

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Forschendes Lernen als Anlass zur Entdeckung von
Struktur-Eigenschafts Beziehungen und
zwischenmolekularen Wechselwirkungen am Beispiel
des Löslichkeitsverhaltens ausgewählter Inhaltsstoffe
von Alltagsprodukten“

verfasst von / submitted by

Jennifer Dachauer, BEd

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

Wien, 2022 / Vienna 2022

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

UA 199 540 520 02

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

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Lehrverbund
Unterrichtsfach Chemie Lehrverbund
Unterrichtsfach Mathematik Lehrverbund

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Mag. Dr. Rosina Steininger

Inhalt

Eidesstaatliche Erklärung	IV
Vorwort.....	V
Einleitung.....	VI
1 Forschendes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht	1
1.1 Besonderheiten Forschenden Lernens	1
1.2 Der Forschungsprozess im Zuge Forschenden Lernens	3
1.3 Level Forschenden Lernens	6
1.4 Planung Forschenden Lernens durch die Lehrperson	7
1.4.1 Prinzipien für die Planung Forschenden Lernens durch die Lehrperson	7
1.4.2 Planung Forschenden Lernens anhand des 5E-Modells	9
1.5 Forschendes Lernen als Teil von Scientific Literacy	12
2 Fachdidaktische Aspekte zur Entwicklung einer Lernumgebung zum Forschenden Lernen.....	15
2.1 Allgemein-didaktische Grundlagen zur entwickelten Lernumgebung	15
2.2 Lehrziele zur entwickelten Lernumgebung	16
2.3 Das Basiskonzept Struktur-Eigenschafts Beziehung als zentrales Konzept der entwickelten Lernumgebung.....	17
2.4 Kompetenzorientierung zur entwickelten Lernumgebung.....	18
2.5 Unterrichtsplanung zur entwickelten Lernumgebung.....	21
3 Fachliche Klärung zur Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen in homogenen und heterogenen Mischungen	26
3.1 Zwischenmolekulare Wechselwirkungen	26
3.1.1 Dipol-Dipol-Wechselwirkungen	27
3.1.2 Wasserstoffbrücken.....	27
3.1.3 Van-der-Waals-Kräfte.....	28
3.1.4 Induktionseffekt	29
3.2 Polarität	29
3.3 Lösevorgang	33
3.3.1 Mischung, Lösung und Löslichkeit	33
3.3.2 Homogene und Heterogene Mischungen	33

3.3.3	Solvatation und Hydratation.....	34
3.3.4	Einfluss zwischenmolekularer Wechselwirkungen auf das Löslichkeitsverhalten molekularer Stoffe	36
3.4	Ausgewählte Präkonzepte von Schüler*innen zum Lösevorgang	37
4	Methodik	40
4.1	Erhebungsmethode	41
4.2	Beschreibung der Lernumgebung und Beantwortung der ersten Forschungsfrage	43
4.2.1	Beschreibung des Unterrichtsmaterials	44
4.2.2	Beschreibung der Unterrichtsdurchführungen	59
4.3	Analysemethode	71
4.3.1	Entwicklung eines Kategoriensystems zur zweiten Forschungsfrage	72
4.3.2	Entwicklung eines Kategoriensystems zur dritten Forschungsfrage	79
5	Datenauswertung und Beschreibung der Ergebnisse.....	83
5.1	Zweite Forschungsfrage - Rückmeldungen der Schüler*innen zum Forschenden Lernen	83
5.1.1	Bedeutsame Kategorien zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage	83
5.1.2	Zusammenfassung und Beschreibung der Ergebnisse.....	85
5.1.3	Beleg der Ergebnisse anhand von Schüler*innenaussagen	87
5.2	Dritte Forschungsfrage – Nutzung des Unterrichtsmaterials durch die Schüler*innen	90
5.2.1	Beschreibung eines Fallbeispiels.....	90
5.2.2	Bedeutsame Kategorien zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage	96
5.2.3	Zusammenfassung und Beschreibung der Ergebnisse.....	99
5.2.4	Beleg der Ergebnisse anhand von Schüler*innenaussagen	105
6	Diskussion	110
	Literaturverzeichnis.....	115
	Abkürzungsverzeichnis	121
	Abbildungsverzeichnis.....	122
	Tabellenverzeichnis.....	126
	Anhang.....	127
	Abstract (deutsch).....	128
	Abstract (englisch).....	130
	Planungsraster und Protokollleitfaden	132

Tabelle	135
Gestufte Hilfen	136
Concept Cartoon der ersten Unterrichtsdurchführung	139
Concept Cartoon der zweiten Unterrichtsdurchführung	140
Concept Cartoon der dritten Unterrichtsdurchführung	141
Grafische Darstellung des Kategoriensystems zur zweiten Forschungsfrage	142
Grafische Darstellung des Kategoriensystems zur dritten Forschungsfrage	143

Eidesstaatliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich diese Arbeit selbstständig und ohne Hilfe Dritter verfasst habe. Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als Zitate kenntlich gemacht und alle verwendeten Quellen angegeben habe.

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

Wien, 2022

Jennifer Dachauer

Vorwort

Die Idee für die vorliegende Masterarbeit entstand im Rahmen der Lehrveranstaltung *Forschendes Lernen in der Schule*. In dieser Lehrveranstaltung gestaltete ich gemeinsam mit drei Studienkolleginnen eine Unterrichtseinheit sowie dazugehöriges Unterrichtsmaterial zur Erarbeitung des Phänomens der Phasenbildung innerhalb einer flüssigen Haarkur mittels Forschendem Lernen. Dieses Unterrichtsmaterial lieferte den Grundstein für die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte, erprobte und weiterentwickelte Lernumgebung.

Mein Dank gilt Anja Lembens für die Betreuung und Unterstützung bei der Verfassung meiner Masterarbeit und die Freiheit, meinen persönlichen Interessen nachzugehen.

Mein Dank gilt Rosina Steininger für ihr stets konstruktives Feedback und die vielen Gespräche, wodurch ich mich auch persönlich weiterentwickeln konnte. Vor allem möchte ich mich für die Unterstützung in der Anfangsphase meiner schulischen Arbeit und für den Zuspruch, auf mich selbst zu vertrauen, bedanken.

Mein Dank gilt Brigitte Koliander für die Durchführung der Intercoder-Reliabilität im Rahmen meiner Datenauswertung und die Möglichkeit des fachlichen Austausches.

Mein Dank gilt Rita Krebs für die Unterstützung in der Einarbeitungsphase mit dem Programm MAXQDA Plus und für die Möglichkeit des Austausches in der Anfangsphase meiner schulischen Arbeit.

Mein Dank gilt meinem Partner Martin Brand, der mir durch seine Unterstützung, seine Geduld, sein Verständnis und seine Liebe sehr viel Kraft geschenkt hat.

Mein Dank gilt meiner Mutter Sabine Dachauer für ihre Liebe und ihre Unterstützung in jeder Phase meines Lebens.

