sie beschäftigen sich sehr stark mit der Theorie (B.36.3) und notierten sich verschiedene Ansätze (B.38.3). Um 09:07 Uhr holten sie erstmals Materialien (B.38.3). Insgesamt baten sie die Lehrperson sehr oft um Hilfestellungen, welche ihnen jedoch nicht weiterhalfen (B.39.6). Während sie auf die Lehrperson warteten, schwiegen sie einander an (B.37.9). Die Tippkärtchen, deren Existenz sie in der ersten Stunde vergessen hatten (B.37.9), halfen ihnen auch nicht und ebenso war die Nachfrage bei anderen Gruppen erfolglos (B.36.1). Die Arbeitsphase war geprägt von Schweig- und Redephasen, Resignation und Pausen (B.39.5). Um 09:14 Uhr (nach 57 Minuten) hatten sie ein Modell für die Metallbindung gebaut, wofür starker Input von der Lehrperson notwendig war (B.37.7).

Anfangs wurden von den Schülern in der Gruppe *CHeMnI* die Arbeitsanweisung und intensiv die Theorie gelesen, welche im Anschluss daran diskutiert wurde (B.36.3). Um 08:30 Uhr holten sie Materialien zum Ausprobieren und danach folgte eine Kombination aus *Theorie lesen* und *ausprobieren* (B.36.3). Anfangs beschäftigten sie sich mit der Metallbindung und wechselten nach 20 Minuten zur Ionenbindung (B.36.3), wofür sie um 08:59 Uhr (nach 42 Minuten) ein Modell fertigstellten (B.37.7). Während des Arbeitsprozesses stellten sie Fragen an die Lehrperson, nutzten die Materialien und Tippkärtchen (B.37.5). Außerdem holten sie sich nach längerer Diskussion die Probe von Kupfersulfat zum Anschauen (B.36.1). Gemäß der subjektiven Interpretation des Beobachters wirkten sie kontrollierter bzw. organisierter als beispielsweise die Mädchen aus der Gruppe *M&M's* (B.36.3).

Die Schülerinnen in der Gruppe *SAS* begann damit die Arbeitsanweisung zu lesen und holte dann die Lehrperson zu Hilfe (B.38.3). Sie starteten zunächst mit Überlegungen zur Metallbindung, aber das Tippkärtchen um 08:32 half ihnen nicht (B.38.2). Um 08:33 Uhr begannen sie zu bauen (B.38.3) und stellten um 08:50 Uhr das erste Modell zur Ionenbindung und das zweite um 09:06 Uhr fertig (B.39.7). Zeitgleich zeigte ihnen die Lehrperson die Kochsalzkristalle (B.38.1). Einmal zeigte S2 auf, aber die Schülerinnen konnten das Problem selbst lösen. Danach standen sie jedoch an und *verstanden nichts* (B.39.5), sie probierten es aber nach einem Tipp weiter (B.39.5). Um 09:11 Uhr notierten sie sich Modelleigenschaften (B.38.3).

Nach dem Lesen der Arbeitsanweisung begann die Gruppe *Stern* direkt mit dem Bau des ersten Modells zur Ionenbindung (B.38.3), welches um 08:22 Uhr fertig war (B.39.7). Sie haben gut in die Arbeitsphase gestartet, lasen, überlegten und machten eine Tabelle auf einem Zettel²⁷ (B.39.5). Um 08:43 Uhr hatten sie ein Tief und verstanden die Aufgabe nicht (B.38.2), was zur Frustration führte (B.38.4). Dann holten sie sich eine Tippkarte und S1 und S2 starteten neu mit den Überlegungen (B.39.5). Um 09:08 Uhr haben sie mit einem neuen Modell begonnen (B.38.2), schauten sich um 09:09 Uhr die Proben nach einem Hinweis der Lehrperson an (B.38.1) und stellten um 09:19 Uhr ein sehr abwegiges Modell zur Atombindung fertig (B.39.7).

Die Mitglieder der Gruppe *M&M's* lasen zunächst die Theorie und holten nach 10 Minuten um 08:27 Uhr Materialien zum Ausprobieren (B.36.3). Ab diesem Zeitpunkt bestand ihre Vorgehensweise aus Ausprobieren, Diskussion und Nachfragen bei der Lehrperson (B.36.3). Sie suchten im Heft nach Informationen zu den Fragen: „Wir brauchen ein Modell, ich versteh das nicht? (B.36.1) Was für ein Modell?“ (B.37.6). Bei Stagnationen probierten sie immer weiter und stellten Fragen an die Lehrperson (B.37.5), wobei sie einmal fast 15 Minuten warten mussten, bis sie bemerkt wurden (B.37.9). Währenddessen haben sie Privatgespräche geführt, anstatt weiterzuarbeiten (B.37.9). Nach 39 Minuten um 08:56 Uhr stellten sie ein Modell zur Metallbindung fertig (B.37.7). Um 09:15 Uhr holten sie sich ein Hinweiskärtchen. Gemäß der subjektiven Interpretation des Beobachters wirkten sie vergleichsweise sehr experimentierfreudig (B.36.3).

²⁷ Dieser Zettel wurde nicht abgegeben!

Tabelle 15 Arbeitsschritte der Herangehensweise in der 4A-Klasse

	Theorie lesen	Ausprobieren	Notizen	Diskussion	Spionage	Ideen für Modelle zur		
						IB	MB	AB
H ₂ O	x	X	x	x	k.A.	x	x	x
DönerBude	x	x	x	x	k.A.	x	x	x
VEJ	k.A.	x	k.A.	k.A.	k.A.	x	x	x
Nuke	x	x	x	x	k.A.	x	x	x
Elemente	x	x	x	k.A.	k.A.	x	x	x

Die Schülerinnen der Gruppe *H₂O* haben um 11:25 Uhr damit gestartet, die Anweisung und die Arbeitsmaterialien zu lesen (B.40). S3 begann bereits zu Beginn damit, das Protokoll zu schreiben (B.41.4). Um 11:40 Uhr skizzierte S1 eine Kristallstruktur und 10 Minuten später holten sie sich Baumaterialien (B.40). Sie machten sich Notizen, wenn auch aufgrund der Sprachbarriere eher jede für sich, besprachen diese und diskutierten anhand der Arbeitsmaterialien (B.41.4). Sie erhielten von der Lehrperson um 12:01, 12:16 und um 12:21 Uhr Hilfe. Insgesamt wirkten sie überfordert (B.42.2).

In der Gruppe *DönerBude* lasen sich die Schüler zu Beginn die Arbeitsanweisung durch und stellten Verständnisfragen an die Lehrperson (B.41.1). Dann haben sie die Theorie besprochen, ordneten die Süßigkeiten an (B.41.3) und sahen in den Unterlagen nach (B.42.3). Sie hielten ihre Überlegungen schriftlich fest, diskutierten darüber (B.41.4) und ordneten die Süßigkeiten (B.41.3) daraufhin immer wieder um (B.43.5). Fünfzehn Minuten vor dem Ende gerieten sie in Eile, denn es fehlten ihnen noch zwei Modelle (B.41.2). Mit der Lehrperson nahmen sie eher selten Kontakt auf (B.43.6).

Die Mitglieder der Gruppe *VEJ* holte sich bereits um 11:23 Uhr Unterstützung von der Lehrperson und blödelte herum, da sie vermutlich überfordert waren (B.40). Auch um 11:30 Uhr und um 11:43 Uhr erhielten sie unter anderem zum Aufbau von Salzen anhand der Proben Hilfestellung und später noch zweimal bei den Metallen (B.40). Um 11:47 Uhr holten sie Materialien und begannen im Anschluss daran zu bauen (B.40). Sie stellten um 11:52 Uhr das Modell zur Ionenbindung fertig, um 11:59 Uhr folgte jenes zu den Nichtmetallen und um 12:22 Uhr war das zu den Metallen fertig (B.40).

In der Gruppe *Nuke* fragte zu Beginn S1 bei der Lehrperson nach, ob die Modelle auf Teilchen- oder Molekülebene gebaut werden sollten (B.40). Dann prüften sie mit der Arbeitsanweisung, ob alles vorhanden war (B.40) und S1 fasste gegen 11:23 Uhr alle Fakten auf dem Zettel zusammen (B.40). Nachdem S2 um 11:24 Uhr nicht wusste,

was los war, wurde die Lehrperson befragt (B.40). Daraufhin erklärte S2 den anderen die Inhalte. Sie schauten sich dafür noch einmal die Materialien und das Heft an, S1 machte Notizen und sie diskutierten darüber (B.40). Um 11:40 Uhr holten sie Materialien und begannen 9 Minuten später zu bauen (B.40). Das Video zur Ionenbindung war um 12:02 Uhr fertig, jenes zur Metallbindung um 12:11 Uhr und das für die Atombindung um 12:20 Uhr (B.40). Um 12:07 Uhr wollten sie sich einen Tipp holen, haben aber dann darauf verzichtet (B.40). S1 hatte um 12:19 Uhr noch einmal um Hilfe bei der Lehrperson gebeten (B.40). Zur Überwindung von Stagnationsphasen im Denkprozess fragten sie bei der Lehrperson nach und lasen die Theorie noch einmal durch (B.40).

Die Teilnehmenden der Gruppe *Elemente* begann damit, sich kurz die Theorie anzuschauen und dann begutachteten S1 und S2 die weiteren Materialien und Proben im Raum, während S3 sitzen blieb (B.41.3). Insbesondere anfangs verstanden sie die Aufgabenstellung nicht („Ich weiß nicht, was wir machen sollen. Schauen wir es uns einmal an.“) (B.41.4). Grundsätzlich probierten sie herum, fragten bei der Lehrperson nach, schrieben Notizen auf, nutzten die Materialien und bauten gemeinsam (B.42.3). Insgesamt brauchten sie oft Hilfestellung von der Lehrperson (B.42.2), weil sie die Aufgabenstellung nicht verstanden haben (B.41.2). Sie stocherten deshalb in den Gummibärchen herum (B.42.2) und gaben irgendwann auf (B.43.5).

Zusätzlich machte die Fachkollegin weitere fachliche Anmerkungen, die in Tabelle 16 aufgelistet sind.

Tabelle 16 Anmerkungen von der Fachkollegin

Gruppenname	Anmerkungen von der Fachkollegin
SAS	- Bauen „Kristallmodell“ – sind der Meinung das ist ein Atom! - Glauben Atome bauen zu müssen! (B.39.9)
Stern	Bauen Atome! → Irrige Annahme: sie müssen Atome bauen und dann verbinden! → Info auf Anleitung verbessern? (B.39.9)
Allgemein	Wurde im Unterricht die Bedeutung der Valenzelektronen hervorgehoben? (B.40)

3.3.2.3. Modelle der Schüler*innen

In diesem Abschnitt sind Skizzen und Bilder der selbst gebauten Modelle nach dem jeweiligen Bindungstyp geordnet und dargestellt. Die Beschreibungen wurden dem Wortlaut der Jugendlichen entsprechend übernommen.

Ergebnisse zum Modell der Ionenbindung (IB):



Erklärung:

Hier beschreiben wir das Natriumchlorid als Verbindung von Natrium und Chlor. Es gehört zu den Salzen. Links ist Chlor, rechts Natrium. Chlor gibt ein Elektron ab und Natrium nimmt eines auf, so bekommen die beiden eine Ladung und ziehen sich an und so entsteht NaCl.

Abbildung 18 IB_4C_CHeMnI



Erklärung:

Grün ist positiv geladen, weiß negativ. Positiv und negativ ziehen sich gegenseitig an. Das Modell soll Natriumchlorid (Kochsalz) darstellen.

Abbildung 19 IB_4C_SAS



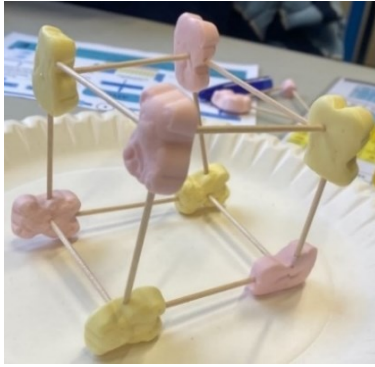
Erklärung:

Die positiv und negativ geladenen Teilchen ziehen sich gegenseitig an, und so entsteht unser Modell.

Abbildung 20 IB_4C_5

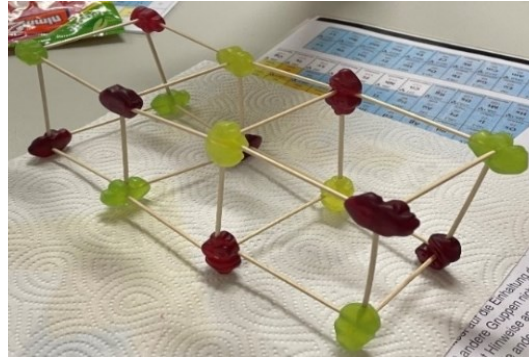
Anmerkung_IB_4C_M&M's: Diese Gruppe hat kein Foto ihres Modells hochgeladen. In ihren Notizen haben sie jedoch folgende *Erklärung* festgehalten:

Wir haben Dank Natriumchlorid die Form gesehen, und erfahren, dass die Teilchen + - - sind, weil sie sich dadurch anziehen. Wenn man den Salz zu Boden wirft und dann plötzlich – und – sind, dann stoßen sie sich ab und der z.B. Salzstück bricht ab in Teilchen, die + - - sind.



Erklärung – DönerBude:

Cl (gelb):	Na (pink):
17 p ⁺	11 p ⁺
18 e ⁻	10 e ⁻



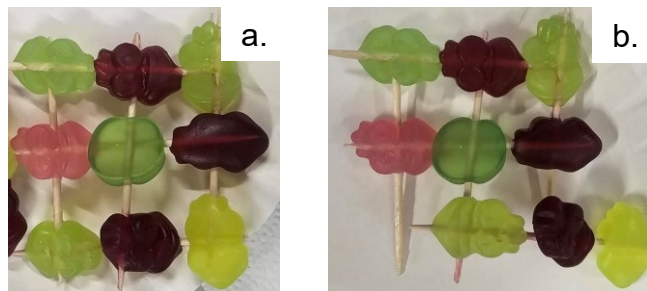
Erklärung:

Natriumchlorid: die roten sind Natrium mit 11 p⁺ und 10 e⁻ und die grünen sind Chlor mit 17 p⁺ und 18 e⁻

Erklärung – H₂O: (fehlend)

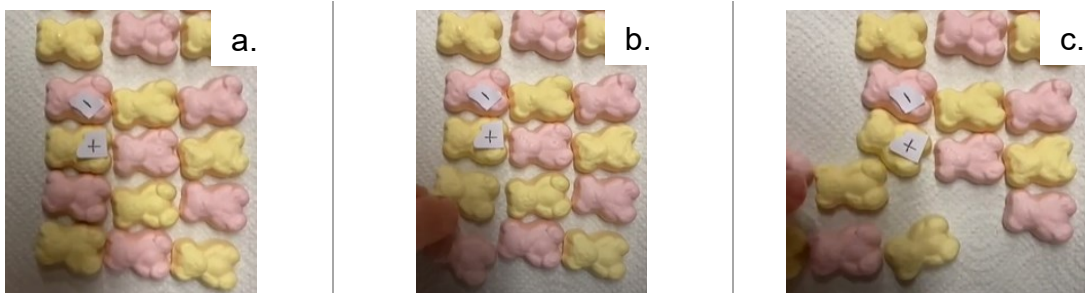
Abbildung 21 IB_4A_DönerBude und H₂O

Abbildung 22 IB_4A_VEJ



Erklärung: Grün = + , Rot = -

Abbildung 23 IB_4A_Elemente



Erklärung:

„Hier zu sehen ist Natriumchlorid. Die Gelben sind die positiv geladenen Natriumatome und die Rosanen sind die negativ geladenen Chloratome ... und die ziehen sich jeweils an.“

Erklärung:

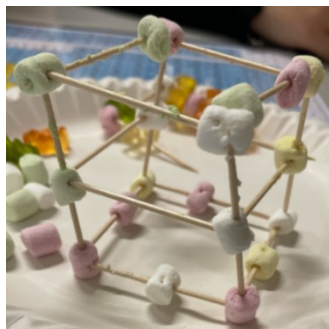
„Wenn die [Fruchtgummi] so verschoben werden, dann würde das nicht funktionieren, dann würden sie sich abstoßen, deswegen ist es so.“

Erklärung:

„Ähm wenn dann einmal darauf Druck ausgeübt wird, dann verschiebt sich das alles so und das ist dann schlecht ... zerbrochen. Und im festen Zustand sind sie auch Nichtleiter“

Abbildung 24 IB_4A_Nuke (Video-Transkription und Bildausschnitte)

Ergebnisse zum Modell der Metallbindung (MB):



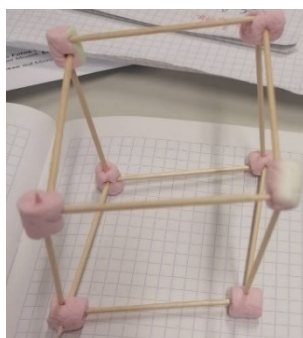
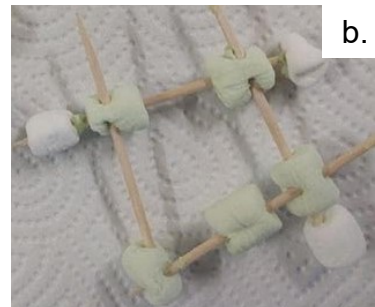
Erklärung:
Pink, grün, weiß = Kalium
Metall Modell Kalium (K)

Abbildung 25 MB_4C_Stern



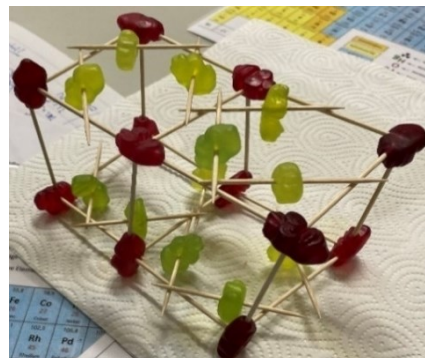
Erklärung:
Hier wird Aluminium links als einzelnes Atom gezeigt. Rechts zeigt mehrere Aluminium-Atome. Es gehört zu den Metallen.