Wien, 2022

Jennifer Dachauer

Einleitung

Das Interesse, der innere Antrieb und die Neugierde, (Alltags-)Phänomene zu erkunden und zu begründen, zeigen sich oftmals im frühen Kindesalter. Häufig sind es der Alltagsstress, die mangelnde Zeit oder das Umfeld, die dazu führen, dass dieses Interesse langsam nachlässt. Doch ist es nicht genau dieses Interesse, das Lernen vorantreibt? Ist es nicht genau dieser innere Antrieb, den die Gesellschaft benötigt, um zukünftige Herausforderungen zu bewältigen? Ist es nicht genau diese Entfaltung der Neugierde, die Kindern ermöglicht werden sollte?

Die Schule sollte ein Ort sein, an dem genau dieses Interesse, dieser innere Antrieb und diese Neugierde geweckt und gestärkt werden. Ein Ort, an dem die Schüler*innen sich trauen, neue Wege zu beschreiten. Ein Ort, an dem sie auf vielfältige Weise lernen.

Die vorliegende Arbeit stellt eine Lernumgebung vor, die es den Schüler*innen ermöglicht, sich selbstständig mit einem Alltagsphänomen – der Phasenbildung innerhalb einer flüssigen Haarkur – auseinanderzusetzen. Ausgehend von der ihnen gestellten Forschungsfrage „*Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander lösen?*“ formulieren die Schüler*innen im Rahmen Forschenden Lernens Hypothesen und planen eigenständig Untersuchungen, um diese Hypothesen zu überprüfen. Ihre Beobachtungen zu den Untersuchungen dienen als Grundlage, um neue Schlüsse zu ziehen und die Forschungsfrage beantworten zu können. Ausgehend von einem Alltagsphänomen erleben die Schüler*innen einen Forschungsprozess, der Anlass bietet, ihr Interesse zu wecken. Dieser Forschungsprozess ermöglicht es ihnen, sich neues Fachwissen anzueignen sowie weiterführende Fragen zu stellen.

In dieser Arbeit erfolgt zunächst eine theoretische Einführung in Forschendes Lernen. Im Anschluss wird eine Unterrichtsplanung zum Einsatz der Lernumgebung vorgestellt. In diesem Zusammenhang werden allgemein-didaktische und fachdidaktische Schwerpunkte sowie die dazugehörige Kompetenzorientierung beschrieben. Im Rahmen einer fachlichen Klärung zur Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen in homogenen und heterogenen Mischungen werden auch ausgewählte Präkonzepte von Schüler*innen zum Lösevorgang vorgestellt.

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Entwicklung, Erprobung, Evaluierung sowie Weiterentwicklung der Lernumgebung in drei aufeinanderfolgenden

Unterrichtsdurchführungen. Im Rahmen dieser Beschreibung werden die folgenden drei Forschungsfragen beantwortet.

- *Forschungsfrage 1:* „Wie kann eine Lernumgebung gewinnbringend gestaltet werden, um das Prinzip „Ähnliches löst Ähnliches“ anhand von Alltagsprodukten im Zuge Forschenden Lernens mit Schüler*innen der Sekundarstufe II zu erarbeiten?“
- *Forschungsfrage 2:* „Wie nehmen Schüler*innen die zeitlichen und materiellen Rahmenbedingungen, die Sozialform sowie den Forschungsprozess im Zuge des Forschenden Lernens wahr?“
- *Forschungsfrage 3:* „Wie nützen Schüler*innen das entwickelte Unterrichtsmaterial, um das Löslichkeitsverhalten von Stoffen über Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen zu begründen?“

Die Datenauswertung und Beschreibung der Ergebnisse erfolgt über die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015).

Ob die Lernumgebung das Interesse, den inneren Antrieb und die Neugierde der Schüler*innen wecken und stärken kann und ob sie die Schüler*innen dazu anregt, neue Wege zu beschreiten und auf vielfältige Weise zu lernen, wird sich im Rahmen der Datenauswertung und Beschreibung der Ergebnisse zeigen.

1 Forschendes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht

Forschendes Lernen umfasst ein breitgefächertes Konzept, um Lernenden einerseits den Erwerb fachlichen Wissens und andererseits Erfahrungen in der Planung, Durchführung und Reflexion von Untersuchungen zu naturwissenschaftlichen Fragen zu ermöglichen (vgl. E. D. Abrams et al., 2008, S. xv ff; vgl. National Research Council [NRC] et al., 2000, S. 13 f).

Die Schwierigkeit einer Definition des Terminus liegt in der Notwendigkeit, das Konzept als offen, dynamisch und variabel zu betrachten, um Akteur*innen Freiraum und Flexibilität im individuellen Handeln zu gewähren. Gleichzeitig ist ein einheitliches Begriffsverständnis eine wesentliche Grundlage für wissenschaftlichen Diskurs. Eine einzelne, einheitliche Definition kann allerdings den Umfang dieses Konzepts nicht in vollem Ausmaß abbilden, ist es doch gerade der hohe Grad an Freiheit und Selbstbestimmung, der Forschendes Lernen auszeichnet (vgl. E. D. Abrams et al., 2008, S. xv; vgl. Lederman, 2006, S. 302 f). Um diesen hohen Grad an Freiheit und Selbstbestimmung im Forschenden Lernen zu erreichen, müssen Schüler*innen zunächst in den Forschungsprozess eingeführt und dabei strukturiert begleitet werden. Dazu sollen ihnen Möglichkeiten geboten werden, um schrittweise die für die Durchführung eines Forschungsprozesses notwendigen Kompetenzen zu entwickeln (vgl. Abels & Lembens, 2015, S. 4). Nähere Ausführungen zum Forschungsprozess werden im Kapitel *1.2 Der Forschungsprozess im Zuge Forschenden Lernens* beschrieben.

Die Definition Forschenden Lernens muss einerseits präzise sein, um einen wissenschaftlichen Diskurs zu ermöglichen, und andererseits offen sein, um Raum für Individualität zu schaffen. Im folgenden Kapitel wird eine solche Definition angeführt (vgl. E. D. Abrams et al., 2008, S. xv; vgl. Lederman, 2006, S. 302 f).

1.1 Besonderheiten Forschenden Lernens

Forschendes Lernen ist sowohl Lehr-, als auch Lernmethode (vgl. Lederman, 2006, S. 310; vgl. NRC et al., 2000, S. xv). Forschendes Lernen (engl.: Inquiry Based Learning [IBL]) steht in engem Zusammenhang mit dem Begriff *Inquiry*. Dieser Begriff nimmt Bezug darauf, wie Forscher*innen in der Praxis agieren, um Untersuchungen zu planen und durchzuführen, Erkenntnisse zu gewinnen und mögliche Erklärungen zu finden. Die Literatur unterscheidet nicht konsequent zwischen Inquiry und IBL. Die vorliegende Arbeit versteht Inquiry als den Forschungsprozess und alle dazugehörigen Besonderheiten wissenschaftlicher Arbeitsweisen von Forscher*innen. IBL wird als Einbettung von Inquiry in den Bildungskontext aufgefasst.

In den USA ist Inquiry wesentlicher Bestandteil der National Science Education Standards [NSES]. Damit ist dieser Begriff fest im Bildungsbereich verankert. Bereits 1996 definierte das NRC Inquiry wie folgt:

Inquiry is a multifaceted activity that involves making observations; posing questions; examining books and other sources of information to see what is already known; planning investigations; reviewing what is already known in light of experimental evidence; using tools to gather, analyze, and interpret data; proposing answers, explanations, and predictions; and communicating the results. Inquiry requires identification of assumptions, use of critical and logical thinking, and consideration of alternative explanations. Students will engage in selected aspects of inquiry as they learn the scientific way of knowing the natural world, but they also should develop the capacity to conduct complete inquiries (S. 23).