Abbildung 26 MB_4C_CHeMnI



Erklärung:
Metall Al
Element
Alle [Fruchtgummi] gleich

Abbildung 27 MB_4A_DönerBude

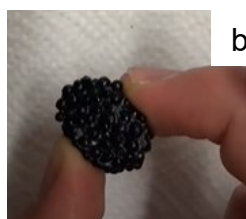


Erklärung:
Die roten sind Kupfer mit 29 Protonen und 28 Elektronen, die grünen sind frei herumkreisende Elektronen.

Abbildung 28 MB_4A_VEJ



Erklärung:
„Hier zu sehen ist ein neutral geladenes Kupferatom.“



Erklärung:
„Das ist bei Zimmertemperatur im festen Aggregatzustand. Und es ist sehr fest, aber es ist bei Druck verformbar, es biegt sich, es ist duktil, wie man es nennt. Wie man sieht, es ist nicht elastisch-plastisch.“



Erklärung:
„Und es leitet so den Strom gut durch im Stromkreis und es ist ein guter Leiter. Es ist trotzdem ein Widerstand, aber nicht so ein großer. Außerdem glänzt es so schön.“

Abbildung 29 MB_4A_Nuke (Video-Transkription und Bildausschnitte)

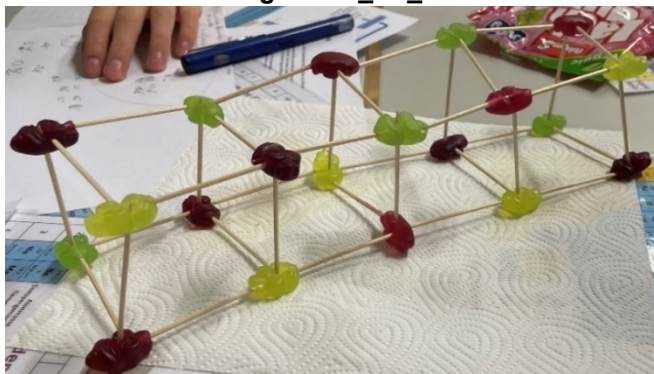
Ergebnisse zum Modell der Atombindung (AB):



Erklärung:

Links beschreibt die Verbindung von Wasser. Es entsteht aus 2 Wasserstoff Atomen und einem Sauerstoff Atom. Formel: H_2O . Rechts beschreibt die Verbindung, doch verkürzt. Es gehört zu den Nichtmetallen.

Abbildung 30 AB_4C_CHEMNI



Erklärung:

H_2O Wasser: grün Wasserstoff $1p^+$, $0e^-$; Sauerstoff $8p^+$, $10e^-$

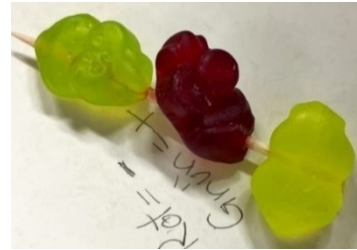
Abbildung 33 AB_4A_VEJ



Erklärung:

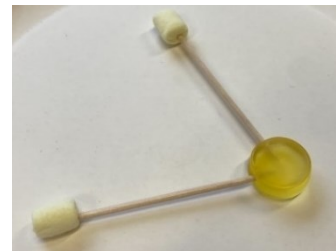
„Hier zu sehen ist Wasser, hier [in schwarz, außen] sind Wasserstoffatome, die neutral geladen sind und hier ist ein Sauerstoffatom [in rot] das neutral geladen ist.“

Abbildung 35 AB_4A_Nuke (Video-Transkription und Bildausschnitte)



Erklärung: (fehlend)

Abbildung 31 AB_4A_Elemente



Erklärung: (fehlend)

Abbildung 32 AB_4A_H2O



Erklärung: (fehlend)

Abbildung 34 AB_4C_Stern



Erklärung:

„Die sind aber Nichtleiter, also wenn ich hier jetzt einen Stromkreis bauen möchte mit meinen Leitern, es ist ein zu großer Widerstand [die 3 Atome], da geht kein Strom durch. Bei Raumtemperatur sind sie ... können sie alle drei ähm ... normalerweise können Nichtmetalle alle drei Aggregatzustände haben, aber bei Wasser ist es flüssig in dem Fall bei Raumtemperatur. Es sind eben zwei Atome, eigentlich normalerweise mindestens. Hier sind es aber drei, weil es ja H_2O ist, also man hat zwei Wasserstoff und ein Sauerstoffatom.“

3.3.3. Fragebogen (Nachher)

An der zweiten Erhebung nahmen gemäß Tabelle 17 aktiv 31 Schüler*innen teil.

Tabelle 17 Anzahl der Proband*innen und Fragebögen

	4C-Klasse	4A-Klasse	Gesamt	
Insgesamte Proband*innenzahl	17	16	33	100 %
Anwesende Schüler*innen	15	16	31	94 %
Abwesende Schüler*innen	2	0	2	6 %
Vollständige Fragebögen	93 %	94 %	29	94 %
Unvollständige Fragebögen	7 %	6 %	2	6 %

Zum Zeitpunkt der Erhebung waren in der 4C-Klasse zwei Mädchen abwesend und eine Person hat den Fragebogen aufgrund eines Missverständnisses gar nicht begonnen. In der 4A-Klasse hat eine Person den Fragebogen nur bis zum ersten Block V1.2 bearbeitet. Daher wurden bis zum Block V1.2 insgesamt 30 Schüler*innen als 100 % angenommen und ab Block V1.3 wurden die 100% dann für 29 Schüler*innen festgelegt. In Tabelle 9 ist eine Übersicht zur Geschlechterverteilung der Lernenden in den Arbeitsgruppen.

Tabelle 18 Aufgabenstellung

Fragen-Nr.	Inhalt	4C-Klasse (N = 14)		4A-Klasse (N = 16)		Gesamt (N = 30)	
		M	SD	M	SD	M	SD
N1.1	Motivation	2,64	0,89	3,19	0,95	2,93	0,96
N1.2	Wissensstand	2,29	0,80	3,00	0,94	2,67	0,94
N1.3	Verständlichkeit	2,14	0,64	2,50	0,87	2,33	0,79
N1.4	Materialien	3,79	0,41	3,63	0,60	3,70	0,53

Im ersten Block wurden gemäß Tabelle 18 Fragen zur Aufgabenstellung gestellt.

Tabelle 19 Lernsituation

Fragen-Nr.	Inhalt	4C-Klasse (N = 14)		4A-Klasse (N = 15)		Gesamt (N = 29)	
		M	SD	M	SD	M	SD
N2.1	Spaß	3,21	0,56	3,20	1,05	3,21	0,85
N2.2	Selbstständigkeit	2,57	0,62	3,13	0,96	2,87	0,86
N2.3	Selbstständigkeit	2,79	0,67	3,27	0,85	3,04	0,81
N2.4	Vorwissen	2,79	0,86	2,87	0,96	2,83	0,91
N2.5	Vorwissen	2,07	0,80	2,33	1,01	2,21	0,92
N2.6	Vorwissen	2,29	0,88	2,73	0,85	2,52	0,90
N2.7	Süßigkeiten	2,50	0,91	3,53	0,81	3,05	1,00

Im zweiten Fragenblock wurden gemäß Tabelle 19 die Wahrnehmungen der Schüler*innen zur Lernsituation erhoben.

Tabelle 20 Arbeit innerhalb der Gruppe

Fragen-Nr.	Inhalt	4C-Klasse (N = 14)		4A-Klasse (N = 15)		Gesamt (N = 29)	
		M	SD	M	SD	M	SD
N3.1	Wissens-kommunikation	2,93	0,80	3,40	0,80	3,18	0,83
N3.2	Diskussionen	2,86	0,64	2,60	1,02	2,72	0,87
N3.3	(aktive) Mitarbeit	3,64	0,61	3,40	0,80	3,51	0,72

Die Fragen von Abschnitt drei widmeten sich gemäß Tabelle 20 der Wahrnehmungen zur Arbeit innerhalb der jeweiligen Gruppen.

Tabelle 21 Ergebnis der Gruppenarbeit

Fragen-Nr.	Inhalt	4C-Klasse (N = 14)		4A-Klasse (N = 15)		Gesamt (N = 29)	
		M	SD	M	SD	M	SD
N4.1	Metalle	2,07	1,16	2,60	1,20	2,35	1,21
N4.2	Salze	2,50	0,91	2,93	1,18	2,73	1,08
N4.3	Nichtmetalle	2,00	1,07	2,60	1,20	2,32	1,18
N4.4	Erklärung der Bauweise	2,93	0,70	2,87	1,02	2,90	0,88

Im letzten Block wurden gemäß Tabelle 21 Fragen zu den Ergebnissen der Gruppenarbeit gestellt.

Zum Abschluss konnten die Lernenden in Form von zwei offenen Fragen angeben, was ihnen bei der Aufgabenstellung besonders schwergefallen ist und welche Informationen bzw. Materialien ihnen für die Lösungsfindung noch geholfen hätten bzw. notwendig gewesen wären. Die Antworten zu dieser nicht verpflichtenden Frage sind in Tabelle 22 und 23 dargestellt und wurden sprachlich genauso übernommen, wie sie die Schüler*innen mit ihren Smartphones aufgeschrieben haben.

Tabelle 22 N5 Gib an, was dir bei der Aufgabenstellung besonders schwer gefallen ist.

4C-Klasse (N = 14)		4A-Klasse (N = 13)	
N5.C.1	Ich habe nicht ganz verstanden, was die Aufgabenstellung eigentlich von uns wollte.	N5.A.1	Ich habe manche Sachen nicht verstanden
N5.C.2	Die Aufgabenstellung weißt nicht auf ein Ziel oder macht das unverständlich. Eher mit einem Beispiel beschreiben.	N5.A.2	Am Anfang alles zu verstehen

N5.C.3	Die Modelle zu bauen oder eif zu verstehen wie man das bauen muss	N5.A.3	Modelle aufbauen
N5.C.4	Die Süßigkeiten waren klebrig	N5.A.4	Die aufgabe zu checken
N5.C.5	Ich habe es nicht so gut verstanden und die Lehrerin musste es mir erklären. Am Ende hat meine Gruppe nur das Modell mit dem Salz gemacht, weil alles so lange gedauert hat zu verstehen.	N5.A.5	Ich habe am Anfang nicht wirklich verstanden, was man machen muss. Wie man die Modelle jetzt baut? Wieso man sie so baut? Woher weiß ich wie man sie baut oder ob es richtig ist? Woran erkenne ich welches Modell für welchen Stoff steht? Aber es hat sehr spaß gemacht besonders weil wir in anderen Fächer nicht solche experimente machen und ich finde so lernt man auch besser was weil man durch spaß lernt.
N5.C.6	Die Verbindung Natriumchlorid mit Süßigkeiten zu bauen	N5.A.6	Ich hatte manche Fragen/Aufgabenstellungen nicht verstanden.
N5.C.7	Ich habe am Anfang die Aufgabenstellung nicht verstanden, wodurch meine Gruppe nicht verstanden hat, was wir machen sollen.	N5.A.7	Die süßigkeiten nicht zu essen
N5.C.8	Das zu verstehen	N5.A.8	Sie zu verstehen
N5.C.9	Das aufbauen der Modelle	N5.A.9	Die Süßigkeiten nicht gegessen):
N5.C.10	Die erklärungen der aufgabenstellungen waren bisschen schwierig zu verstehen	N5.C.10	Zu verstehen, was das mit Edelgasen zu tun hat und der Versuchung, die Süßigkeiten zu essen zu widerstehen.
N5.C.11	Wie man das bauen soll	N5.A.11	Alles
N5.C.12	Ich habe die Aufgabenstellung nicht wirklich verstanden aber am Ende es geschafft	N5.A.12	Diese atome bauen machen seien sind gefallen machn
N5.C.13	Ich wusste nicht wie chemische Verbindungen aussehen sollten und wie wir sie verbinden sollen	N5.C.13	Nicht abgelenkt zu sein und das Verstehen von diese sachen
N5.C.14	Ich habe nicht sofort verstanden, wie man aus einer Theorie ein Modell bauen sollte		

Tabelle 23 N6 Gib an, welche Informationen bzw. Materialien für die Lösungsfindung noch hilfreich bzw. notwendig gewesen wären.

4C-Klasse (N = 10)		4A-Klasse (N = 10)	
N6.C.1	Eine genaue Erklärung unserer Aufgabe	N6.A.1	Stoff, weiche Sachen
N6.C.2	Ein Beispiel für ein atommodell wäre gut gewesen	N6.A.2	Essbare Süßigkeiten also welche die wir essen dürfen
N6.C.3	Keine	N6.A.3	Nichts
N6.C.4	Wie man es tun soll	N6.A.4	Erklärungen
N6.C.5	Welche Form Natriumchlorid hat, hat meiner Gruppe sehr geholfen	N6.A.5	Gar nicht! Süßigkeiten waren sehr hilfreich (:
N6.C.6	Noch ein Beispiel wie man das machen soll	N6.A.6	Nix es war gut so wie es war vielleicht eine bessere anleitung
N6.C.7	Vielleicht ein Beispiel	N6.A.7	Nichts
N6.C.8	Keine Ahnung	N6.A.8	Ka
N6.C.9	Genaue Erklärungen	N6.A.9	Mehr Info wie das funktioniert
N6.C.10	Größere „Kerne“.	N6.A.10	Handschuhe

3.4. Diskussion

Im Rahmen dieser Reflexion soll nun gemäß der Forschungsfrage eruiert werden, welche Bedingungen für die Erfüllung dieser kreativen Lernaufgabe zielführend für die Visualisierung der Modelle zu den drei Bindungstypen waren. Außerdem wird auf etwaige Aspekte näher eingegangen, die Lernenden während des Prozesses Schwierigkeiten bereitet haben, und somit die Bearbeitung der Aufgabenstellung für die Mitglieder der Gruppen erschwert bzw. unmöglich gemacht haben.

3.4.1. Intrapersonale Faktoren

Im Schuljahr 2023/24 wurden vorausschauend bis zur Durchführung des Forschungsprojektes in Absprache mit den Kolleg*innen in den naturwissenschaftlichen Fächern weder kreative Aufgabenstellungen bearbeitet noch über kreative Prozesse gesprochen. Vor diesem Hintergrund konnte die Herangehensweise der Lernenden bei dieser Art von Lernaufgabe beleuchtet und gezeigt werden, ob diese Unterrichtsmethode im naturwissenschaftlichen Kontext gewinnbringend einsetzbar ist.

3.4.1.1. Vorbereitung und Vorwissen

Als *Vorbereitung* auf den Schulversuch wurde in beiden Klassen darauf geachtet, die Existenz von *Ionen* bis zu diesem Zeitpunkt nicht anzusprechen. Dies war im Nachhinein betrachtet nicht einfach, denn manche Jugendliche waren sehr wissbegierig und dementsprechend mit den unvollständigen Antworten auf ihre Fragen in den vorangegangenen Unterrichtsstunden unzufrieden. Es ist anzunehmen, dass manche Schüler*innen mit dem Wissen zum Vorhandensein von Ionen und der Mitschrift im Heft die entsprechenden Inhalte für den Modellbau zur Ionenbindung schneller kombiniert hätten. Je nach verfügbaren zeitlichen Ressourcen und der jeweiligen Klassenzusammensetzung kann der Ionenbegriff somit auch bereits davor eingeführt werden.

Mit einem Gesamtmittelwert von 3,00 ²⁸ im Vorher-Fragebogen wurde die *Anwendbarkeit von Vorwissen im Chemieunterricht aus dem Alltag* oder beispielsweise dem *Physikunterricht* (Frage V2.6) von den Schüler*innen eher bestätigt. Bei der Durchführung haben die Lernenden beider Klassen auch eher auf *physikalische* Inhalte zurückgegriffen (Frage N2.4), während sich insbesondere in der 4C-Klasse im direkten

²⁸ Die Aussage *stimme gar nicht* zu entspricht dem Wert 1 und *stimme völlig* zu dem Wert 4.

Vergleich eher eine Ablehnung gegenüber der Anwendbarkeit von *Alltagswissen* (Frage N2.5) bei dieser Lernaufgabe abzeichnete. Dieser Unterschied bei der Antworttendenz steht möglicherweise im Zusammenhang mit einem, bei den Schüler*innen in der 4A-Klasse im Mittel größeren *Interesse* (Frage V1.1) und auch einer eher größeren Bereitschaft, sich auch in der *Freizeit mit chemischen Inhalten* auseinanderzusetzen (Frage V1.5) als in der Parallelklasse. Dies spiegelte auch die Wahl der Schulzweige wider, wobei ein Interesse für naturwissenschaftliche Fragestellungen trotz der Wahl für das Gymnasium nicht zur Gänze auszuschließen ist, wie die Mittelwerte 2,19 (Frage V1.1) bzw. 2,06 (Frage V1.5) in der 4C-Klasse Klasse zeigten.

Interessanterweise stimmten die Jugendlichen in der 4C-Klasse mit einem Mittelwert von 2,69 mehr zu, *im Chemieunterricht anwendbares Wissen für den Alltag* zu erlernen (Frage V1.4) als in der Parallelklasse (1,92). Dies zeigt bei manchen Schüler*innen im Sprachenzweig ein Vorhandensein des Bewusstseins für die Anwendbarkeit chemischer Inhalte außerhalb der Schule. Im Mittel zeigt sich bei der *Wichtigkeit von Chemie als Fach* (Frage V1.3) bei den Antworten insgesamt ein Wert von 2,36, welcher im Hinblick auf die bisher erlernten Inhalte und deren Abstraktheitsgrad angemessen ist²⁹.

Inwiefern und in welchem Ausmaß die einzelnen Schüler*innen tatsächlich ihre *domänenspezifische Expertise* (Amabile, 1998) für die Bearbeitung eingesetzt haben, ist aus den Ergebnissen nur näherungsweise abzulesen. Wie den Notizen gemäß Abschnitt 3.3.2.1 abzulesen ist, hat der Großteil der Gruppen die Anzahl der *Elementarteilchen* in den Atomen richtig bestimmt und diese zum Teil nach dem Modell von *Bohr* richtig gezeichnet. Zusätzlich wurden *physikalische* Inhalte notiert und Skizzen zu *Ionengittern* gemacht, die als Bauplan für die späteren Modelle dienten. Dementsprechend kann angenommen werden, dass die Gruppenmitglieder auszugsweise die *Verknüpfung* von bestehendem Wissen mit neuen Inhalten geschafft haben.

Gemäß einem Gesamtmittelwert von 2,67 stimmte der Großteil der Lernenden zu, dass die Aufgabe ihrem *derzeitigen Wissensstand* (Frage N1.2) entsprochen hat. Interessanterweise war die Zustimmung in der 4A-Klasse mit einem Wert von 3,00 eindeutig höher als in der 4C-Klasse (2,29). Beim Vergleich der bisherigen Durchschnittsnoten in Schularbeitsfächern ergab sich gemäß Tabelle 6 kein signifikanter

²⁹ Das Fach Chemie ist in der 8.Schulstufe neu und es dauert etwas, bis sie sich die Denk- und Arbeitsweisen der Chemie aneignen, um selbst auch deren Nutzen im Alltag erkennen zu können.

Unterschied in den beiden Klassen. Die Ergebnisse des letzten Chemie-Tests in der 4C-Klasse lagen mit einem Durchschnittswert von 3,44 eher im unteren Bereich der Notenskala. Dies verdeutlicht entweder zu wenig gelerntes Reproduktionswissen oder ausbaufähige Kenntnisse im Bereich der Anwendung des zum Teil abstrakten Wissens. Aufgrund mehrerer Nachfragen und Unklarheiten zum Begriff *Abstraktheit* in Frage V2.10 ist die Aussagekraft dieser Ergebnisse zu hinterfragen, weshalb hier nicht näher darauf eingegangen wird.

3.4.1.2. Kreativitätsrelevante Prozesse

Im Zuge der Erhebung zum *Frageverhalten* gaben mehr als die Hälfte der Schüler*innen der 4C-Klasse an, sich bei *Unklarheiten* eher nicht sofort zu melden (Frage V2.3). Im Vergleich neigten jene in der Parallelklasse diesbezüglich mit einem Mittelwert von 3,25 zu einem aktiveren Meldeverhalten. Mit einem Gesamtmittelwert von 2,00 bei der Frage V2.4 warteten die Lernenden nicht auf Zeitpunkte, wo sie *aktiv* zum Stellen von noch offenen Fragen *aufgefordert* wurden. Es erfordert einen gewissen *Wohlfühlfaktor* im Unterricht (Frage V1.7), um den Mut zu haben, Fragen stellen, welcher in beiden Klassen bei einem Gesamtmittelwert von 2,82 eher vorhanden ist.

Gemäß den Beobachtungen in Tabelle 13 wurden während der Umsetzung insgesamt zwischen 20 und 30 *Fragen* pro Klasse an die Lehrperson gestellt. Aus diesem Grund ist es vermutlich auch passiert, dass die Mädchen in der Gruppe *M&M's* fast 15 Minuten warten musste, bis die Lehrperson auf ihr Handzeichen reagierte (B.37.9). Manche Schüler*innen nutzten diese Wartezeiten, um ihre Fragen doch selbst zu klären (B.38.SAS.4) und andere führten währenddessen Privatgespräche (B.37.M&M's.9). Dieses Verhalten könnte entweder ein Zeichen mangelnder Selbstständigkeit oder das aktive Aufsuchen einer Denkpause gemäß der Inkubationsphase nach Wallas (1926) sein.

Die *Herangehensweise* der Gruppen ähnelte gemäß den gemachten Beobachtungen bei den meisten Schüler*innen jenem aus der Literatur (z.B. bei Amabile & Pratt, 2016). Zusätzlich haben viele der Gruppenteilnehmer*innen in Phasen der Frustration die Lehrperson um Hilfe gerufen. Dies ist ein gutes Zeichen, denn sie wussten, wo sie Unterstützung bekamen, und wiesen den Mut auf, diese Gelegenheit auch zu nutzen. Um die *Selbstständigkeit* der Jugendlichen jedoch bewusst zu fördern, sollte in vorangehenden Unterrichtssituationen ein schrittweises Heranführen an die *Bearbeitungs-*

weise kreativer Prozesse unter Einbeziehung der exekutiven Funktionen (Diamond, 2013) erfolgen. Beim *Erzeugen kreativer Produkte* müssen bestehende Inhalte in neue Kontexte gesetzt werden (Diamond, 2013). Dies war für die Lernenden der 4A-Klasse gemäß eigenen Angaben bei den *chemischen Bindungen* (Frage N2.6) mit einem Mittelwert von 2,73 etwas einfacher als für jene in der 4C-Klasse mit einem Mittelwert von 2,29.

Ebenso sollte mit den Lernenden die aktive und selbstbestimmte Nutzung von *Pausen* besprochen werden (Beeftink, van Eerde, & Rutte, 2008), um zielgerichtet vorzeitig Ermüdungserscheinungen vorzubeugen. Die Bedeutsamkeit von Pausen für kreative Prozesse kann ihnen in Form der beiden historischen Anekdoten von Archimedes und Kekulé nähergebracht werden.

3.4.1.3. Motivation

Bei den Schüler*innen traten beim Thema *Spaß und Motivation* für die Chemie Unterschiede auf. Beim Vorher-Nachher-Vergleich der Fragen V1.2, N1.1 und N2.1 zeigte sich in beiden Klassen im Durchschnitt eine höhere Zustimmung, dass die kreative Methode Spaß gemacht habe. Diese Einstellung konnte auch an der Körpersprache (B.37.CHeMnI.4.) oder der Art, wie neue Ideen eingebracht wurden (B.37.M&M's.4), beobachtet werden. Diese Reaktionen sprechen also für den Einsatz kreativer Aufgabenstellungen.

Ebenso zeigte in der 4A-Klasse der Mittelwert von 3,2 bei der Frage N1.1, dass diese Methode der Vermittlung Potential hat, die *Einstellung gegenüber dem Chemieunterricht* und das Lösen von Aufgaben zum *problemlösungsorientierten Denken* positiv zu beeinflussen.

Die Nutzung von *Süßigkeiten als Baumaterialien* (Frage N2.7, N6.4A.5) wurde wie in der Planungsphase erwartet in der 4A-Klasse mit einem Mittelwert von 3,53 sehr gut angenommen. In diesem Zusammenhang hatten sie allerdings Schwierigkeiten damit, die Süßigkeiten nicht vorzeitig zu essen (N5.4A.7, 9, 10). Dies hat manche jedoch nicht vom Essen abgehalten (B.42.Elemente.4). In der Parallelklasse hingegen wurden die Süßwaren zumindest von etwa der Hälfte der Schüler*innen als eher motivierend wahrgenommen (Frage N2.7).

Im Vorher-Fragebogen gaben die Jugendlichen der 4A-Klasse mit Mittelwerten über 3,00 an, *neu vermittelte Inhalte leicht zu verstehen* (Frage V2.5), *Wissen selbstständig auf neue Inhalte anwenden* (Frage V2.7) und *schwierige Aufgaben bei ausreichender Anstrengungsbereitschaft lösen* (Frage V2.9) zu können. Die Lernenden der 4C-Klasse hingegen schätzten ihre Fähigkeiten mit Mittelwerten um 2,50 bei allen drei Fragen geringer ein. Insbesondere die Mädchen dieser Klasse reagierten eher ablehnend, während dieser Effekt in der 4A-Klasse nicht auftrat. Im Rahmen weiterer Forschungen würde sich anbieten, bei den Schüler*innen den Fokus auf die Rolle der *Attribution* bei der Bearbeitung solcher Fragestellungen zu legen.

Des Weiteren hatten die Jugendlichen in diesem Rahmen grundsätzlich die Gelegenheit, auch *Autonomie* zu erleben, um ihre eigene Selbstwirksamkeitserwartung zu stärken (Deci & Ryan, 1993). Den Beobachtungen zu Folge stellten sich zum Teil in beiden Klassen jedoch schnell Frustration und Überforderung ein (z.B. B.39.5.4; B.42.H₂O.2). Die *Herangehensweise* an solche Aufgabenstellungen (Amabile & Pratt, 2016) muss aktiv mit den Lernenden geübt werden, um auch auf andere Unterrichtsfächer bzw. den Alltag im Sinne eines lebenslangen Lernens übertragen werden zu können. Auf diese Weise kann sich auch die Motivation für solche Lernsituationen erhöhen.

3.4.2. Physikalische Faktoren

In diesem Abschnitt wird auf die Aspekte Raum, Arbeitsanweisung, Materialien und Zeit eingegangen. Diese Faktoren liegen zumeist im direkten Einflussbereich der Lehrkraft bzw. der Organisation Schule und können somit im Rahmen von kreativitätsfördernden Unterrichtseinheiten am einfachsten angepasst werden.

3.4.2.1. Räumlichkeit

Beim Betreten des Raumes beobachtete die Lehrperson bei den Jugendlichen etwas verwirrte, aber auch erwartungsvolle Gesichter. Die *Umstellung des Mobiliars* zu Arbeitsinseln (Davies, et al., 2013) war für sie neu und ungewohnt und entsprach nicht ihrer üblichen Komfortzone im Chemiesaal. Dieses Aufbrechen bekannter Strukturen führte dazu, dass sie sich neugierig im Raum herumsahen und flüsternd darüber austauschten, was nun auf sie zukommen könnte.

3.4.2.2. Arbeitsanweisung und -materialien

Das Thema und die dazugehörige Arbeitsanweisung wurde den Lernenden zuerst mündlich erklärt und dann schriftlich noch einmal zum Nachlesen vorgelegt. Die Ergebnisse zur *Aufgabenstellung* (Frage N1.3) zeigten, dass diese mit einem Gesamtzustimmungsfaktor von 2,33 für nur knapp die Hälfte der Lernenden eher verständlich war. In der offenen Frage N5 gaben 19 Schüler*innen (4C: 11; 4A: 8) an, die Aufgabe bzw. deren Ziel nicht verstanden zu haben. Auch bei der offenen Frage N6 zu fehlenden Informationen forderten jeweils drei Jugendliche pro Klasse noch einmal eine bessere bzw. genauere Anleitung. Andere Lernende wünschten sich Beispiele (N5.C.2, N6.C.2, C.6, C.7) oder hatten Schwierigkeiten, Modelle zu bauen (N5.C.3, N5.A.12). Die Beobachtungsprotokolle ergaben auch, dass die Lernenden nicht verstanden haben, ob sie nun Modelle von Atomen oder Bindungen bauen sollten (B.39.Stern, SAS.9; B.40.Nuke). Die Gruppe *Nuke* holte sich beispielsweise für den ersten Modellbauversuch eine ganze Packung der gelben und rosafarbenen Bärchen und stellte dann enttäuscht fest, dass sie nicht ausreichend waren, um alle Protonen und Elektronen eines Kupferatoms für die Metallbindung darzustellen. Erst im Einzelgespräch mit der Lehrperson konnten diese Fehlvorstellung zur Aufgabe geklärt werden.

Die *Arbeitsanweisung* sollte diesbezüglich verbessert werden, indem durchgängig der Begriff *Atome* anstatt *Teilchen* verwendet wird. Zusätzlich wäre es für ein besseres Verständnis hilfreich, allgemein bzw. insbesondere in den vorangehenden Chemiestunden aktiv auf die sprachliche Nutzung der beiden Begriffe zu achten, um der Entstehung von *hausgemachten Fehlvorstellungen* entgegenzuwirken (Reiners, 2022). Zusätzlich ist eine *Überarbeitung des Lernposters* anzudenken. Mit einer 180 Grad Drehung des Grafikformates würde die schematische Darstellung des Atoms unten sein. Von dort könnte senkrecht nach unten ein Pfeil zu einer Frage (z.B. *Wie sieht es aus, wenn sich die Atome der Metalle und/oder Nichtmetalle miteinander zu chemischen Verbindungen verknüpfen?*) sein, unter welchem die einleitenden Worte zur *großen Vielfalt der Stoffe* von der Arbeitsanweisung stehen. Neben diesem Pfeil könnte das Kästchen mit dem Hinweis zur Oktett- bzw. Edelgasregel angeordnet werden. Auf diese Weise wären all jene Informationen, die sie bereits wissen und nun jene, die sie nun erarbeiten sollen, auf einem Arbeitsblatt vereint.

Somit könnte auch die Erklärung der Aufgabe zu Beginn verkürzt werden. Dies begünstigt außerdem die *Aufmerksamkeitsspanne* der Schüler*innen, denn diese schweifen mit ihren Gedanken bei *langen Erklärungen* schnell vom Thema ab (von Aufschnaiter, 2014).