Dieses Zitat verdeutlicht die große Spannweite an Aspekten, welche den Prozess des Forschens auszeichnen. Aufgrund dieser großen Spannweite an Aspekten ist es wesentlich, dass die Absicht, die eine Lehrperson in einem bestimmten Setting Forschenden Lernens verfolgt, klar formuliert wird (vgl. E. D. Abrams et al., 2008, S. 15).

Durch Forschendes Lernen können Lernende wesentliche Kompetenzen (weiter-)entwickeln. Diese Kompetenzen sind insbesondere in den Handlungsdimensionen der Kompetenzmodelle für den österreichischen Chemieunterricht angeführt (vgl. Abels & Lembens, 2015, S. 4). Für nähere Ausführungen zu diesen Handlungsdimensionen sei auf das Kapitel 2.4 *Kompetenzorientierung zur entwickelten Lernumgebung* verwiesen.

Drei wesentliche Komponenten Forschenden Lernens werden im englischsprachigen Raum als *Learning about Science*, *Learning to do Science* und *Learning Science* beschrieben (vgl. NRC et al., 2000, S. xv). Durch das Kennenlernen und Verstehen einer naturwissenschaftlichen Arbeitsweise - *Learning about Science* - werden Forschungsprozesse für Schüler*innen nachvollziehbar (vgl. Flick & Lederman, 2006, S. ix; vgl. Lederman, 2006, S. 310; vgl. NRC et al., 2000, S. 18). Der Begriff *Learning to do Science* bezieht sich auf jene Kompetenzen, Fähigkeiten und Fertigkeiten, welche innerhalb eines solchen Forschungsprozesses eingesetzt, entwickelt und weiterentwickelt werden. In diesem Zusammenhang ist auch das Verstehen naturwissenschaftlicher Zusammenhänge bedeutsam (vgl. Lederman, 2006, S. 310; vgl. NRC et al., 2000, S. 18). Das Kennenlernen wissenschaftlicher Theorien, Gesetze, Modelle sowie auf Fakten basierender Erkenntnisse

wird unter dem Begriff *Learning Science* zusammengefasst (vgl. NRC, 1996, S. 23). Learning Science bezieht sich auch auf die Anwendung und Vernetzung von Wissen sowie die Nutzung von für den Forschungsprozess wesentlichen Fähigkeiten (vgl. NRC, 1996, S. 23).

1.2 Der Forschungsprozess im Zuge Forschenden Lernens

Der Prozess des Forschens wird insbesondere von Schüler*innen oft fälschlicherweise als eine lineare Abfolge aneinandergereihter Schritte verstanden, welche unabhängig vom Gegenstand der Forschung und der methodischen Vorgangsweise rezeptartig abgearbeitet werden. Diese Vorstellung wird nach Lederman (2006, S. 309) als „The Scientific Method“ bezeichnet.

Tatsächlich durchlaufen Lernende während des Forschenden Lernens einen Forschungsprozess. Pedaste et al. (2015, S. 51 ff) zeigen in einem Review-Artikel auf, dass die einzelnen Phasen Forschenden Lernens in der Literatur zwar unterschiedlich benannt oder kategorisiert werden, sich in ihrer Beschreibung allerdings weitgehend gleichen. *Abbildung 1* zeigt einen möglichen Verlauf eines solchen Forschungsprozesses.

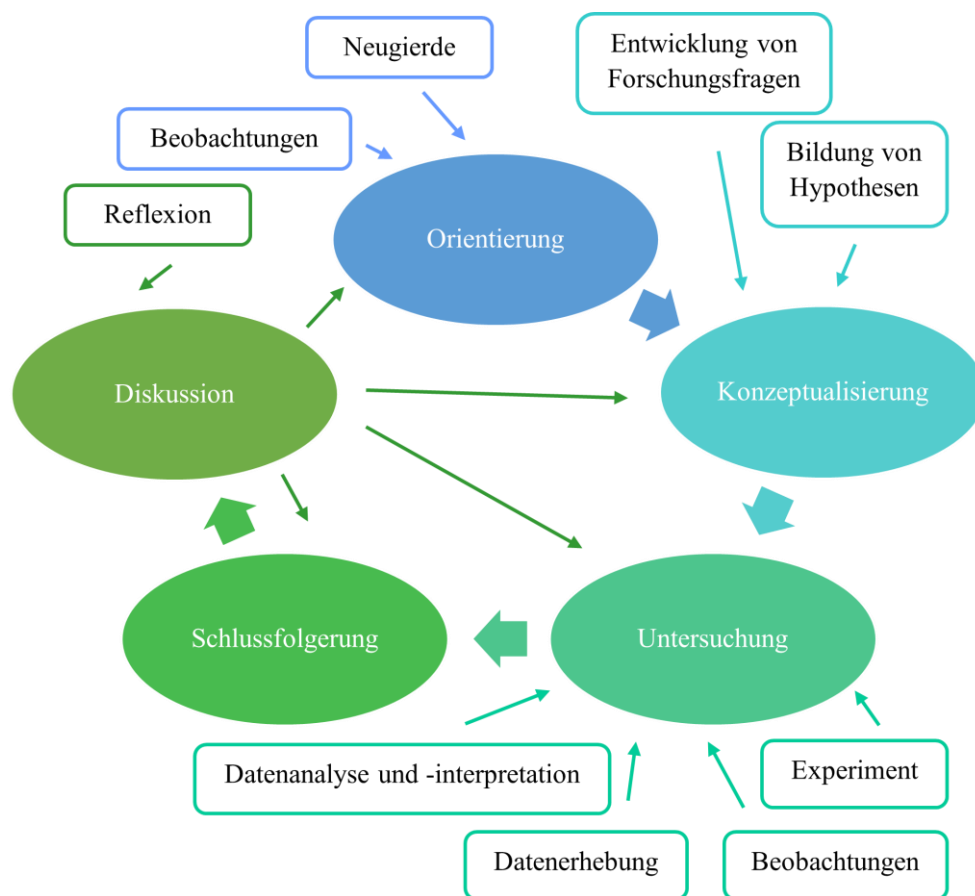


Abbildung 1: Prozess Forschenden Lernens (eigene Darstellung in Anlehnung an Pedaste et al. (2015, S. 51 ff))

Die Neugierde, Erklärungen für Beobachtungen zu finden, initiiert im Idealfall die Phase der *Orientierung* innerhalb des Forschungsprozesses (vgl. Pedaste et al., 2015, S. 52). Das Interesse, Neues zu entdecken, ist eine wesentliche Voraussetzung, um in weiterer Folge Forschungsfragen zu stellen, die für Lernende von persönlicher Relevanz sind (vgl. Reitinger, 2013, S. 20 ff).

Abbildung 1 zeigt, dass es im Anschluss an die Orientierung zu einer *Konzeptualisierung* kommt. In dieser Phase werden Probleme oder Forschungsfragen formuliert und Hypothesen gebildet (vgl. Pedaste et al., 2015, S. 52). Abhängig vom Grad an Offenheit des Forschenden Lernens sind Forschungsfragen von der Lehrperson vorgegeben oder werden von den Schüler*innen selbstständig formuliert. Unterschiedliche Level der Öffnung des Forschenden Lernens werden im Kapitel 1.3 *Level Forschenden Lernens* näher beschrieben.

Bei der Bildung von Hypothesen spielen frühere Erfahrungen, Vorwissen und individuelle Vorstellungen der Lernenden eine wichtige Rolle (vgl. Koliander & Steininger, 2018, S. 11; vgl. Reitinger, 2013, S. 27 f).

Mithilfe von *Untersuchungen* überprüfen Lernende ihre Hypothesen und suchen Antworten auf Forschungsfragen. Dabei lernen Schüler*innen idealer Weise, passende Methoden auszuwählen und Untersuchungen zu planen (vgl. Duschl & Bybee, 2014, S. 5 f; vgl. Reitinger, 2013, S. 25 f). Sie experimentieren, dokumentieren Beobachtungen und erheben Daten, die für den weiteren Forschungsprozess von Bedeutung sind (vgl. Duschl & Bybee, 2014, S. 5; vgl. Pedaste et al., 2015, S. 52).

Im Anschluss daran üben sich Schüler*innen darin, aus den gewonnenen Beobachtungen und Daten *Schlussfolgerungen* zu ziehen, um mögliche Erklärungen und Antworten auf die Forschungsfrage zu finden (vgl. National Research Council, 1996, S. 20; vgl. Pedaste et al., 2015, S. 52).

Diese Erkenntnisse werden im Austausch mit anderen Lernenden im Rahmen einer *Diskussion* thematisiert (vgl. Koliander & Steininger, 2018, S. 11; vgl. NRC, 1996, S. 20). Reitinger (2013, S. 36) sieht diese Phase der Diskussion als wesentlich für die weitere Unterrichtsentwicklung an. Lernende reflektieren in dieser Phase im Idealfall nicht nur ihre Hypothesen und inhaltlichen Erkenntnisse, sondern auch ihre Vorgangsweise und die Weiterentwicklung eigener Fähigkeiten und Fertigkeiten, welche während des

Forschungsprozesses eingesetzt wurden. Darüber hinaus beschäftigen sich Schüler*innen damit, was für sie persönlich wichtig und interessant war.

Von der Planung einer passenden Untersuchung bis hin zur Schlussfolgerung können stets neue Probleme oder interessante Aspekte auftreten, die eine Änderung, Ergänzung oder Weiterentwicklung der Forschungsfrage zur Folge haben können. Auch die Phase der Diskussion kann als Anlass dienen, um unterschiedliche Phasen des Forschungsprozesses erneut zu durchlaufen (vgl. Pedaste et al., 2015, S. 52 f). Koliander und Steininger (2018, S. 11 f) verwenden den Begriff des *Forschungsnetzes*, um den Prozess Forschenden Lernens zu beschreiben. Der Begriff des Forschungsnetzes erklärt, dass im Forschungsprozess Phasen mehrfach durchlaufen und Umwege gegangen werden können. Im Anschluss an den Forschungsprozess ist es nach Reiting (2013, S. 40) wesentlich, dass Lernende ihr neu erlangtes Wissen in einem für sie relevanten authentischen Kontext anwenden.

Um zu verstehen, wie Forschungsprozesse ablaufen und welche Phasen dabei durchlaufen werden, ist es essenziell, dass Schüler*innen aktiv und selbstbestimmt am Forschungsprozess mitwirken. Diese Selbstbestimmung bezieht sich einerseits auf ein aktives physisches Handeln, zum Beispiel durch die Durchführung eines Experiments. Andererseits sind auch kognitive Beiträge, beispielsweise das Erkennen von Zusammenhängen, wesentlich für Forschendes Lernen (vgl. NRC, 1996, S. 20). Es ist wichtig, dass Schüler*innen regelmäßig die Möglichkeit bekommen, selbstbestimmt forschend zu lernen (vgl. NRC et al., 2000, S. 13 f). Schüler*innen sollen durch Forschendes Lernen üben, Untersuchungen zu planen sowie durchzuführen und abzuändern, um eine Forschungsfrage adäquat beantworten zu können. Sie sollen ein Gefühl und Verständnis dafür entwickeln, welche Untersuchungen unter den vorhandenen Rahmenbedingungen unter Berücksichtigung zeitlicher und materieller Ressourcen umsetzbar sind (vgl. Koliander & Steininger, 2018, S. 11). Lernende üben sich darin, Beobachtungen in Worte zu fassen, Daten zu erheben und diese kritisch zu hinterfragen, zu analysieren und zu interpretieren (vgl. Duschl & Bybee, 2014, S. 6).

Selbstständig durchgeführte Forschungsprozesse sollen Schüler*innen dabei unterstützen zu erkennen, dass experimentelle Untersuchungen eine wichtige Grundlage für naturwissenschaftliche Arbeiten liefern können. Schüler*innen sollen sich darin üben zu beurteilen, inwiefern gewonnene Daten aussagekräftig sind und für weitere Schlussfolgerungen herangezogen werden können (vgl. Duschl & Bybee, 2014, S. 5; vgl. Koliander & Steininger, 2018, S. 11; vgl. NRC et al., 2000, S. xii f).

1.3 Level Forschenden Lernens

Abhängig von Vorerfahrungen, Vorwissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten der Lernenden sowie der fachlichen Thematik, der sich der Forschungsprozess widmet, wird im Ausmaß der Eigenständigkeit der Lernenden während des Forschenden Lernens differenziert (vgl. E. D. Abrams et al., 2008, S. 32 f; vgl. Blanchard et al., 2010, S. 582). Blanchard et al. (2010, S. 582) bezeichnen auch Rahmenbedingungen wie beispielsweise materielle Ressourcen als ausschlaggebend dafür, in welcher Form Forschendes Lernen stattfindet. Nach Bybee et al. (2006, S. 18) ist im Unterricht häufig ein Mittelmaß zwischen strukturierten Lernprozessen durch die Lehrperson und selbstbestimmten Forschungsprozessen durch Schüler*innen zu beobachten.

Abhängig davon, inwieweit der Forschungsprozess von einer Lehrperson vorgegeben wird, wird Forschendes Lernen in unterschiedliche Level gegliedert (vgl. Blanchard et al., 2010, S. 581; vgl. Colburn, 2000, S. 42). Nach Schwab (1962 zitiert nach Abrams et al., 2008, S. xx f) wird in vier Level Forschenden Lernens unterschieden. Beginnend bei Level 0, das sich durch das höchste Maß an Vorgabe durch die Lehrperson auszeichnet, bis hin zu Level 3, das Lernenden einen durchgehend selbstbestimmen Forschungsprozess ermöglicht. *Tabelle 1* gibt in Anlehnung an Abrams et al. (2008, S. xx), Blanchard et al. (2010, S. 581) und Colburn (2000, S. 42) eine Übersicht über die unterschiedlichen Bezeichnungen für die Level Forschenden Lernens.