Die Angabe konkreter Beispiele für Modelle chemischer Verbindungen widerspricht in diesem Fall der Grundidee des Schulversuchs, gemäß welchem überprüft werden soll, ob die Lernenden in der Lage sind, sich die Inhalte anhand der vorhandenen Materialien selbst zu erarbeiten. Daher war eine Ergänzung dieser vom Anfang an nicht vorgesehen.

3.4.2.3. Baumaterialien

In beiden Klassen ergab sich in Bezug auf das Vorhandensein von *ausreichend Materialien* insgesamt ein Gesamtzustimmungsfaktor von 3,70. Im Rahmen der Frage N6 spezifizierten die Lernenden, dass die süßen Baumaterialien klebrig waren (N5.C.4), weshalb Handschuhe (N6.A.10) angenehm gewesen wären. Außerdem sollten sie weicher sein (N6.A.1) bzw. wurden auch größere „Kerne“ (N6.C.10) gefordert. Während der Umsetzung entstand die Idee, in Zukunft mehr auf *vegane Süßwaren* zu achten, um Benachteiligungen mancher Schüler*innen beim anschließenden Konsum ausschließen zu können.

3.4.2.4. Anschauungsmaterial

Um einen *Bezug zu Alltagsstoffen* zu schaffen, wurden gemäß Abbildung 15 jeweils mindestens zwei Proben zu den drei Stoffgruppen vorbereitet. Gemäß den Beobachtungen in Tabelle 13 kamen die Schüler*innen auf unterschiedlichen Wegen dazu, sich diese näher anzuschauen. Den Mitgliedern einer Gruppe hat beispielsweise das Wissen über die [kubische] *Form von Natriumchlorid* sehr geholfen (N6.C.5). Anhand der vorliegenden Aufzeichnungen ist jedoch nicht nachvollziehbar, ob der entscheidende Hinweis von der Lehrperson gekommen ist oder ob sie selbstständig in der Lage waren, diese Informationen bei der Betrachtung der Kochsalzkristalle zu kombinieren. In diesem Fall wäre eine Videoanalyse aufschlussreich gewesen. Gemäß den Ergebnissen und Beschreibungen zu den Ionenbindungsmodellen sind mehrere Gruppen auf eine würfelförmige Kristallstruktur von Natriumchlorid (NaCl) gekommen.

Das zur Verfügung stellen von jeweils eigenen Proben pro Gruppe wird aufgrund des Materialaufwandes nicht als sinnvoll erachtet. Um trotzdem für eine *stärkere Präsenz*

des *Probenmaterials* zu sorgen, könnten auf den Kärtchen zu den Eigenschaften jeweils Bilder der Proben hinzugefügt werden mit dem Hinweis, dass diese auch vorne am Tisch der Lehrperson stehen.

In Bezug auf die *Auswahl der Proben* sollte darauf geachtet werden, insbesondere Elemente der Hauptgruppen auszuwählen, da diese mit der Oktettregel einfacher zu erklären sind. Bei den Salzen bietet sich beispielsweise an, Bilder von kubischen Flussspat-Kristallen (chemisch: Calciumfluorid CaF_2) auf den Kärtchen ebenfalls abzubilden. Dabei handelt es sich um ein Salz aus zwei Hauptgruppenelementen, anhand welchem die Grundprinzipien der Ionenbindung einfacher nachvollziehbar sind als am Beispiel von Kupfersulfat (CuSO_4). Der Fokus beim Modellbau sollte weiterhin auf Natriumchlorid (NaCl) liegen, da dies von der tatsächlichen Kristallstruktur am einfachsten abzubilden ist.

Bei den Beispielen zu den Metallen könnte Magnesium (Mg) anstatt Kupfer (Cu) angegeben werden, da es sich bei diesem Element ebenfalls um ein Hauptgruppenelement handelt.

Die Auswahl der Beispiele der Nichtmetalle zeigt die Vielfältigkeit des Vorkommens in verschiedenen Aggregatzuständen bei Raumtemperatur auf. Außerdem kennen die Lernenden die Beispiele zum Großteil aus dem Alltag, weshalb hier keine Veränderungen vorgenommen werden müssen.

3.4.2.5. Zeitliche Planung

Das Vorziehen des ersten Fragebogens ermöglichte am Tag der Durchführung mehr *zeitliche Flexibilität*. Nachdem die Schüler*innen in beiden Klassen nach Ablauf der ursprünglich geplanten 40 Minuten noch nicht so weit fortgeschritten bzw. noch mit dem Modellbau beschäftigt waren, beschloss die durchführende Lehrperson, ihnen noch mehr Zeit zu geben. Diese *Zeitverlängerung* von 32 Minuten in der 4C-Klasse und 29 Minuten in der 4A-Klasse war nur deshalb möglich, weil bereits im Voraus eine Doppelstunde für diesen Schulversuch eingeplant war. Bei dieser Zeitangabe wurde jedoch die Bearbeitung des Nachher-Fragebogens noch nicht berücksichtigt, welche ebenfalls noch einmal 7 Minuten in Anspruch genommen hat.

In der Literatur (z.B. Sandmann, 2014; von Aufschnaiter, 2014) wird für Interventions- bzw. Laborsitzungen eine *maximale Dauer von 60 bis 90 Minuten* empfohlen. Bei der Festlegung dieses Zeitrahmens ist immer das Alter der Proband*innen und deren

Interesse und Fähigkeiten zum jeweiligen Thema zu berücksichtigen. Bei zu langen Interventionen kann dies zur *inhaltlichen Überforderung* der Schüler*innen führen und in weiterer Folge zu einem Abfall der Konzentration und dem Auftreten von Ermüdungserscheinungen. Diese Phänomene wurden bei den Jugendlichen auch in diesem Schulversuch in Form von Resignation (B.39.5.5), Langweile (B.37.4.5) oder Frustration (B.38.4.Stern) beobachtet. Die Mitglieder einer Gruppe versuchten, die Aufgabe ohne Hilfestellung durch Tipps zu schaffen (B.40.Nuke). Daraus könnte geschlossen werden, dass sie großes Interesse sowie intrinsische Motivation für die Lösung der Aufgabenstellung entwickelt haben (Amabile, 1998).

Die *Verlängerung der Arbeitszeit* hatte auch den Hintergrund herauszufinden, zu welchen kreativen Ergebnissen die Lernenden in der Lage waren, wenn sie keinen Druck verspürten (Amabile, 1998) und nicht – wie möglicherweise für sie üblich – auf die einfachsten Lösungen zurückgreifen (Beghetto & Kaufman, 2014), indem sie beispielsweise bei den Nachbargruppen spionieren gehen, wie dies ein Teilnehmer von Gruppe 5 versuchte (B.36.1).

3.4.3. Pädagogisch-soziale Faktoren

Mit dem vorliegenden Schulversuch wurden kreative Produkte auf der Ebene der *MINI-C* (Kaufman & Beghetto, 2009) angestrebt. Die Schüler*innen sollten sich neue Inhalte zu chemischen Bindungstypen aneignen und in Kombination mit dem Struktur-Eigenschafts-Basiskonzept *Aha-Erlebnisse* erfahren.

3.4.3.1. Rolle der Lehrperson

Derartige Lehr- und Lernsituationen im Feld haben den großen Nachteil, dass die Lehrkräfte dazu tendieren, die gleichen Unterrichtsmaterialien je Klasse unterschiedlich einzuführen und auf Fragestellungen anders zu reagieren (von Aufschnaiter, 2014). Dieser Umstand erschwert die Vergleichbarkeit derartiger Schulversuche untereinander. Für die Lehrperson war es insbesondere zu Beginn schwierig, gezielt jene epistemischen Fragen zu stellen, die den Schüler*innen tatsächlich im Denkprozess weiterhalfen und dennoch nicht zu viele Informationen preisgaben. Des Weiteren war die durchführende Lehrperson selbst erst im zweiten Dienstjahr, weshalb die Hinweise und Rückmeldungen zu den Fragen der Lernenden in der 4C-Klasse noch etwas unklarer als im zweiten Durchlauf in der 4A-Klasse ausgefallen sind. In solchen Fällen

wären Laborstudien mit Videoaufzeichnungen geeigneter, um Unterschiede besser nachvollziehen zu können.

Gemäß den Fragen zur bisherigen *Vermittlungsart* im Unterricht (Frage V1.6), der Zufriedenheit zur *aktuellen Lernsituation* (Frage V2.1) und einem *angemessenen Lern-tempo* (Frage V2.2) sind die Gesamtmittelwerte im Bereich zwischen 2,86 und 3,04. In der 4A-Klasse sind die Mittelwerte zu diesen drei Fragen im Vergleich tendenziell höher. Darauf basiert die Vermutung, dass für die Lernenden die Art und Weise des Unterrichts der Lehrperson entgegenkommend war. Demnach sollten ihnen die gegebenen Hilfestellungen in den meisten Fällen geholfen haben.

3.4.3.2. Zusammenarbeit in den Kleingruppen

Allgemein zeigte sich im Vorher-Fragebogen mit einem Gesamtmittelwert von 2,79 eine eher positive Tendenz gegenüber den Effekten von *Kleingruppendiskussionen* in Bezug auf das *Verständnis für chemische Inhalte* (Frage V2.8). Die Zustimmung ist mit einem Mittelwert von 3,00 in der 4A-Klasse etwas höher ausgefallen als jener mit 2,63 in der Parallelklasse.

Trotz langwieriger Überlegungen in der Planungsphase zur personellen Konfiguration der Gruppen gemäß Abschnitt 3.1.4.6 traten insbesondere bei den gemischtgeschlechtlichen Gruppen 5, *VEJ* und *Elemente* Schwierigkeiten auf, den Arbeitsprozess in Gang zu bringen. In allen drei Gruppen übernahmen gemäß Tabelle 11 und 12 jeweils die Mädchen die Führungsrolle und waren motiviert, die Aufgabenstellung zu bearbeiten. Die nur langsam zunehmende Beteiligung der Buben – wenn überhaupt vorhanden – führte zum Teil sogar bis zur Resignation (*B.39.5*). In der Gruppe *VEJ* wechselte das Mädchen schließlich zur Gruppe *H₂O*, in welcher sie sich wohler fühlte und während des Arbeitsprozesses mehr kommunizierte. Ihre gezeigte Leistung hat sich dadurch jedoch nicht verändert. Diese Ereignisse könnten für eine angenehmere und produktivere Arbeitsatmosphäre in geschlechtshomogenen Gruppen sprechen. Inwiefern geschlechtsspezifischen Effekte mit der vorrangigen Pubertätsphase zusammenhängen, konnte in diesem Setting nicht geprüft werden.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Buben und Mädchen dieser Gruppen im Schulalltag kaum bis keinen Kontakt haben, und möglicherweise deshalb nicht gut miteinander harmonisierten. Gemäß von Aufschnaiter (2014) sollte eine Lehrperson einen

grogen Überblick über die sozialen Strukturen einer Klasse haben, denn die Ergebnisse von Gruppenarbeiten sind tendenziell besser, wenn sich die Lernenden untereinander verstehen und gern zusammenarbeiten. Unglücklicherweise sind für den Chemieunterricht nur zwei Stunden pro Woche vorgesehen, weshalb es herausfordernd sein kann, das sich zum Teil sehr schnell verändernde soziale Gefüge einer Klasse zu überblicken und optimal zu berücksichtigen. Daher wurden jene Jugendlichen getrennt, die im Unterricht nebeneinandersitzen, was annähernd den jeweils aktuellen Freundschaften entsprach. Ziel dieser Aktion war, den Lernenden einen Ausblick auf das spätere Arbeitsleben zu geben. Allgemein ist jedoch die Untersuchung eines Geschlechtereffekts insbesondere im schulischen Setting schwieriger als in Laborstudien, da nicht kontrolliert werden kann, ob sich die Lehrperson gegenüber beiden Parteien gleichermaßen verhält (von Aufschnaiter, 2014).

Der Mittelwert von 3,40 in der 4A-Klasse zeigte deutlich, dass die Jugendlichen es geschafft haben, ihr *eigenes Wissen in die Gruppe einzubringen* (N.3.1). Auch in der Parallelklasse dürfte es diesbezüglich mit einem Mittelwert von 2,93 ebenfalls eine positive Tendenz gegeben haben. Im Gesamtmittelwert beider Klassen gab es im Nachhinein kaum Veränderungen bezüglich der *positiven Effekte von Gruppendiskussionen* (Fragen V2.8, N3.1). Im Vergleich gaben jedoch die Schüler*innen der 4C-Klasse mit einem Mittelwert von 2,86 tendenziell bessere Erfahrungen an, während in der 4A-Klasse der Mittelwert 2,60 betrug. Dabei sind diese Diskussionen gemäß Freund (2012) wichtig, um im Gespräch die eigenen Vorstellungen zu bestätigen, korrigieren oder erweitern können.

3.4.3.3. Kreativität als Unterrichtsmethode

Während in der 4C-Klasse das *selbständige, kreative Arbeiten das Verständnis für die Chemie* (Frage N2.2) mit einem Mittelwert von nur 2,57 förderlich war, waren die Jugendlichen in der 4A-Klasse mit einem Mittelwert von 3,13 mehr von der Wirksamkeit dieser Methode überzeugt. Minimal höhere Mittelwerte ergaben sich bei der Frage, ob das *selbstständige Ausprobieren mit Sachgegenständen* dazu geführt habe, sich Dinge auch besser merken zu können (Frage N2.3).

An dieser Stelle ist anzumerken, dass offene Lernsituationen insbesondere für Lernende, die mehr Instruktionen benötigen, eine große Heraus- und somit auch Überforderung sein können (Mandl & Reinmann, 2006). Diese Erfahrungen spiegelten sich

auch in den Beobachtungsprotokollen in Abschnitt 3.3.2.2 wider. Langfristig zeigen sich jedoch mit konstruktivistischen Methoden bessere Lernergebnisse. In solchen Situationen muss daher auf die jeweiligen Bedürfnisse der Lernenden entsprechend geachtet werden, um die Leistungsschere nicht größer werden zu lassen (Mandl & Reinmann, 2006).

Hinzu kommt, dass manche Schüler*innen beim Lösen von Aufgabenstellungen, welche mehr als nur eine richtige Lösung zulassen, oftmals verunsichert sind und nur schwer damit zurechtkommen (von Aufschnaiter, 2014). Die folgende Antwort einer Person zur Frage N5.A.5 fasste die Situation der Lernenden insbesondere zu Beginn der Stunde sehr gut zusammen:

„Ich habe am Anfang nicht wirklich verstanden, was man machen muss. Wie man die Modelle jetzt baut? Wieso man sie so baut? Woher weiß ich wie man sie baut oder ob es richtig ist? Woran erkenne ich welches Modell für welchen Stoff steht?“ (N5.A.5).

Deshalb ist umso wichtiger, an dieser Stelle adäquates Feedback zu geben, damit die Schüler*innen auch in solchen Situationen Erfolgserlebnisse feiern können.

3.4.4. Chemiespezifische Diskussion der Modelle

Gemäß den Definitionen eines kreativen Produkts in Abschnitt 2.1.1 sollten die Lernenden jeweils etwas Neues schaffen, das die Funktion erfüllen soll, ihr Verständnis für die chemischen Bindungen zu unterstützen. Inwiefern ihre Modelle nun auch mit jenen aus der Literatur (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010) übereinstimmen, ist Gegenstand der folgenden Diskussion.

Die Modelle der Schüler*innen zeigten divergierende Ergebnisse für die Lösung der Aufgabenstellung. Daraus wurde ersichtlich, dass die Lernenden unterschiedliche Vorstellungen zu den Inhalten in ihrem Arbeitsgedächtnis *konstruiert* haben, welche anhand der selbst gebauten Modelle innerhalb der Gruppe zum Ausdruck gebracht wurde. Diese gezielte Förderung von *MINI-C* bei Jugendlichen ermöglicht der Lehrperson, einen Einblick in deren Gedankengänge und Vorstellungen zu erhalten. Dieser Umstand hilft auch bei der Beantwortung der Forschungsfrage gemäß Kapitel 1.4, da

das Verständnis für Modelle bei der Beschäftigung mit chemischen Inhalten unerlässlich ist (Reiners, 2022).

Gemäß den Tabellen 14 und 15 hatten die Lernenden die meisten Ideen zum Modell der Ionenbindung. Mit einem Gesamtmittelwert von 2,73 gaben die Schüler*innen beider Klassen an, dass ihnen das *Modell zu den Salzen* (Frage N4.2) leichtgefallen sei, wobei der Mittelwert mit 2,93 in der 4A-Klasse höher war. Die Wahrnehmung des *Schwierigkeitsgrades* spiegelte sich bei den *Metallen* mit einem Gesamtmittelwert von 2,35 (Frage N4.1) und bei den *Nichtmetallen* mit einem Wert von 2,32 (Frage N4.3) wider. Trotz vorangegangenen Erlernen des Elektronengasmodells in der 3. Klasse ist den Jugendlichen der Bau eines Modells zu den Metallen schwergefallen. Dieser Umstand könnte darauf hinweisen, dass die Lernenden diesen Lerninhalt bereits wieder vergessen haben oder noch nicht in der Lage sind, Inhalte aus zwei verschiedenen Unterrichtsfächern zu verknüpfen.

Insgesamt waren die Schüler*innen beider Klassen mit einem Gesamtmittelwert von 2,90 schon eher davon überzeugt, dass sie auch auf einer *fachlichen Ebene* dazu in der Lage wären zu *erklären*, weshalb die *Modelle* so *gebaut* wurden (Frage N4.4). Auffallend ist in der 4A-Klasse, dass die Standardabweichung mit 1,02 höher ist und sich somit manche Jugendlichen in dieser Klasse nicht zutrauten, die Modelle zu erklären.

3.4.4.1. Ionenbindung

Bei der Betrachtung der Ergebnisse für die Ionenbindung manifestierte sich eine besonders große Vielfalt an unterschiedlichen Vorstellungen, wobei manche auch den Modellen aus der Planungsphase gemäß den Abbildungen 6a und 6b ähnelten bzw. sogar gleich waren. Insgesamt wurden fünf räumliche (4C: 5, SAS; 4A: *DönerBude*, VEJ, H_2O – Abb. 19 – 22), zwei zweidimensionale Modelle (4A: *Elemente*, *Nuke* – Abb. 23 – 24) und eines nach den Überlegungen von Bohr (4C: *CHeMnI* – Abb. 18) gebaut.

Bei den räumlichen Modellen haben alle Gruppen auf eine abwechselnde Anordnung verschiedenfarbiger Fruchtgummi geachtet, denen sie gemäß den Erklärungen pro Farbe eine positive bzw. negative Ladung zugeordnet haben, die sich gegenseitig anziehen und eine regelmäßige Kristallstruktur darstellen (4C: SAS, 5 – Abb. 19, 20). Die Mitglieder der Gruppen *DönerBude* (Abb. 21) und VEJ (Abb. 22) in der 4A-Klasse

haben die jeweilige Anzahl der Protonen und Elektronen angegeben, aus denen der Überschuss einer Ladung ersichtlich ist, woraus die jeweilige positive bzw. negative Ladung der Ionen resultiert. Beim Modell der Gruppe SAS (Abb. 19) ist der Abstand zwischen den Marshmallows nicht gleichmäßig, weshalb die Vermutung besteht, dass ihnen der Aspekt einer regelmäßigen Anordnung aufgrund der gleich großen Kräfte zwischen den Kationen und Anionen nicht bewusst war.

Sowohl in den drei- als auch einem zweidimensionalen (4A: *Elemente* – Abb. 23) Modell wurden die Fruchtgummi mit Hilfe von Zahnstochern zusammengehalten. Diese *Verbindungen* sollten in den darauffolgenden Stunden thematisiert werden, da diese nur für eine anschaulichere Darstellung des Modells dienen sollten. Beim Modell der Gruppe Nuke (Abb. 24) wurden keine Verbindungen zwischen den Fruchtgummi genutzt.

Anhand der zweidimensionalen Modelle wurde auch dargestellt, was beim Einwirken einer mechanischen Kraft von außen passiert. Die Teilnehmenden der Gruppe *Elemente* (Abb. 23) gaben hierzu keine nähere Erklärung an. Die Mitglieder von *Nuke* (Abb. 24b, c) formulierten im Video diesen Umstand in Form eines Satzes und sie erwähnten auch, dass Salze Nichtleiter sind, gingen jedoch nicht weiter auf den Bezug zur chemischen Bindung ein. Auch die Schülerinnen der Gruppe *M&M's* haben versucht, das Bruchverhalten der Salze zu erklären, wobei aus der schriftlichen Erklärung ohne Bild nicht ganz hervorging, ob sie den Zusammenhang zwischen der Struktur und der Eigenschaft tatsächlich verstanden haben.

Bei den *Erklärungen* zu den Modellen nutzten die Lernenden für die Bezeichnung der *Atome und Ionen Begriffe* aus den *verschiedenen Ebenen des Johnstone Dreiecks* (2000). Auch dieser Umstand ist im Sinne eines sprachsensiblen Unterrichts aufzugreifen, um etwaigen Fehlvorstellungen vorzubeugen.

Das Modell der Gruppe *CHeMnI* (Abb. 18) ist dem Atommodell nach Bohr nachempfunden. Dabei wurde der Kern mit einem Bärchen gekennzeichnet und auf den darin steckenden Zahnstochern waren die einzelnen Elektronen der jeweiligen Schalen mit verschiedenen Farben dargestellt. Die beiden Atome wurden in der Mitte von einem größeren Fruchtgummi zusammengehalten und das eine Elektron in der dritten Schale des Natriumatoms war räumlich etwas von den anderen Elektronen getrennt

dargestellt. Sie haben somit die *Übertragung eines Elektrons* dargestellt, was Voraussetzung für die Ausbildung einer Ionenbindung ist. In der Beschreibung dazu gaben sie jedoch fälschlicherweise an, dass *Chlor ein Elektron abgibt und Natrium eines aufnimmt*. Diese Fehlvorstellung muss in der nachfolgenden Unterrichtsstunde aufgegriffen und geklärt werden.

3.4.4.2. Metallbindung

Zur Metallbindung hatten gemäß der Tabellen 14 und 15 ebenfalls viele Schüler*innen Ideen, auch wenn es nicht alle davon bis zum Stadium eines digital festgehaltenen Modells aus Süßigkeiten geschafft haben. Die Ergebnisse wichen zum Teil deutlich vom ursprünglich angedachten Modell in Abbildung 7 ab.

Das Ergebnis von der Gruppe *Stern* (Abb. 25) wurde vermutlich aufgrund der unterschiedlichen Farben als Ionenbindungsmodell interpretiert (B.39.7), während es die Schülerinnen selbst der Metallbindung zugeordnet haben.

Insgesamt wurden vier räumliche (4C: *Stern* – Abb. 25; 4A: *DönerBude*, *VEJ*, *Nuke* – Abb. 27 – 29) und zwei zweidimensionale (4C: *CHeMnI* – Abb. 26a, b) Modelle gebaut. Die Konstrukte der Gruppen *Stern* und *DönerBude* (Abb. 27) ähnelten einem Metallgitter, in dem die Fruchtgummi, die mit Zahnstochern zusammengehalten wurden, den Metallkationen entsprechen sollten. Gemäß den Erklärungen stellten alle Marshmallows – trotz unterschiedlicher Farben – Metallatome dar (*Stern*: Kalium, *DönerBude*: Aluminium).

Besonders hervorzuheben ist das Modell der Gruppe *VEJ* (Abb. 28), da diese in ihrer Erklärung von der Abgabe eines Elektrons vom Metall sprachen, wodurch es zum positiv geladenen Teilchen wird. Die aufgespießten grünen Fruchtgummi sollten frei herumkreisende Elektronen darstellen, womit sie dem Modell aus der Literatur bereits sehr nahekamen (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010). Auch hier wurden ebenfalls für eine bessere Darstellbarkeit Zahnstocher als Verbindungsstücke genutzt.

Die Mitglieder der Gruppe *CHeMnI* (26a) nutzten bei der Darstellung des Modells eines einzelnen Aluminiumatoms nach Bohr verschiedenfarbige Marshmallows. Im zweiten Bild dieser Gruppe (Abb. 26b) wurden mehrere Aluminiumatome in Form eines Gitters angeordnet, wobei die Abstände nicht regelmäßig waren. Die weißen Marshmallows sollten vermutlich die regelmäßig angeordneten Metallkationen darstellen

und die Grünen die frei beweglichen Elektronen, da sie in Abb. 26a ebenfalls die Außenelektronen darstellten. Unglücklicherweise fehlt hier leider jegliche Erklärung dazu, weshalb die Vermutungen zur Verknüpfung der beiden Bilder nicht bestätigt werden kann.

Für die Darstellung der Metallbindung nutzten die Teilnehmenden der Gruppe *Nuke* (Abb. 29a) ein einzelnes, neutral geladenes Kupferatom und sprachen ihm die Eigenschaften von Metallen zu. Auch hier kam es zur Vermischung der Ebenen nach Johnstone (2000), was im nachfolgenden Unterricht besprochen werden muss. Im Video selbst wurde versucht, die Eigenschaften anhand eines einzelnen Furchtgummi darzustellen, ohne auf die chemischen Grundlagen dazu einzugehen. Positiv anzumerken ist, dass die Gruppe versuchte, Begriffe aus der Physik wie „plastisch, Stromkreis, Widerstand“ anzuwenden und mit Inhalten aus dem Chemieunterricht zu verknüpfen (Abb. 29b, c).

3.4.4.3. Atombindung

Im Vergleich zur Parallelklasse haben die Gruppen der 4A-Klasse deutlich mehr Modelle zu diesem Bindungstyp digital gesichert.

Drei Modelle der Jugendlichen (4C: *CHeMnI* – Abb. 30; 4A: *H₂O*, *Elemente* – Abb. 31, 32) entsprachen sogar jenem aus der Planungsphase in Abbildung 8a, wobei eines davon linear dargestellt wurde. Bei diesen Konstrukten wurde jeweils auf unterschiedliche Farben und bei der Gruppe *H₂O* (Abb. 31) sogar auf verschiedene Formen der Fruchtgummi geachtet.

Die Mitglieder der Gruppe *CHeMnI* bauten zusätzlich ein zweites Modell wieder nach dem Vorbild des Bohr'schen Schalenmodells und sprachen bei der Erklärung von Atomen, die sich miteinander verbinden. Beim Modell selbst hätten sie die Valenzelektronen der Wasserstoffatome näher zum roten Verbindungs-Fruchtgummi anbringen oder vielleicht ganz darauf verzichten sollen.

Die Mitglieder der Gruppe *VEJ* (Abb. 33) nutzten ebenfalls unterschiedliche Farben für die verschiedenen Atome und gaben in der Erklärung an, dass die Elektronen alle auf den Sauerstoff übertragen wurden und Wasserstoff kein Elektron mehr besitze. In diesem Zusammenhang waren sie nicht in der Lage zu kombinieren, dass sich Nichtmetallatome in einer chemischen Bindung die Elektronen gemeinsam teilen, wie es auch

auf dem Lernposter demonstriert war. Dies zu verstehen ist aber ohne Einführung des Begriffs der *Elektronegativität* schwierig (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010). Außerdem haben sie die einzelnen Wassermoleküle in einem Molekülgitter angeordnet, weshalb die Vermutung naheliegt, dass sie ebenfalls versucht haben, einen Bezug zum Physikunterricht und dem Verhalten von Wassermolekülen beim Gefrieren von Wasser herzustellen.

Zum Ergebnis der Gruppe *Stern* (Abb. 34) fehlt jegliche Erklärung und auch aus dem Protokoll bzw. den Notizen sind diesbezüglich keine Informationen zu entnehmen, weshalb hier von einer weiteren Interpretation abgesehen wird.

Die Mitglieder der Gruppe *Nuke* (Abb. 35a, b) stellten das Wassermolekül ohne Verbindungsstücke dar, die jedoch in den Modellen der Literatur vorhanden sind (Riedel & Janiak, 2015; Mortimer & Müller, 2010). Außerdem versuchten sie ebenso, die Eigenschaften dieser Stoffgruppe mit Inhalten aus der Physik zu kombinieren. In Bezug auf die eigentlichen chemischen Bindungsverhältnisse gelang es ihnen jedoch nicht, die Eigenschaften anhand der Struktur abzuleiten, was mit ihrem bisherigen Wissen eine schwierige Aufgabe darstellt.

4. Fazit und Ausblick

Die Nutzung von Kreativität im Rahmen einer Lernaufgabe unter schulischen Rahmenbedingungen ist vielfältig, anspruchsvoll und kann sowohl zur großen Herausforderung bzw. auch Überforderung der Lehrkraft – wie von der Autorin im Zuge der Durchführung selbst bemerkt wurde – als auch der Lernenden gemäß den Beobachtungen (z.B. B.42.2, B.40) führen. Allgemein besteht im Rahmen von Aktionsforschungen im Feld die Versuchung bzw. Tendenz, zu viele Aspekte auf einmal berücksichtigen und erheben zu wollen (Wilhelm & Hopf, 2014).

Im Verlauf dieser Arbeit und insbesondere bei der Auswertung der Ergebnisse hat sich gezeigt, dass die Idee dieser Konzeption durchaus gewinnbringend umgesetzt und in weiterer Folge das problemlösungsorientierte Denken bei den Schüler*innen der Sekundarstufe I fördern kann. Damit sowohl komplexe wie kreative Prozesse angemessen gefördert werden können, müssen die Lernenden gewisse Voraussetzungen mitbringen, um nicht innerhalb kürzester Zeit mit der Begründung „nicht kreativ zu sein“ zu resignieren. In diesem Sinne folgt nun eine Auflistung wichtiger Aspekte in Form eines *Empfehlungskatalogs*, unter welchen Bedingungen Kreativität bei der Erarbeitung der drei Bindungstypen gewinnbringend eingesetzt werden kann:

- Es muss eine aktive *Trennung von Lern- und Leistungssituationen* erfolgen. Zusätzlich muss den Lernenden bewusst gemacht werden, dass sie beim Erlernen neuer Inhalte Fehler machen dürfen.
- Eine positive Selbstwirksamkeitsüberzeugung in Kombination mit einer *Growth Mindset* Einstellung sind förderlich für das Erschaffen von kreativen Produkten.
- Die Nutzung *gestufter Lernhilfen* (z.B. Tippkärtchen) darf nicht als Schwäche oder Eingeständnis für Inkompetenz angesehen werden. Der Umgang muss vorab mit ihnen geübt und geklärt werden, ab wann es sinnvoll ist, sich einen Tipp zu holen. Dies trägt zur Förderung ihrer Selbstständigkeit bei und entlastet zusätzlich die Lehrperson während der Durchführung.
- Um diesen Schulversuch an die *zeitlichen Gegebenheiten der Schule* anzupassen, bietet es sich an, die jeweiligen Bindungstypen der Stoffgruppen in Form von Levels ähnlich zu Computerspielen zu gestalten, für welche die Jugendlichen sukzessive die entsprechenden Arbeitsmaterialien erhalten. Auf diese

Weise wird der Stress reduziert und jede Gruppe hat die Gelegenheit, im eigenen Tempo zu arbeiten. Außerdem erhält die Lerneinheit einen zusätzlich spielerischen Charakter, welcher für manche Lernende motivierend sein kann. Hierbei muss unbedingt betont werden, dass kein Wettbewerb vorliegt. Es darf kein Zeit- und/oder Erfolgsdruck entstehen, wodurch kreative Lernprozesse behindert werden könnten. Das Ziel ist die Wissensgenese!

- Die Analyse der Lernenden-Modelle hat gezeigt, dass ihnen jenes zur *Ionenbindung* am einfachsten gefallen ist und damit auch die Eigenschaften am besten nachvollziehbar erklärt bzw. dargestellt werden konnten. Danach folgte jenes zur *Metallbindung* und erst am Ende das zur *Atombindung*. Dementsprechend sollte auch die Reihenfolge der Levels erfolgen.
- Für die *Ergebnissicherung* bietet sich die Erstellung von *Kurzvideos* oder *animierten GIFs*³⁰ mit einer Dauer von 15 bis 90 Sekunden an, in denen die Modelle erklärt werden. Zum Abschluss des Themas *chemischer Bindungen* soll jede Gruppe das eigene Video noch einmal analysieren und bei Bedarf überarbeiten dürfen. Die Lehrperson kann somit den Lernprozess überprüfen und eruieren, ob bestehende kognitive Konflikte gelöst und die Inhalte verstanden wurden. Außerdem werden hier auch die digitalen Kompetenzen der Jugendlichen gefordert und mit der nonverbalen Variante eines GIFs können auch introvertierte Schüler*innen ihre Ergebnisse angemessen präsentieren.
- Für die *Reduktion der Wortmeldungen an die Lehrperson* während der praktischen Arbeitsphase kann pro Gruppe beispielsweise ein Limit von vier Fragen festgelegt werden. Jede weitere Frage muss schriftlich gestellt werden und wird entweder bei verfügbarer Kapazität der Lehrkraft direkt beantwortet oder am Ende im Plenum besprochen.