Level Forschenden Lernens		Frage- oder Problemstellung	Untersuchungsmethode	Datenauswertung
verifizierend	Level 0	vorgegeben	vorgegeben	vorgegeben
strukturiert	Level 1	vorgegeben	vorgegeben	selbstbestimmt
gelenkt	Level 2	vorgegeben	selbstbestimmt	selbstbestimmt
offen	Level 3	selbstbestimmt	selbstbestimmt	selbstbestimmt

Tabelle 1: Level Forschenden Lernens (übersetzt und erweitert nach Abrams et al. (2008, S.xx), Blanchard et al. (2010, S. 581) und Colburn (2000, S. 42))

Abstufungen im Ausmaß an Selbstbestimmtheit durch Schüler*innen zeigen, welchen Grad an Offenheit das jeweilige Level aufweist. Blanchard et al. (2010, S. 582) beschreiben Level 0 mit dem Begriff der *Verifikation*. Von der Forschungsfrage bis hin zur Auswertung der gewonnenen Daten wird der Forschungsprozess von der Lehrperson geplant. Als *strukturiertes Forschen* bezeichnet Colburn (2000, S. 42) einen Forschungsprozess, der im Vergleich zum vorangegangenen Level insofern mehr Freiheiten aufweist, dass Lernende selbst entscheiden, wie sie gesammelte Daten und Beobachtungen analysieren. Blanchard et al. (2010, S. 581) betonen zusätzlich, dass auch eine entsprechende Schlussfolgerung Aufgabe der Lernenden ist. Bei Forschendem Lernen auf Level 2 bzw. *gelenktem Forschen* liefert die Lehrperson durch das Stellen einer Forschungsfrage den Anlass, um Schüler*innen einen darauffolgend selbstbestimmten Forschungsprozess zu ermöglichen (vgl. Colburn, 2000, S. 42). *Offenes Forschen* zeichnet sich dadurch aus, dass der gesamte Forschungsprozess individuell durch Schüler*innen bestimmt und gestaltet wird. Von Schüler*innen generierte Probleme oder Fragestellungen sind Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen, Datenauswertungen und Interpretationen. Level 3 weist daher authentisch deutliche Parallelen mit einem Forschungsprozess von Wissenschaftler*innen in der Praxis auf (vgl. Blanchard et al., 2010, S. 581; vgl. Colburn, 2000, S. 42). Nach Abels und Lembens (2015, S. 5) kann Forschendes Lernen auf Level 3 auch durch weiterführende Fragestellungen initiiert werden, die Schüler*innen im Rahmen Forschenden Lernens auf Level 0 bis 2 stellten.

In *Tabelle 1* wurde Forschendes Lernen auf Level 2 farblich hervorgehoben, da der Einsatz des konzipierten Unterrichtsmaterials dieser Arbeit auf diesem Level erfolgt.

1.4 Planung Forschenden Lernens durch die Lehrperson

Forschendes Lernen soll es Schüler*innen ermöglichen, Forschungsprozesse eigenständig zu erleben. Es gilt daher, Möglichkeiten der Unterstützung anzubieten, sodass sich Lernende in ihrem experimentellen Handeln üben und Begründungen für beobachtete und dokumentierte Phänomene finden (vgl. Duschl & Bybee, 2014, S. 2 ff).

1.4.1 Prinzipien für die Planung Forschenden Lernens durch die Lehrperson

Forschendes Lernen ist von der Lehrperson sowohl offen und für Schüler*innen persönlich relevant als auch so strukturiert zu gestalten, dass Lernenden Orientierung und Sicherheit vermittelt werden (vgl. Reitinger, 2013, S. 20 ff). Nach Reitinger (2013, S. 46 ff) sind einige

Prinzipien für die Planung Forschenden Lernens zu berücksichtigen. *Abbildung 2* zeigt eine Auswahl dieser Prinzipien, die im Anschluss beschrieben werden.



Abbildung 2: Prinzipien Forschenden Lernens (eigene Darstellung in Anlehnung an Reitinger (2013, S. 46))

Das *Prinzip des Vertrauens* beschreibt die Notwendigkeit, ein angenehmes Arbeitsklima zu schaffen. Eine positive Arbeitsatmosphäre gilt als Voraussetzung, um Lernenden Eigeninitiative in ihrem Lernprozess zu ermöglichen (vgl. Reitinger, 2013, S. 46 f).

Unter Berücksichtigung des *Prinzips der Sicherheit* soll Lernenden weitgehend die Angst davor genommen werden, sich neuen, unbekannten Herausforderungen zu stellen. Sie sollen im Ausprobieren unterstützt werden und darin bestärkt werden, dass es in Ordnung ist, Umwege und Fehler zu machen (vgl. Reitinger, 2013, S. 51 f).

Im Sinne des *Prinzips der Personalisierung* soll sich die Planung Forschenden Lernens an der jeweiligen Klasse und der Individualität der Lernenden orientieren (vgl. Reitinger, 2013, S. 57 ff). Das NRC et al. (2000, S. 13 f) bezeichnen die Berücksichtigung individueller Vorerfahrungen und Vorstellungen von Schüler*innen als wesentliche Voraussetzung für Forschendes Lernen. Der Forschungsprozess soll den aktuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten der Lernenden entsprechen (vgl. Abels & Lembens, 2015, S. 4 f).

Mit dem *Prinzip der Selbstbestimmung* nennt Reitinger (2013, S. 47 ff), so wie inhaltlich auch Koliander und Steininger (2018, S. 12), die Möglichkeit, dass Lernende selbstbestimmt ihren Forschungsprozess gestalten, bedeutsam.

Das *Prinzip der Veranschaulichung* beschreibt, dass insbesondere anspruchsvollere Inhalte und herausfordernde Forschungsprozesse für Schüler*innen veranschaulicht werden sollen, um sie in ihrem Lernprozess zu unterstützen (vgl. Reitinger, 2013, S. 52 ff).

Der Einsatz von Unterstützungsangebot eignet sich, um trotz der hohen Vielfalt, die selbstbestimmte Lernprozesse mit sich bringen, individuellen Voraussetzungen Lernender gerecht zu werden. Tippkarten bieten Schüler*innen die Möglichkeit, selbst zu entscheiden, welches Ausmaß an Hilfestellungen sie in Anspruch nehmen möchten. Solche Tippkarten können in Form *Gestufter Hilfen* gestaltet werden. Gestufte Hilfen liefern Schüler*innen einen möglichen Impuls für die Bearbeitung einer Aufgabenstellung. Im Anschluss an diesen Hinweis ist ein konkreter Lösungsansatz formuliert, an welchem sich Lernende im Bedarfsfall orientieren können. Gestufte Hilfen können nummeriert werden. Die Verwendung einer Nummerierung beim Einsatz Gestufter Hilfen ermöglicht ein differenziertes Arbeiten, indem mit zunehmender Nummerierung konkretere Hinweise gegeben werden, wie an eine Problematik herangegangen werden kann (vgl. Goldmann & Leisen, 2003, S. 1; vgl. Hänze et al., 2010, S. 64 f).

1.4.2 Planung Forschenden Lernens anhand des 5E-Modells

Forschendes Lernen kann basierend auf dem 5E-Modell geplant werden (vgl. Lembens & Abels, 2015, S. 6). Das Modell ist in fünf Phasen gegliedert, welche in *Abbildung 3* veranschaulicht sind. Der Name des 5E-Modells leitet sich von diesen Phasen ab (vgl. Bybee et al., 2006, S. 41). In der Literatur wird keine einheitliche Bezeichnung dieser Phasen geführt. Die vorliegende Arbeit orientiert sich an den Ausführungen von Lembens und Abels (2015, S. 6) und bezeichnet die fünf Phasen des 5E-Modells mit *Engage*, *Explore*, *Explain*, *Extend* und *Evaluate*.