Inzwischen gibt es ausreichend Literatur aus der Kreativitätsforschung, welche jedoch noch nicht bei allen in der Praxis angekommen ist. Ein wichtiger Schritt wäre, den Begriff der *Kreativität* im Lehrplan des Unterrichtsfachs Chemie zu verankern und so eine Neugierde zu schaffen, welche in Form von etwaigen Fortbildungsveranstaltungen gestillt werden könnte.

³⁰ GIF = Graphics Interchange Format: eine Abfolge von einzelnen Bildern, wodurch eine Animation erzeugt wird

Aus Gesprächen mit anderen Lehrenden und den eigenen Erfahrungen hat sich gezeigt, dass der Unterricht einer Lehrperson meist so gestaltet wird, wie man selbst unterrichtet wurde. Aus diesem Grund wäre es essenziell bereits im Rahmen der Ausbildung mit dem komplexen Thema der Kreativität in Kontakt zu kommen, um die eigene Hemmschwelle diesbezüglich herabzusetzen bzw. schneller überwinden zu können.

Die tatsächliche Umsetzung im eigenen Unterricht erfordert eine gewisse Offenheit für diese Thematik und den Mut, auch als Lehrperson beim Ausprobieren neuer Methoden Fehler machen zu dürfen.

Literaturverzeichnis

- Amabile, T. M. (1998). How to kill creativity. *Harvard Business Review*, 76(5), S. 77-87.
- Amabile, T. M., & Pratt, M. G. (2016). The dynamic componential model of creativity and innovation in organizations: Making progress, making meaning. *Research in organizational behavior*, 157-183.
- Anton, M. A. (2019). *Chemieunterricht verstehen*. Saarbrücken: Lehrbuchverlag.
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin: Springer.
- Beeftink, F., van Eerde, W., & Rutte, C. G. (2008). The effect of interruptions and breaks on insight and impasses: Do you need a break right now? *Creativity research journal*, 20(4), 358-364.
- Beghetto, R. A. (2007b). Does creativity have a place in classroom discussions? Prospective teachers' response preferences. *Thinking skills and creativity*, 2(1), 1-9.
- Beghetto, R. A., & Kaufman, J. C. (2007a). Toward a broader conception of creativity: A case for "mini-c" creativity. *Psychology of aesthetics, creativity, and the arts*, 1(2), 73-79.
- Beghetto, R. A., & Kaufman, J. C. (2014). Classroom contexts for creativity. *High Ability Studies*, 25(1), S. 53-69.
- Bellebaum, C., Thoma, P., & Daum, I. (2012). *Neuropsychologie*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, Springer Fachmedien.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability?: A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science education*, 94(4), 577-616.
- Bliersbach, M. (2017). *Kreativität in der Chemie. Erhebung und Förderung der Vorstellungen von Chemielehramtsstudierenden* (Bd. 248). (H. Niedderer, H. Fischler, & E. Sumfleth, Hrsg.) Berlin: Logos.
- BMBWF (Bundesministerium für Bildung Wissenschaft und Forschung). (2023). Lehrplan der Allgemeinbildenden höheren Schulen. BGBl. II Nr. 1/2023, Artikel 4, Anlage A.
- Brückmann, M., & Duit, R. (2014). Videobasierte Analyse unterrichtlicher Sachstrukturen. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 189-201). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Busker, M. (2014). Entwicklung eines Fragebogens zur Untersuchungen des Fachinteresses. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 269-282). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Csikszentmihalyi, M. (1991). *Flow: The psychology of optimal experience*. New York: Harper Perennial.
- Csikszentmihalyi, M. (2010). *Kreativität: Wie Sie das Unmögliche schaffen und Ihre Grenzen überwinden*. Stuttgart: Klett-Cola.
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from

- manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologica*, 44(11), 2037-2078.
- Davies, D., Jindal-Snape, D., Collier, C., Digby, R., Hay, P., & Howe, A. (2013). Creative learning environment in education - A systematic literature review. *Thinking skills and creativity*, 8, 80-91.
- De Jong, O., & Taber, K. S. (2007). Teaching and learning the many faces of chemistry. In S. Abell, & N. Lederman, *Handbook of Research on Science Education* (S. 631-652). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Publishers.
- De Jong, O., Van Driel, J. H., & Verloop, N. (2005). Preservice teachers' pedagogical content knowledge of using particle models in teaching chemistry. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 42(8), 947-964.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), S. 223-238.
- Design-Based Research Collective. (January 2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), S. 5-8.
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), S. 135-168.
- Dweck, C. S. (2017). *Mindset - updated edition: Changing the way you think to fulfil your potential*. London: Constable & Robinson Ltd.
- Eilks, I., & Bindernagel, J. A. (2008). Modelle und Modelldenken im Chemieunterricht. *MNU-Dokumentation - 15. Fachleitertagung Chemie.*, S. 12-21.
- Flick, U. (2011). *Triangulation. Eine Einführung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Freund, J. (2012). Aspekte von Lerntheorien und schulischem Lernen. In W. Wolf, J. Freund, & L. Boyer, *Beiträge zur Pädagogik und Didaktik der Grundschule* (S. 257-264). Wien: Jugend & Volk.
- Glăveanu, V. P. (2013). Rewriting the Language of Creativity: The Five A's Framework. *Review of general psychology*, 17(1), 69-81.
- Glăveanu, V. P., & Kaufman, J. C. (2019). Creativity: A Historical Perspective. In J. C. Kaufman, & R. J. Sternberg, *The Cambridge Handbook of Creativity* (S. 9-26). Cambridge: Cambridge University Press.
- Goschke, T. (2017). Volition und kognitive Kontrolle. In J. Müsseler, & M. Rieger, *Allgemeine Psychologie* (S. 251-315). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Greenhill, V. (2010). *21st Century Knowledge and Skills in Educator Preparation*. Partnership for 21st century skills.
- Guilford, J. P. (1950). Creativity. *The American Psychologist*, 5, 444-454.
- Guilford, J. P. (1956). The structure of intellect. *Psychological Bulletin*, 53(4), 267-293.
- Guilford, J. P. (1957). Creative abilities in the arts. *Psychological Review*, 64(2), 110-118.
- Haager, J. S. (2019). Die Schaffung kreativer Rahmenbedingungen - Was die Schule tun kann. In J. S. Haager, & T. G. Baudson, *Kreativität in der Schule - finden, fördern, leben* (S. 219-236). Wiesbaden: Springer.
- Haim, K., & Aschauer, W. (2022). Fostering science creativity in the classroom: The concept of flex-based learning. *International journal of learning, teaching and educational research*, 21(3), 196-230.
- Hany, E. A. (1993). Kreativitätstraining: Positionen, Probleme, Perspektiven. In K. J. Klauer, *Kognitives Training* (S. 189-216). Göttingen: Hogrefe.

- Hattie, J. A. (2009). *Visible Learning. A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. London, New York: Routledge.
- Hong, E., Hartzell, S. A., & Greene, M. T. (2009). Fostering creativity in the classroom: Effects of teachers' epistemological beliefs, motivation, and goal orientation. *The Journal of Creative Behavior*, 43(3), 192-208.
- Hutmacher, F., & Haager, J. S. (2019). Kreativität und Persönlichkeit, oder: Wie sind die Kreativen? In J. S. Haager, & T. G. Baudson, *Kreativität in der Schule - finden, fördern, leben* (S. 103-117). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry - logical or psychological? *Chemistry Education: Research and Practice*, 1(1), S. 9-15.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Philosophy of chemistry in university chemical education: The case of models and modelling. *Foundations of Chemistry*, 4(3), 213-240.
- Kaufman, J. C., & Beghetto, R. A. (2009). Beyond big and little: The four c model of creativity. *Review of general psychology*, 13(1), 1-12.
- Kaufman, J. C., & Glăveanu, V. P. (2019). A Review of Creativity Theories. What questions are we trying to answer? In J. C. Kaufman, & R. J. Sternberg, *The Cambridge Handbook of Creativity* (S. 27-43). Cambridge: Cambridge University Press.
- Krampen, G. (2019). *Psychologie der Kreativität. Divergentes Denken und Handeln in Forschung und Praxis*. Göttingen: Hogrefe.
- Mahaffy, P. (2004). The future shape of chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 229-245.
- Maier, G. W., Möhrle, M. G., & Specht, D. (14. Februar 2018). *Definition: Was ist "Kreativität"?* Abgerufen am 29. August 2024 von Gabler Wirtschaftslexikon: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kreativitaet-40039/version-263434>
- Mandl, H., & Reinmann, G. (2006). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp, & B. Weidenmann, *Pädagogische Psychologie* (S. 613-658). Basel: Beltz.
- Mayring, P. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41(1), 49-100.
- Moffitt, T. E., Arseneault, L., Belsky, D., Dickson, N., Hancox, R. J., Harrington, H., . . . Caspi, A. (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 108(7), 2693-2698.
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of psychology*, 81(2), 111-121.
- Mortimer, C. E., & Müller, U. (2010). *Chemie. Das Basiswissen der Chemie*. Stuttgart: Thieme.
- Neber, H. (1993). Training der Wissensnutzung als objektgenerierende Instruktion. In K. J. Klauer, *Kognitives Training* (S. 217-243). Göttingen: Hogrefe.
- Neber, H. (1999). Aktives Lernen durch epistemisches Fragen: Generieren versus Kontrollieren im Kontext des Geschichtsunterrichts. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 13(4), S. 212-222.

- Neber, H., & Anton, M. A. (2008). Förderung präexperimenteller epistemischer Aktivitäten im Chemieunterricht. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 22(2), S. 143-150.
- Petermann, K., Friedrich, J., & Oetken, M. (2008). "Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren". Inhaltliche Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *CHEMKON: Forum für Unterricht und Didaktik*, 15(3), S. 110-118.
- Plucker, J. A., Beghetto, R. A., & Dow, G. T. (2004). Why isn't creativity more important to educational psychologists? Potentials, pitfalls, and future directions in creativity research. *Educational Psychologist*, 39(2), S. 83-96.
- Posch, P., & Zehetmeier, S. (2010). *Aktionsforschung in der Erziehungswissenschaft*. (Beltz Juventa, Hrsg.) Abgerufen am 10. August 2024 von Enzyklopädie Erziehungswissenschaften Online. Fachgebiet: Methoden der erziehungswissenschaftlichen Forschung, wissenschaftstheoretische Grundlagen.
- Rauch, W. A. (2022). Exekutive Funktionen. In M. Gebhardt, D. Scheer, & M. Schurig, *Handbuch der sonderpädagogischen Diagnostik. Grundlagen und Konzepte der Statusdiagnostik, Prozessdiagnostik und Förderplanung* (S. 163-174). Regensburg: Universitätsbibliothek.
- Reiners, C. S. (2022). *Chemie vermitteln. Fachdidaktische Grundlagen und Implikationen*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Rhodes, M. (1961). An Analysis of Creativity. *The Phi Delta Kappan*, 42(7), S. 305-310.
- Rickey, D., & Stacy, A. (2000). The role of metacognition in learning chemistry. *Journal of chemical education*, 77(7), 915-920.
- Riedel, E., & Janiak, C. (2015). *Anorganische Chemie*. Berlin, Boston: De Gruyter.
- Saborowski, J. (2022). Theorien und Modelle. In C. S. Reiners, *Chemie vermitteln. Fachdidaktische Grundlagen und Indikationen* (S. 54-64). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Sandmann, A. (2014). Lautes Denken - die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 179-188). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien, New York: Springer.
- Sternberg, R. J. (2018). A triangular theory of creativity. *Psychology of aesthetics, creativity, and the arts*, 12(1), 50-67.
- Sternberg, R. J., Kaufman, J. C., & Pretz, J. E. (2002). *The creativity conundrum: A propulsion model of kinds of creative contributions*. New York, London, Brighton: Psychology Press.
- Stowasser, J. M., Petschenig, M., & Skutsch, F. (2012). *Stowasser*. Oldenburg: Hölder-Pichler-Tempsky.
- Streller, S., Bolte, C., Dietz, D., & Noto La Diega, R. (2019). *Chemiedidaktik an Fallbeispielen. Anregungen für die Unterrichtspraxis*. Berlin: Springer Spektrum.
- Taber, K. S. (2008). Towards a curricular model of the nature of science. *Science & Education*, 17, S.179-218.
- Tharp, T. (2006). *The creative habit: learn it and use it for live*. London: Simon & Schuster.
- Treffinger, D. J., Isaksen, S. G., & Stead-Dorval, B. (2021). *Creative problem solving. An introduction*. New York: Routledge.

- van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teacher's knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.
- von Aufschnaiter, C. (2014). Laborstudien zur Untersuchung von Lernprozessen. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 81-94). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Wallas, G. (1926). *The art of thought*. London: Cape.
- Weiner, R. P. (2000). *Creativity and beyond: cultures, values, and change*. New York: State University of New York Press.
- Wilhelm, T., & Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker, *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 31-42). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
z.B.	zum Beispiel
ca.	circa
d.h.	das heißt
engl.	englisch
vgl.	vergleiche
SuS	Schüler und Schülerinnen
L	Lehrperson
LuL	Lehrer und Lehrerinnen
°C	Grad Celsius (Maßeinheit der Temperatur)
kg	Kilogramm (Maßeinheit der Masse)
NAWI	Naturwissenschaft
MINT	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik
MS Teams	Microsoft Teams
Abb.	Abbildung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Chemischer Tetraeder nach Mahaffy (modifiziert nach Mahaffy, 2004)	24
Abbildung 2 Modell zur Atombindung	45
Abbildung 3 Modell zur Atombindung	45
Abbildung 4 Modell zur Metallbindung	45
Abbildung 5 Angebot der zur Verfügung gestellten Süßigkeiten	46
Abbildung 6 Modelle zur Ionenbindung	46
Abbildung 7 Modell zur Metallbindung	46
Abbildung 8 Modelle zur Atombindung	46
Abbildung 9 Vorläufige Stundenplanung - Teil 1	48
Abbildung 10 Vorläufige Stundenplanung - Teil 2	48
Abbildung 11 Plan für den Chemiesaal	49
Abbildung 12 Arbeitsanweisung für die Schüler*innen	50
Abbildung 13 Übersicht zu den Aufgaben (Einblendung via Beamer)	51
Abbildung 14 Kärtchen mit materialspezifischen Eigenschaften (a. – c)	52
Abbildung 15 Schnappdeckelgläser mit Proben zu den jeweiligen Stoffgruppen	52
Abbildung 16 Lernposter (in Anlehnung an Geiger J., WiSe 09/10 LMU)	53
Abbildung 17 Goldene Regeln bei kooperativen Arbeitsformen	55
Abbildung 18 IB_4C_CHeMnI	74
Abbildung 19 IB_4C_SAS	74
Abbildung 20 IB_4C_5	74
Abbildung 21 IB_4A_DönerBude und H ₂ O	75
Abbildung 22 IB_4A_VEJ	75
Abbildung 23 IB_4A_Elemente	75
Abbildung 24 IB_4A_Nuke (Video-Transkription und Bildausschnitte)	75
Abbildung 25 MB_4C_Stern	76
Abbildung 26 MB_4C_CHeMnI	76
Abbildung 27 MB_4A_DönerBude	76
Abbildung 28 MB_4A_VEJ	76
Abbildung 29 MB_4A_Nuke (Video-Transkription und Bildausschnitte)	76
Abbildung 30 AB_4C_CHeMnI	77
Abbildung 31 AB_4A_Elemente	77
Abbildung 32 AB_4A_H ₂ O	77
Abbildung 33 AB_4A_VEJ	77
Abbildung 34 AB_4C_Stern	77
Abbildung 35 AB_4A_Nuke (Video-Transkription und Bildausschnitte)	77
Abbildung 36 Beobachtungsprotokoll – Vorderseite (1. + 2.Stunde) (4C-Klasse)	117
Abbildung 37 Beobachtungsprotokoll – Rückseite (1. + 2.Stunde) (4C-Klasse)	118
Abbildung 38 Beobachtungsprotokoll - Vorderseite (1. + 2.Stunde) (4C-Klasse)	119
Abbildung 39 Beobachtungsprotokoll - Rückseite (1. + 2.Stunde) (4C-Klasse)	120
Abbildung 40 Beobachtungsprotokoll in chronologischer Abfolge (4. + 5. Stunde) (4A-Klasse)	121
Abbildung 41 Beobachtungsprotokoll - Vorderseite (4.Stunde) (4A-Klasse)	122
Abbildung 42 Beobachtungsprotokoll - Vorderseite (5.Stunde) (4A-Klasse)	123
Abbildung 43 Beobachtungsprotokoll - Rückseite (5.Stunde) (4A-Klasse)	124

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1 Klassifikation von Kreativität in verschiedenen Wirkungsbereichen.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabelle 2 Tippkärtchen zu den jeweiligen Stoffgruppen</i>	<i>54</i>
<i>Tabelle 3 Erstinformationen zu den Proband*innen</i>	<i>57</i>
<i>Tabelle 4 Anzahl der Proband*innen und vollständig beantwortete Fragebögen</i>	<i>61</i>
<i>Tabelle 5 Allgemeine Daten der Proband*innen.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 6 Durchschnittsnote in Deutsch, Mathematik und Englisch</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 7 Einstellung der Schüler*innen zur Chemie und zum aktuellen Chemieunterricht</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 8 Lernsituation im Chemieunterricht</i>	<i>63</i>
<i>Tabelle 9 Charakterisierung der Gruppen in der 4C- und 4A-Klasse.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabelle 10 Beschreibung der Rollen in offenen Teamprozessen (zit. n. Hochschullehrgang flex-based learning, Haim, K., 2023/24)</i>	<i>66</i>
<i>Tabelle 11 Analyse der Rollen in der offenen Lernsituation in der 4C-Klasse</i>	<i>66</i>
<i>Tabelle 12 Analyse der Rollen in der offenen Lernsituation in der 4A-Klasse</i>	<i>68</i>
<i>Tabelle 13 Nutzung der Materialien und Hilfsmittel sowie Stellen fachlicher Fragen an Lehrerin</i>	<i>69</i>
<i>Tabelle 14 Arbeitsschritte der Herangehensweise in der 4C-Klasse.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabelle 15 Arbeitsschritte der Herangehensweise in der 4A-Klasse</i>	<i>72</i>
<i>Tabelle 16 Anmerkungen von der Fachkollegin.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabelle 17 Anzahl der Proband*innen und Fragebögen.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabelle 18 Aufgabenstellung</i>	<i>78</i>
<i>Tabelle 19 Lernsituation</i>	<i>78</i>
<i>Tabelle 20 Arbeit innerhalb der Gruppe.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabelle 21 Ergebnis der Gruppenarbeit.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabelle 22 N5 Gib an, was dir bei der Aufgabenstellung besonders schwer gefallen ist.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabelle 23 N6 Gib an, welche Informationen bzw. Materialien für die Lösungsfindung noch hilfreich bzw. notwendig gewesen wären.....</i>	<i>80</i>

Anhang

Anhang A: Beschreibung der Rollen innerhalb der Gruppe

Rollenname	Rollenbeschreibung
 Zeitmanager*in	- Du achtest darauf, dass die vorgegebenen Zeiten zur Aufgabenerledigung eingehalten werden. - Du gibst der Gruppe Zeithinweise (wir haben noch ...).
Material- verantwortliche/r 	- Du beschaffst die notwendigen Materialien für die Aufgabe entsprechend der Arbeitsanweisung. - Du verteilst das Material an die Gruppenmitglieder entsprechend der Teilaufgaben. - Du gibst Hinweise zum sorgfältigen Umgang mit den Materialien.
 Lautstärke- wächter*in	- Du achtest auf die Einhaltung der Lautstärke, damit andere Gruppen nicht gestört werden. - Du gibst Hinweise an die Gruppenmitglieder oder an die anderen Gruppen bei zu lauter Arbeitsweise.
 Protokollant*in	- Du bist dafür verantwortlich, dass das Protokoll sauber und ausführlich geschrieben wird. - Du gibst das Protokoll nach der Stunde bei der Lehrkraft ab.
 Spion*in 	- Du darfst bei den anderen Gruppen spionieren gehen und nachsehen, zu welchen Arbeitsergebnissen die anderen gekommen sind. - Du gibst deiner Gruppe Hinweise auf andere mögliche Lösungswege oder Fehler, die ihr eventuell gemacht habt.

Anhang B: Evaluationsinstrumente

Fragebogen zur aktuellen Lernsituation im Chemieunterricht (vorher)

Liebe Schülerin!

Lieber Schüler!

In diesem Fragebogen werden **Deine aktuellen Gedanken** zu *Lernsituationen im Chemieunterricht und zum Chemieunterricht selbst* erfasst, damit der **Unterricht weiterentwickelt** werden kann.

Lies bitte den Fragebogen **aufmerksam** durch und gib an, welche Antwort Deiner Meinung nach am besten passt und kreuze das entsprechende Kästchen an. Es geht um **Deine persönliche Meinung**. Deshalb gibt es keine ‚richtigen‘ oder ‚falschen‘ Antworten.

Die Befragung erfolgt **anonym**, das heißt es kann nicht zurückverfolgt werden, was Du geantwortet hast.

Damit die einzelnen Fragebögen einfacher **ausgewertet** werden können, muss auf jedem Fragebogen ein **selbst generierter Code** stehen. Diesen musst Du dir unbedingt **merken** und auf den **zweiten nachkommenden Fragebogen** ebenfalls gleich angeben.

Bei **Fragen** kannst und sollst Du mich sofort ansprechen!

Vielen Dank für Deine Teilnahme! :)

Erstelle hier deinen selbst generierten Code!

Dieser stellt sich folgendermaßen zusammen:

- *Der Anfangsbuchstabe vom Monat in dem du geboren wurdest.*
- *Deine Lieblingszahl zwischen 0 und 9.*
- *Der erste Buchstabe deiner Lieblingsfarbe.*
- *Der erste Buchstabe deines Lieblingsfaches.*

Dein Code lautet: _____

Allgemeine Daten zur Person

Gib dein Alter an: _____ (in ganzen Zahlen)

Geschlecht: ☐ männlich ☐ weiblich ☐ divers

Gib die Durchschnittsnote der Fächer Deutsch, Mathematik und Englisch an.
(Im letzten Schuljahr oder die Schularbeitsnoten im aktuellen Schuljahr.)

V1. Einstellung zur Chemie und zum aktuellen Chemieunterricht

Aussagen	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme völlig zu
V1.1 Mein Interesse an Chemie ist sehr groß.	☐	☐	☐	☐
V1.2 Chemie macht mir sehr Spaß.	☐	☐	☐	☐
V1.3 Chemie ist für mich ein besonders wichtiges Fach.	☐	☐	☐	☐
V1.4 In Chemie lerne ich Dinge, die ich im Alltag sehr gut anwenden kann.	☐	☐	☐	☐
V1.5 Über manche Inhalte aus dem Chemieunterricht denke ich auch in meiner Freizeit gerne nach.	☐	☐	☐	☐
V1.6 Im Chemieunterricht werden die Themen so vermittelt, dass ich damit etwas anfangen kann.	☐	☐	☐	☐
V1.7 Ich fühle mich im Chemieunterricht sehr wohl.	☐	☐	☐	☐

V2. Lernsituation im Chemieunterricht

Aussagen	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme völlig zu
V2.1 Ich bin mit der aktuellen Lernsituation im Unterricht sehr zufrieden.	☐	☐	☐	☐
V2.2 Das Lerntempo im Unterricht ist für mich überhaupt nicht zu schnell.	☐	☐	☐	☐
V2.3 Ich frage bei Unklarheiten im Unterricht sofort nach.	☐	☐	☐	☐
V2.4 Ich melde mich nur, wenn die Lehrperson sagt, dass jetzt Zeit für Fragen ist.	☐	☐	☐	☐
V2.5 Mir fällt es sehr leicht, neue Lerninhalte im Unterricht zu verstehen.	☐	☐	☐	☐
V2.6 Ich kann Vorwissen aus anderen Fächern (z.B. Physik) und aus dem Alltag im Unterricht anwenden.	☐	☐	☐	☐
V2.7 Ich finde es sehr leicht, im Unterricht erlerntes Wissen selbstständig auf neue Inhalte anzuwenden.	☐	☐	☐	☐
V2.8 Diskussionen in Kleingruppen sind hilfreich für das Verständnis von chemischen Lerninhalten.	☐	☐	☐	☐
V2.9 Ich kann auch schwierige Aufgaben im Unterricht lösen, wenn ich mich anstrengte.	☐	☐	☐	☐
V2.10 Der Chemieunterricht ist für mich gar nicht abstrakt.	☐	☐	☐	☐

Beobachtungsbogen

Gruppenname:
♂ ♀
Art der verwendeten Hilfsmittel (z.B. Heft, Poster, Stoffeigenschaften, Tipps)
Äußerungen zum Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung
Vorgehensweise der SuS (z.B. zuerst Theorie besprechen, sofort ausprobieren)
Verhalten der SuS in Bezug auf die Aufgabenstellung (z.B. motiviert, frustriert, neugierig)
Reaktion zur Überwindung von Frustrationsphasen (z.B. Reaktion auf Misserfolg, wie machen sie weiter)
Häufigkeit, fachliche Fragen an Lehrperson zu stellen (Strichliste)
Ungefähre Dauer bis zur Lösungsfindung (1) Metallbindung (2) Ionenbindung (3) Atombindung
Organisation innerhalb der Gruppe (z.B. gegenseitiges Helfen, Übernahme der Führung)
Besondere Beobachtungen / Auffälligkeiten / Notizen

Fragebogen zur vorangegangenen Unterrichtssequenz zu chemischen Bindungen (nachher)

Liebe Schülerin!
Lieber Schüler!

In diesem Fragebogen werden **Deine Gedanken** zur vorangegangenen Unterrichtssequenz zu den *chemischen Bindungen* erfasst, damit der **Unterricht weiterentwickelt** werden kann.

Lies bitte den Fragebogen **aufmerksam** durch und gib an, welche Antwort Deiner Meinung nach am besten passt und kreuze das entsprechende Kästchen an. Es geht um **Deine persönliche Meinung**. Deshalb gibt es keine ‚richtigen‘ oder ‚falschen‘ Antworten.

Die Befragung erfolgt **anonym**, das heißt es kann nicht zurückverfolgt werden, was Du geantwortet hast.

Damit die einzelnen Fragebögen einfacher **ausgewertet** werden können, muss auf jedem Fragebogen ein **selbst generierter Code** stehen. Bitte gib hier wieder **denselben Code** an wie auf dem **vorangegangenen Fragebogen**.

Bei **Fragen** kannst und sollst Du mich sofort ansprechen!

Vielen Dank für Deine Teilnahme! :)

Erstelle hier deinen selbst generierten Code!

Dieser stellt sich folgendermaßen zusammen:

- Der Anfangsbuchstabe vom Monat in dem du geboren wurdest.
- Deine Lieblingszahl zwischen 0 und 9.
- Der erste Buchstabe deiner Lieblingsfarbe.
- Der erste Buchstabe deines Lieblingsfaches.

Dein Code lautet: _____

Rückmeldung zum praktischen Arbeiten

Beziehe dich hierbei bitte auf die vorangegangene Unterrichtssequenz zu den chemischen Bindungen.

N1. Aufgabenstellung

Aussagen	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme völlig zu
N1.1 Die kreative Aufgabenstellung hat mich für die Chemie sehr motiviert.	☐	☐	☐	☐
N1.2 Die Aufgabenstellung entspricht meinem derzeitigen Wissensstand.	☐	☐	☐	☐
N1.3 Die Aufgabenstellung war sehr klar und verständlich formuliert.	☐	☐	☐	☐
N1.4 Die vorhandenen Materialien waren absolut ausreichend, um die Aufgabenstellung zu lösen.	☐	☐	☐	☐

N2. Lernsituation

Aussagen	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme völlig zu
N2.1 Die Lernsituation in Verbindung mit kreativen Methoden hat sehr Spaß gemacht.	☐	☐	☐	☐
N2.2 Das selbstständige kreative Arbeiten hat mein Verständnis für die Chemie sehr gefördert.	☐	☐	☐	☐
N2.3 Durch das selbstständige Ausprobieren mit Sachgegenständen kann ich mir die Dinge viel besser merken.	☐	☐	☐	☐
N2.4 Ich konnte Vorwissen aus anderen Fächern (z.B. Physik) anwenden.	☐	☐	☐	☐
N2.5 Ich konnte Vorwissen aus dem Alltag anwenden.	☐	☐	☐	☐
N2.6 Für mich war es sehr leicht, das bisher erlernte Wissen zu nutzen, um die chemischen Bindungen daraus abzuleiten.	☐	☐	☐	☐
N2.7 Die Süßigkeiten haben mich zusätzlich sehr bei der Erarbeitung schwieriger Aufgabenstellungen motiviert.	☐	☐	☐	☐

N3. Arbeit innerhalb der Gruppe

Aussagen	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme völlig zu
N3.1 Ich konnte mein Wissen in der Gruppe erfolgreich einbringen.	☐	☐	☐	☐
N3.2 Ich habe durch die Diskussion in der Gruppe viel Neues gelernt.	☐	☐	☐	☐
N3.3 Ich habe mich am Bau der Modelle aktiv beteiligt.	☐	☐	☐	☐

N4. Ergebnis der Gruppenarbeit

Aussagen	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme völlig zu
N4.1 Das Modell für die Metalle ist mir sehr leicht gefallen.	☐	☐	☐	☐
N4.2 Das Modell für die Salze ist mir sehr leicht gefallen.	☐	☐	☐	☐
N4.3 Das Modell für die Nichtmetalle ist mir sehr leicht gefallen.	☐	☐	☐	☐
N4.4 Ich kann fachlich erklären, warum meine Gruppe die Modelle so gebaut hat.	☐	☐	☐	☐

N5. Gib an, was dir bei der Aufgabenstellung besonders schwer gefallen ist.

N6. Gib an, welche Informationen bzw. Materialien für die Lösungsfindung noch hilfreich bzw. notwendig gewesen wären.

Anhang C: Beobachtungsbögen zur praktischen Arbeitsphase

Beobachtungsbogen

4c, 1.12.2023, 8:00-9:45, Start GA: 8:17, 9:10 Hinweis von L „Modell zu beschreiben“

Beobachtungspunkte	Gruppenname: M & M's ♂ 0 ♀ 3	Gruppenname: CHeMnI ♂ 3 ♀ 0	Gruppenname: Gruppe 5 ♂ 2 ♀ 1
Art der verwendeten Hilfsmittel (z.B. Heft, Poster, Kärtchen mit Eigenschaften, Hilfskärtchen 1-3)	Suchen im Heft Infos zur Frage „Wir brauchen ein Modell?“ 9:15 Hinweiskärtchen (1)	Hinweiskärtchen 1 Holen sich nach längerer Diskussion das Kupfersulfat Periodensystem (aus dem Schulbuch) Infoblätter	Alle Hinweiskärtchen, Heft, Periodensystem Sehen sich alle End- bzw. Anfangsprodukte an (lagen am Tisch neben der Eingangstüre) Starker Input von L (notwendig) Fragen vereinzelt andere Gruppen, was diese gemacht haben.
Äußerungen zum Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung	„Ich check das nicht“ „Was für ein Modell“		„Keine Ahnung.“ Sehr viele Schweig-Phasen der Gruppenmitglieder:innen
Vorgehensweise der Schüler:innen (z.B. zuerst Theorie besprechen, sofort ausprobieren)	Zunächst Theorie „Blatt zum Atomaufbau“ gelesen Nach ~10' Materialien zum Ausprobieren geholt, ab diesem Zeitpunkt bestand die Vorgehensweise aus Ausprobieren-Diskussion-Nachfragen bei L Subjektive Interpretation: vergleichsweise sehr experimentierfreudig	Theorie „Atomaufbau“ lesen + anschließender Diskussion (stark mit Lesen der Theorie beschäftigt) Nach ca. 13' Materialien zum Ausprobieren geholt Danach Kombination aus Theorie nachlesen – Ausprobieren Subjektive Interpretation: Wirken in der Vorgehensweise kontrollierter/organisierter als beispielsweise Gruppe M&M's Beginnen mit der Aufgabenstellung zum Metall -> keine Lösung gefunden und sie wechseln nach ca. 20' zum Salz	Stark mit der Theorie beschäftigt. Lesen sich alle die Theorie durch. Erst ab ca. 9:06 ausprobiert, nachdem viele Inputs seitens L notwendig waren. Danach probieren sie die Metallbindung.