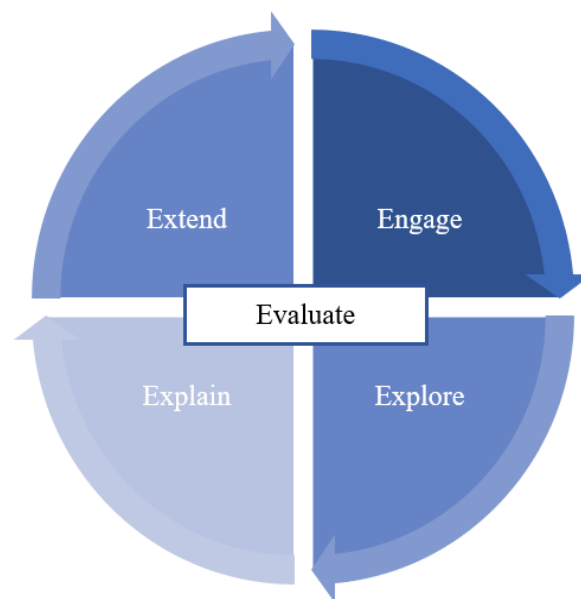


Abbildung 3: 5E-Modell (eigene Darstellung in Anlehnung an Bybee et al. (2006, S. 41) sowie Lembens und Abels (2015, S. 6))

Die *Engage-Phase* verfolgt das Ziel, die Neugierde von Schüler*innen zu wecken. Als Impuls können einerseits Fragen der Schüler*innen dienen (vgl. Bybee et al., 2006, S. 33). Andererseits kann die Lehrperson beispielsweise Fragestellungen aufwerfen oder Phänomene thematisieren, die das Interesse an einer tieferen Auseinandersetzung mit der Thematik wecken sollen (vgl. Bybee, 2014, S. 15 f; vgl. Bybee et al., 2006, S. 34; vgl. Lembens & Abels, 2015, S. 7). Lembens und Abels (2015, S. 7) betonen die Notwendigkeit, diesen ersten Impuls für die Einleitung des Forschungsprozesses für Lernende relevant und interessant zu gestalten. Auch die Durchführung von Experimenten, die einen unerwarteten Verlauf nehmen, oder die Bereitstellung von Materialien können das Entdeckungsinteresse Lernender wecken.

Die *Explore-Phase* beinhaltet wesentliche Elemente des Forschungsprozesses. In dieser Phase planen Schüler*innen Untersuchungen, führen Experimente durch, beobachten, dokumentieren und analysieren gewonnene Daten. Dadurch können sich neue Fragestellungen ergeben, denen wiederum nachgegangen wird. In dieser Phase steht die selbstbestimmte Aktivität der Lernenden im Fokus. Lehrpersonen agieren als Coaches, die Lernenden die notwendigen zeitlichen und materiellen Ressourcen zur Verfügung stellen, um Hypothesen zu formulieren, zu überprüfen und gegebenenfalls zu verändern. Durch gezielte Fragestellungen und Anregungen zum sozialen Austausch durch die Lehrperson sowie durch die Möglichkeit der Arbeit im Team können Lernende den Forschungsprozess selbstständig beschreiten (vgl. Bybee, 2014, S. 16; vgl. Bybee et al., 2006, S. 33 f).

Nach der *Explore-Phase* folgt die *Explain-Phase*. Untersuchungsverläufe und Schlussfolgerungen werden im gemeinsamen Austausch mit Peers kritisch betrachtet, um fundierte Antworten auf die vorangegangene Forschungsfrage zu erhalten. Zunächst sollen Schüler*innen mögliche eigene Erklärungen in die Diskussion einbringen. Die Aufgabe der Lehrperson ist es dann, anhand der Erfahrungen und Erklärungen bzw. Erklärungsansätzen der Lernenden fachliche Inhalte herauszuarbeiten und diese fachsprachlich korrekt zu benennen (vgl. Bybee, 2014, S. 16; vgl. Bybee et al., 2006, S. 33 f). Neben Erklärungen, die sich aus Gesprächen zwischen den Lernenden und der Lehrperson ergeben, können auch vielfältige andere Medien, beispielsweise Videos, in dieser Phase eingesetzt werden (vgl. Bybee, 2014, S. 16).

In der *Extend-Phase* initiiert die Lehrperson Situationen, welche die Anwendung erworbener Fähigkeiten sowie den Transfer gewonnenen Wissens durch Schüler*innen erfordern. Lernende sollen diese Situationen bewältigen, indem sie im Team zusammenarbeiten und

unterschiedliche Quellen zur Hilfe nehmen und sich (vgl. Bybee, 2014, S. 16; vgl. Bybee et al., 2006, S. 33 f).

Der gesamte Prozess wird von einer *Evaluate-Phase* begleitet. Die Lehrperson fokussiert dabei auf die Vorerfahrungen, die Schüler*innen mitbringen, sowie auf die Entwicklung von Wissen, Konzepten, methodischen Fähigkeiten und sozialen Kompetenzen während des Forschungsprozesses. Anhand der Erkenntnisse aus der Evaluate-Phase leitet die Lehrperson entsprechende Handlungen und Maßnahmen ab, welche ihre weitere Vorgehensweise im Unterricht begründen. Zeigen sich in der Evaluate-Phase positive Resultate bezüglich des Lernprozesses der Schüler*innen, so kann das Unterrichtsgeschehen in geplanter Weise fortgeführt werden. Erkennt die Lehrperson während dieser Phase einen Unterstützungsbedarf bei den Lernenden, so wird diesem nachgegangen (vgl. Bybee, 2014, S. 16; vgl. Bybee et al., 2006, S. 33 f; vgl. Lembens & Abels, 2015, S. 6). Darüber hinaus zeigt Bybee (2014, S. 18) die Notwendigkeit auf, nicht nur während des Forschungsprozesses kontinuierliche Beobachtungen durchzuführen und den Lernenden im Bedarfsfall Feedback zu geben, sondern auch abschließend das forschende Handeln, das erworbene Wissen und etwaige Transferleistungen konkret zu evaluieren.

In Anlehnung an Bybee (2014, S. 18) sowie Lembens und Abels (2015, S. 6) zeigt die vorangegangene *Abbildung 3*, dass die Evaluate-Phase alle anderen Phasen begleitet.

Abhängig vom jeweiligen Forschungsprozess können auch im 5E-Modell bestimmte Phasen mehrfach durchlaufen werden. Das Modell ist als Zyklus zu verstehen, der sich optimaler Weise auf eine Thematik bezieht, die sich über mehrere Unterrichtseinheiten erstreckt (vgl. Bybee, 2014, S. 16 f; vgl. Bybee et al., 2006, S. 32). Das 5E-Modell dient als Planungsmodell für die Lehrperson. Da sich in diesem Modell das Lernen von Schüler*innen entsprechend dem Forschungsprozess widerspiegelt, wird dieser Forschungsprozess durch das 5E-Modell strukturiert. (vgl. Bybee et al., 2006, S. 32; vgl. Lembens & Abels, 2015, S. 6).

Um Schüler*innen Forschendes Lernen zu ermöglichen, muss entsprechend viel Zeit zur Verfügung gestellt werden (vgl. Bybee, 2006, S. 8; vgl. Duschl & Bybee, 2014, S. 2; vgl. Yore et al., 2008, S. 73). Das hat auch zur Folge, dass in einem vergleichbaren Zeitraum weniger fachliche Inhalte thematisiert werden können als es in einem klassischen lehrpersonenzentrierten Unterrichtsetting der Fall wäre (vgl. Yore et al., 2008, S. 73). Stattdessen eröffnet Forschendes Lernen Schüler*innen vielfältige Möglichkeiten, um

basierend auf der Durchführung und Reflexion von Forschungsprozessen eigene Kompetenzen weiterzuentwickeln (vgl. Flick & Lederman, 2006, S. xi).

Insbesondere in einer Zeit, in der Wissen über unterschiedliche Informationskanäle rasch und frei zugänglich ist, benötigen Schüler*innen eine Art Fundament naturwissenschaftlicher Kompetenzen, auf welchem sie sich selbstständig weitere Fähigkeiten und zusätzliches Wissen aneignen können (vgl. NRC, 2012, S. 31). Forschendes Lernen und das Verstehen von Prozessen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung können Schüler*innen in der Ausbildung eines solchen Fundaments unterstützen (vgl. Lederman, 2006, S. 302).

1.5 Forschendes Lernen als Teil von Scientific Literacy

Dieses Kapitel definiert zunächst Scientific Literacy entlang der Auffassung der OECD¹ (2018, S. 72 ff) entsprechend des PISA Frameworks. Im Anschluss an diese Definition wird der Zusammenhang Forschenden Lernens mit Scientific Literacy aufgezeigt.

Die OECD (2018) definiert *Scientific Literacy* als „[...] the ability to engage with science-related issues, and with the ideas of science, as a reflective citizen” (S. 75).

Scientific Literacy ist ein Konzept, das sich einerseits auf die Naturwissenschaften (engl.: science) und andererseits auf Kenntnisse zu naturwissenschaftsbasierten Technologien bezieht. Als charakteristisch für die Naturwissenschaften nennt die OECD (2018, S. 72) die Auseinandersetzung mit konkreten Fragestellungen zu vielfältigen (naturwissenschaftlichen) Themen. Im Fokus naturwissenschaftsbasierter Technologien stehen die Auseinandersetzung und Bearbeitung von für die Gesellschaft relevanten Problemen. Solche Probleme können naturwissenschaftlich relevante Fragen aufwerfen, welche wiederum zur Weiterentwicklung naturwissenschaftsbasierter Technologien führen können. Die Naturwissenschaften sowie die naturwissenschaftsbasierten Technologien beeinflussen sich daher gegenseitig.

Lembens et al. (2009, S. 1) beschreiben fundierte naturwissenschaftliche sowie technologiebasierte Kenntnisse als wesentlich, um als Bürger*in angemessen am gesellschaftlichen Leben teilhaben zu können. Solche Kenntnisse sind Bestandteil einer angemessenen naturwissenschaftlichen Grundbildung. Der Begriff der naturwissenschaftlichen Grundbildung wird im deutschsprachigen Raum häufig synonym zu Scientific Literacy verwendet. Allerdings ist zu beachten, dass mit dem Begriff der

¹ Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung

Grundbildung eher inhaltliche Wissensschwerpunkte assoziiert werden. Hingegen wird nach Lembens et al. (2009) Scientific Literacy „[...] der Status einer Kulturtechnik, wie Lesen, Schreiben, Rechnen, zuerkannt, die notwendig ist, um an einer modernen technologisierten Gesellschaft teilzuhaben“ (S. 1). Die vorliegende Arbeit orientiert sich an dieser Auffassung von Scientific Literacy als Kulturtechnik, weshalb der englische Begriff verwendet wird.

Eine aktive Teilhabe am gesellschaftlichen Leben bedeutet, sich verantwortungsbewusst in demokratische Prozesse einzubringen. Dabei sind beispielsweise informierte politische Wahlentscheidungen oder die Fähigkeit, zwischen wissenschaftlich fundierten Informationen und Falschinformationen zu unterscheiden, bedeutsam (vgl. Hopf et al., 2017, S. 4; vgl. Lembens & Rehm, 2010, S. 283 ff).

Um als Bürger*in angemessen am gesellschaftlichen Leben teilhaben zu können, werden drei Kompetenzen als Voraussetzung angesehen. Erstens ist die Fähigkeit wesentlich, unterschiedliche im Zentrum der Diskussion stehende Phänomene sowie deren Bedeutung für die Gesellschaft zu erklären. Ein angemessenes Ausmaß an inhaltlichem Fachwissen – *content knowledge* – ist Voraussetzung für die Entwicklung einer solchen Fähigkeit. Zweitens ist eine im Bereich von Scientific Literacy kompetente Person in der Lage, die Abfolge naturwissenschaftlicher Forschungsprozesse nachzuvollziehen sowie einzelne Arbeitsschritte innerhalb solcher Prozesse kritisch zu hinterfragen. Grundlage für die Entwicklung einer solchen Kompetenz ist das Wissen darüber, auf welche Weise naturwissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden – *procedural knowledge*. Drittens ist die Fähigkeit essentiell, Datenmaterial zu evaluieren und zu interpretieren sowie zu beurteilen, inwiefern darauf aufbauende wissenschaftliche Aussagen belegbar und nachvollziehbar sind. Für die Entwicklung dieser Fähigkeit ist das Verstehen wesentlich, welche Aufgabe den einzelnen Phasen innerhalb eines Forschungsprozesses zukommt und auf welche Weise Forschung erfolgen kann – *epistemical knowledge* (vgl. OECD, 2018, S. 73 f).

Die vorliegende Arbeit sieht Forschendes Lernen als Lehr- und Lernmöglichkeit, um Schüler*innen neben der Aneignung von Inhaltswissen auch vielfältige Erfahrungen in der Planung und Durchführung von Forschungsprozessen zu ermöglichen (vgl. Flick & Lederman, 2006, S. ix ff; vgl. Roberts, 2007, S. 730). Dieses Inhaltswissen sowie die Kenntnisse und Fähigkeiten, die Schüler*innen durch die aktive Auseinandersetzung mit Forschendem Lernen erwerben, verleihen ihnen im Idealfall die Fähigkeit, in Alltagssituationen basierend auf naturwissenschaftlichen Erkenntnissen angemessene

Entscheidungen zu treffen (vgl. Flick & Lederman, 2006, S. ix ff; vgl. Roberts, 2007, S. 730). Forschendes Lernen kann einen wesentlichen Beitrag zum Erwerb von Scientific Literacy leisten (vgl. E. D. Abrams et al., 2008, S. xxix; vgl. Aulia et al., 2018, S. 6).

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung einer Lernumgebung, die Schüler*innen vielfältige Erfahrungen durch die Planung und Durchführung eines Forschungsprozesses im Rahmen Forschenden Lernens ermöglicht. Diese Lernumgebung wird in den folgenden Kapiteln vorgestellt.