Abbildung 36 Beobachtungsprotokoll – Vorderseite (1. + 2.Stunde) (4C-Klasse)

Beobachtungsbogen

4c, 1.12.2023, 8:00-9:45, Start GA: 8:17, 9:10 Hinweis von L „Modell zu beschreiben“

Verhalten der Schüler:innen in Bezug auf die Aufgabenstellung (z.B. motiviert, frustriert, neugierig)	Der Experimentierpart motiviert sie stark (lachen, diskutieren, bringen euphorisch Ideen ein [Schülerin: „Ich weiß was wir machen, ich weiß was wir machen...!“])	Motiviert, interessiert, neugierig Wenn jemandem ein „Licht aufgegangen ist“, dann sichtliche Freude (höhere Stimmlage, weit geöffnete Augen)	Wirken planlos, lesen viel Theorie, viele Schweig-Phasen wirken gelangweilt (schlafe Sitzposition, aus dem Fenster schauen, lesen der Theorie, viele Schweig-Phasen)
Reaktion zur Überwindung von Frustrationsphasen (z.B. Reaktion auf Misserfolg, wie machen sie weiter)	Weiteres Ausprobieren, Fragen an L	Stellen Fragen an L, lesen nach, diskutieren, sehen sich die Hinweiskärtchen an	Schweigen, lesen der beigelegten Theorieblätter
Häufigkeit, fachliche Fragen an Lehrperson zu stellen (Strichliste)	4x „Wie brauchen ein Modell, ich verstehe das nicht?“ „Was für ein Modell“	6x	7x
ungefähre Dauer bis zur Lösungsfindung (1) Metallbindung (2) Ionenbindung (3) Atombindung	8:56 → Metallbindung (39')	8:59 → Ionenbindung (42')	9:14 Metallbindung (57') [starker Input von L war notwendig]
Organisation innerhalb der Gruppe (z.B. gegenseitiges Helfen, Übernahme der Führung)	Eine Schülerin übernimmt die Führungsrolle (stellt die Fragen an L, sagt an was diskutiert wird) Alle wollen Ausprobieren und die Ideen innerhalb der Gruppe präsentieren	Schüler 1 bestimmt Protokollant, Schüler 3 bestimmt Schüler 1 nach einer Zeit zum Zeitmanager Gemeinsames Erarbeiten Geordnetes Arbeiten	Ein Schüler zuständig zum Holen der Materialien, während die anderen sitzenbleiben. Zögern die Materialien zu holen „Soll ich holen?“, „Hole, was du willst.“
besondere Beobachtungen / Auffälliges / Notizen	Schülerin: „Schau was sie in Gruppe 5 machen!“ → vermutlicher Hinweis darauf, dass Gruppe 5 planlos wirkte. „Lange Wartezeit bis L Handzeichen bemerkt (knappe 15') → Gruppe führt in der Zwischenzeit Privatgespräche; Gruppe wartet anstatt weiterzuarbeiten in der Zwischenzeit	Schüler aus Gruppe 5 wird als Spion beschuldigt.	Vergessen, dass es die Hinweiskärtchen gibt (in der ersten Einheit). Intensive Betreuung von L notwendig Gruppe wartet ab, wenn sie auf L warten, wegen einer Frage, anstatt weiterzuarbeiten in der Zwischenzeit

Abbildung 37 Beobachtungsprotokoll – Rückseite (1. + 2.Stunde) (4C-Klasse)

Beginn: 08:17

GAH

40 min GAH -> 08:57

09:09: 20 min f. Besichtigung Modelle

> 09:29

09:24 Fotos

machen hochladen

Beobachtungsbogen

08:45: Tippkärtchen in falscher Reihenfolge
wächst -> eigentlich 3-2-1

LC A

Beobachtungspunkte	Gruppenname: STERN ♂ 1 ♀ 3	Gruppenname: SAS ♂ 1 ♀ 3	Gruppenname: 5 ♂ 1 2 ♀ 1 1
Art der verwendeten Hilfsmittel (z.B. Heft, Poster, Kärtchen mit Eigenschaften, Hilfskärtchen 1-3)	Poster Poster Kärtchen mit Eigensch. Tippkärtchen 3 09:09 schauen sich Stoffe an (nach Hinweis)	Poster Heft -> B-Lapbook Tippkarte 1+2 Kärtchen mit Eigensch. 09:06 Hof 2. or Nach-Karte stelle	Poster Kärtchen mit Eigensch. Tippkärtchen 1+2+3 Heft dazu gehören sie 09:17 Stoffe betrachtet
Äußerungen zum Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung	08:43: Tief: Verstehen Aufgabe nicht 09:08 neues Modell	08:32: Tippkärtchen hat nicht geholfen	kennen sich nicht aus gehen gegenüber anderen 08:30 Gruppen an sie verstehen es nicht
Vorgehensweise der Schüler:innen (z.B. zuerst Theorie besprechen, sofort ausprobieren)	AA lesen Direkt zu 1. Modell interessiert, motiviert zu Beginn bis Ende 1. Modell	AA lesen Lehrkraft fragen 08:33 beginnen zu bauen 09:11 wählen Modell Eigenschaften S1 Lead, S2+3 indifferent	AA lesen - Konfrontation Lehrkraft holen mehrmals S1 notiert auf Zettel 09:07 holen erste Materialien
Verhalten der Schüler:innen in Bezug auf die Aufgabenstellung (z.B. motiviert, frustriert, neugierig)	S1 zeigt 08:12 erstes Modell! S1 übernimmt Lead - baut S2 bringt sich ein beim Bauen nach feststellen, was S1 macht S3 hilft zu! 08:47 Frustration	S1 übernimmt Lead, liest vor und gibt an, was zu tun ist S2 zeigt auf, aber S1 lösen Problem selber Dann stehen sie an -> aber motiviert weiter zu machen S3	Witken überfordert M1 wirkt uninteressiert S1 versucht zu verstehen, liest M2 reagiert auf Überforderung Eigeninitiative

Abbildung 38 Beobachtungsprotokoll - Vorderseite (1. + 2. Stunde) (4C-Klasse)

Beobachtungsbogen

(4) (8)

Reaktion zur Überwindung von Frustrationsphasen (z.B. Reaktion auf Misserfolg, wie machen sie weiter)	haben gut begonnen - lesen, überlegen, Tabelle auf Zettel dann Tief - keine Ahnung was tun sollte Tippskarte 1 starten neu mit Überlegungen - Notizen Stille und Beschränkung bei S1+S2 ↳ Dinten abo	Kurzes Tief, „versuchen nichts“ - waden nach Tipp weiter	Resignation Pausen Rede phasen kommen nicht weiter
Häufigkeit, fachliche Fragen an Lehrperson zu stellen (Strichliste)			 brauchen sehr viele Hilfestellung Notizen kommen trotzdem nicht weiter
ungefähre Dauer bis zur Lösungsfindung (1) Metallbindung (2) Ionenbindung (3) Atombindung	Ionenbind. 5 min f. 1. Modell ^{→ eher dachte Atom!} Atombind.: 09:19 sehr abwegig	Ionenbind.: 08:50 1. Modell 09:06 2. Modell	
Organisation innerhalb der Gruppe (z.B. gegenseitiges Helfen, Übernahme der Führung)	S1 Führung S2 steht hinter mit Hilfe ein als S2 bei Modellbau	S1 übernimmt Führung → lesen S2 + S3 bringen ein mit Frage S2 lead beim Bauen S3 holt alles S1 gibt Anweisungen	S1 übernimmt Führung head, will aber nicht, M1 fühlt sich unwohl in Setting, aber bemüht sich um Führung M2 wirkt gelangweilt 08:50 M2 übernimmt theoret.
besondere Beobachtungen / Auffälliges / Notizen	Bauen Atome! → Irrige Annahme: sie müssen Atome bauen u. dann verbinden! → Info auf Anleitung verbessern?	Bauen „Kristallmodell“ - sind der Meinung das ist ein Atom!	überlegungen mit S1 M1 bleibt indifferent aber hilft S1 erklärt M1, was sie ^{haben wollen} verstanden hat ↳ M1 was bringt

Abbildung 39 Beobachtungsprotokoll - Rückseite (1. + 2.Stunde) (4C-Klasse)

Beginn: 12:18 5 min Zeit f. Modelle Streams Gruppe 1: VES*VES Fotos + Beschreibung L-Interaktion M:15 ↳ M:45	12:24 Ende Gruppe 2: NVKE L-Interaktion ♀ / ♂ 3 IIII	Gruppe 3: H2O L-Interaktion ♀ 3 ♂ IIII	Gruppe 4 ♀ ♂	Gruppe 5 ♀ ♂ 4A
Gründliche Vorbereitung M:20 Input Stoffklassen durchgehen M:23 Hilfestellung der L Blöcke - scheinen überfordert zu sein S4 holt S23 Ikon S1 geneuert, entfernt Disk S3 blödet u. nimmt nicht ernst S1,2,4 kritisieren ihn M:30 S3 ruft L - brauchen viel Unterstützung M:43 L-Hilfe Aufbau Salz Vgl. VdL-Kristall M:47 holen Material (Vogel) M:49 beginnen zu bauen S3 übernimmt Lead beim Bauen S2 spricht f. Ord S1 beteiligt sich am Bauen M:52 1. Modell Ionenbind M:55 Nichtmetalle 12:11 L-Hilfe f. Metalle 12:16 L-Hilfe 12:22 Modell f. Metallbind	S1 fragte nach Modelle auf Teilend. Modellchemie Anleitung -> 1. Ionen, da alles da ist S1 fasst auf Blatt M:23 Facts zus S2 weiß nicht, was los ist L wird Lefter M:24 S2 erklärt S1+3 - notieren u. lesen Exp. sch. Fact-sheet S2 liest im Heft nach S1 notiert S3 ist nur Zuschauer M:40 holen Material (Beads) M:49 beginnen zu bauen M:50 Modell f. Ionenbind M:51 Modell f. Nichtmetalle 12:01 12:02 Video zu Ionenbind S3 videografiert - 1. Mol. Aufbau S1 + S2 arbeiten hoch notiert 12:07 wollen Tipp holen -> aussen nicht 12:11 Video zu Metall 12:19 L-Hilfe knS - nur 1 nicht 2! 12:20 Video Atombind	M:25 Lesen d. Infoblätter Aufgabe, Factsheet, Exp. sch S1 übernimmt Lead und erklärt S2 liest nach M:30 S3 S3 wirkt Lost + S4 S1+2 nähern zu + übersetzen sich Dinge M:40 holen L - was zu tun - Sprachbasierte S1 bereits Kristallstr. Skizziert M:50 holen Material (Marshmallows) M:56 wirbeln lost 12:01 L hilft 12:04 Modell f. Ionenbind 12:16 L hilft S4 wirkt Lost wissen S1+2 arbeiten hoch aber Sprachbereich 12:21 L-Hilfe	Frage - im Unterricht - Bedeutung Valenze - hervorgehoben? - Frage f. Ionen	

Abbildung 40 Beobachtungsprotokoll in chronologischer Abfolge (4. + 5. Stunde) (4A-Klasse)

Beobachtungsbogen

4. Std. 4A Ende 11:50

5. Std. 4A Beginn 11:50

Beobachtungspunkte	Gruppenname:	Gruppenname:	Gruppenname:
	Döner Buote ♂ ♀	Elemente ♂ ♀	H ₂ O ♂ ♀
Art der verwendeten Hilfsmittel (z.B. Heft, Poster, Kärtchen mit Eigenschaften, Hilfskärtchen 1-3)	Heft Anleitung wird durchgelesen, Hilfskärtchen Frage zum Protokoll Frage zu Metallen Heft, Poster	Heft + Periodensystem	Verwenden Hilfskärtchen Kärtchen, Heft + Poster,
Äußerungen zum Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung	war noch 15 min Zeit und es fehlen noch 2	Schwierig: Verstehen die Aufgabenstellung nicht	
Vorgehensweise der Schüler:innen (z.B. zuerst Theorie besprechen, sofort ausprobieren)	Theorie besprechen Südigkeiten anordnen + bei Überlegungen auf Papier aufschreiben und Südigkeiten anordnen	Aus Theorie, dann ausrechnen (2 S, 1 Schüler bleibt sitzen) Rufen die Lehrperson zu Hilfe Sehen sie Proben an	Arbeiten eher lieber für sich Machen sich Notizen, besprechen, Diskutieren anhand von Notizen + Periodensystem + Kärtchen
Verhalten der Schüler:innen in Bezug auf die Aufgabenstellung (z.B. motiviert, frustriert, neugierig)	Optim konzentriert an die Aufgabe heran Diskutieren über Anordnung der Südigkeiten + machen Fotos Beim 2. Beispiel nicht: Diskutieren, Aufschreiben, benutzen Kärtchen	Am Anfang: Ich weiß weiß nicht was wir machen sollen, schauen wir es uns einmal an. frustriert, "keine Ahnung" keine genaue Stimmung	Beginnen schon am Anfang, das Protokoll zu gestalten D.S. B.

Abbildung 41 Beobachtungsprotokoll - Vorderseite (4.Stunde) (4A-Klasse)

Beobachtungsbogen

Beobachtungspunkte	Gruppenname: <u>DÖNER 2</u> <u>Hyphalmitze</u> ♂ 3 ♀	Gruppenname: <u>ELEMENTE</u> <u>Mille</u> ♂ 2 ♀ 1	Gruppenname: <u>420 1</u> ♂ ♀ 4 <u>Ursula</u>
Art der verwendeten Hilfsmittel (z.B. Heft, Poster, Kärtchen mit Eigenschaften, Hilfskärtchen 1-3)	<u>Kärtchen, Periodensystem, Heft, Poster</u>	<u>Heft, Kärtchen, Periodensystem</u>	<u>Heft, Kärtchen</u>
Äußerungen zum Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung	<u>/</u>	<u>Obwohl in Gruppenarbeit, wirken überfordert, brauchen oft Hilfenleistung, nehmen Aufgabe wohl sehr an (so?)</u>	<u>wirken überfordert, (+)</u> <u>/</u>
Vorgehensweise der Schüler:innen (z.B. zuerst Theorie besprechen, sofort ausprobieren)	<u>Schreiben annehmen, probieren aus, schauen dann in die Unterlage</u> <u>weil</u>	<u>probieren, Hardy-Weinberg, Nachfragen, schreiben annehmen, Periodensystem, bauen gemeinsam zusammen</u> <u>→ Probieren, machen Notizen</u>	<u>Hardy, Notizen, probieren, diskutieren</u>
Verhalten der Schüler:innen in Bezug auf die Aufgabenstellung (z.B. motiviert, frustriert, neugierig)	<u>z. motiviert, interessiert, kugelt sich, folgen werden</u> <u>den SA</u>	<u>ist weniger motiviert, (+), lassen v. v. Schülern aus anderen Gruppen ableiten, Kärtchen herum geben, nicht z. arbeiten motiviert, auch mehr als wir erhalten</u>	<u>der wenig motiviert, den. Privat Hardy etc., nicht aber an Aufgabe interessiert</u> <u>(+)</u>

Abbildung 42 Beobachtungsprotokoll - Vorderseite (5.Stunde) (4A-Klasse)

Beobachtungsbogen

Reaktion zur Überwindung von Frustrationsphasen (z.B. Reaktion auf Misserfolg, wie machen sie weiter)	probieren immer weiter	suchen irgendwas auf	haben oft selber - bis auf 2 - nur auf den Boden
Häufigkeit, fachliche Fragen an Lehrperson zu stellen (Strichliste)	selten	oft	oft
ungefähre Dauer bis zur Lösungsfindung (1) Metallbindung (2) Ionenbindung (3) Atombindung	/	/	/
Organisation innerhalb der Gruppe (z.B. gegenseitiges Helfen, Übernahme der Führung)	2 ♂ arbeiten together ms. 1 steht zu	1 ♀ führt 2 ♂ machen weiter	1 ♀ probiert, 2 andere unterstützen
besondere Beobachtungen / Auffälliges / Notizen	angenehm	88 minuten	überfordert

Abbildung 43 Beobachtungsprotokoll - Rückseite (5.Stunde) (4A-Klasse)