2 Fachdidaktische Aspekte zur Entwicklung einer Lernumgebung zum Forschenden Lernen

Dieses Kapitel thematisiert allgemein-didaktische Grundlagen, Lehrziele, Struktureigenschaften Beziehungen sowie die Kompetenzorientierung als Grundlagen für die Entwicklung einer Lernumgebung. Im Anschluss daran wird ein Überblick über die dazugehörige Unterrichtsplanung gegeben.

Die Lernumgebung thematisiert das Phänomen einer Phasenbildung innerhalb einer flüssigen Haarkur. Im Rahmen der Unterrichtsdurchführung beantworten die Schüler*innen die Forschungsfrage „*Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander lösen?*“. Die Schüler*innen sollen das Phänomen der Phasenbildung innerhalb einer flüssigen Haarkur durch Forschendes Lernen begründen und dadurch die Forschungsfrage beantworten.

2.1 Allgemein-didaktische Grundlagen zur entwickelten Lernumgebung

Schüler*innen bringen ein großes Spektrum an Erfahrungen, Kenntnissen, Interessen, Fähigkeiten und Fertigkeiten in den Unterricht mit. Im Sinne einer bestmöglichen Lernbegleitung sind Individualisierung und Differenzierung bei der Planung von Lernprozessen zu beachten. Die Bedeutung der Methodenvielfalt ist hervorzuheben, um Individualisierung und Differenzierung zu ermöglichen (vgl. BMBWF, 2018, S. 15).

Eine solche Methodenvielfalt kann im Chemieunterricht geschaffen werden, indem fachliche Themen selbsttätig von Schüler*innen anhand von Alltagsphänomenen bearbeitet werden. Am Beispiel eines Alltagsphänomens, das ihre Neugierde weckt, lernen Schüler*innen in einem für sie bedeutungsvollen Kontext (vgl. Barke et al., 2018, S. 38; 347 f).

Der Lehrplan der AHS (2018, S. 15) weist darauf hin, Schüler*innen den Prozesscharakter des Lernens zu vermitteln. Zu verstehen, dass Lernen keine lineare Handlungsabfolge, sondern ein Prozess ist, ist nach Koliander und Steininger (2018, S. 11) auch wesentlicher Bestandteil Forschenden Lernens. Eine nähere Erläuterung diesbezüglich ist im Kapitel *1.2 Der Forschungsprozess im Zuge Forschenden Lernens* nachzulesen.

Selbstständiges und selbstorganisiertes Arbeiten von Schüler*innen wird unter anderem in einem offenen Unterrichtssetting unterstützt, in dem sie aktiv beteiligt sind (vgl. BMBWF, 2018, S. 15). Das freie und selbstständige Arbeiten in Kleingruppen, das durch den Einsatz dieser Lernumgebung initiiert wird, erfüllt auch die Forderung des Lehrplans (2018, S. 9 ff),

neben der Weiterentwicklung der Selbstkompetenz auch die Erweiterung sozialer Kompetenzen zu ermöglichen. Auch Nentwig et al. (2007, S. 1440) bezeichnen die Fähigkeit, gemeinsam mit anderen experimentelle Untersuchungen zu planen, als wesentlich, um Schüler*innen ein höheres Maß an Eigenständigkeit zu ermöglichen.

2.2 Lehrziele zur entwickelten Lernumgebung

Die Lehrziele der Unterrichtseinheit dieser Arbeit sind Kompetenzmodul 5 im 5. Semester der Oberstufe zuzuordnen. Sie sind in der nachfolgenden Aufzählung wörtlich aus dem Lehrplan (2018) übernommen:

- „Die Modelle [...] der Wechselwirkungen zwischen Teilchen beschreiben und vergleichen“
- „Eigenschaften von Stoffen durch Art, Anordnung und Wechselwirkung der Teilchen erklären (Struktur-Eigenschafts Konzept)“
- „Durch Kombination von Hypothesenbildung und Überprüfung an Hand von Stoffen mit kovalenten Bindungen Zusammenhänge zwischen Strukturen und Eigenschaften der Stoffe herstellen“ (S. 177).

Die Schüler*innen lernen im Rahmen der Unterrichtseinheiten zwischenmolekulare Wechselwirkungen kennen. Sie bekommen Gelegenheit, um sich in der Erklärung der Ausbildung solcher Kräfte auf submikroskopischer Ebene anhand von Molekülstrukturen zu üben. Basierend auf dem molekularen Aufbau eines Stoffes und der Stärke der ausgebildeten zwischenmolekularen Wechselwirkungen finden Lernende Erklärungen für das Löslichkeitsverhalten von Stoffen. Der Erkenntnisgewinn erfolgt dabei im Rahmen von Forschendem Lernen auf Level 2. Schüler*innen formulieren daher auch eigenständige Hypothesen, die im Rahmen ihres individuellen Forschungsprozesses überprüft und gegebenenfalls weiterentwickelt werden.

Wenn auch nicht explizit genannt, so ist an mehreren Stellen im Lehrplan (2018) die Idee des Forschenden Lernens formuliert. Im Lehrplan (2018, S. 177 ff) wird betont, wie wichtig die Formulierung von Hypothesen und deren Überprüfung sind. Um eigene Hypothesen zu überprüfen, sollen Schüler*innen eigenverantwortlich Untersuchungen planen, durchführen, dokumentieren und anschließend Schlussfolgerungen daraus ziehen. Von Seiten der Lehrperson sind geeignete Unterstützungsangebote bereitzustellen, um einen positiven Lernerfolg zu erzielen. Der an dieser Stelle erläuterte Lehrplanbezug steht daher in engem

Zusammenhang mit den Kapiteln 1.2 *Der Forschungsprozess im Zuge Forschenden Lernens* und 1.5 *Forschendes Lernen als Teil von Scientific Literacy*.

Nach Demuth et al. (2005, S. 56) ist die Bezugnahme auf für Schüler*innen interessante und relevante Phänomene, Inhalte und Situationen wesentlich. Eine solche Bezugnahme ist auch in der Forderung des Lehrplans (2018, S. 177), die Chemie in alltäglichen Phänomenen zu entdecken, wiederzufinden. Aufgrund dieser Forderungen basiert die Lernumgebung zum Forschenden Lernen auf der Untersuchung von Alltagsprodukten.

2.3 Das Basiskonzept Struktur-Eigenschafts Beziehung als zentrales Konzept der entwickelten Lernumgebung

Basiskonzepte sind übergeordnete Konzepte für jene naturwissenschaftlichen Inhalte, die für den Schulunterricht von Bedeutung sind (vgl. Barke et al., 2018, S. 97). Sie bieten Schüler*innen eine Orientierungshilfe und unterstützen diese dabei, neues Wissen mit bereits bestehenden Inhalten zu verknüpfen (vgl. Demuth et al., 2005, S. 57 f). Neben dem strukturierenden Charakter dient die Auseinandersetzung von Schüler*innen mit Basiskonzepten dazu, interdisziplinäre Zusammenhänge zu verstehen (vgl. Barke et al., 2018, S. 97). Nentwig et al. (2007, S. 1442) betonen, dass es wichtig ist, in unterschiedlichen Settings und Kontexten zu lernen. Dadurch verknüpfen Schüler*innen Inhalte nicht nur innerhalb eines Basiskonzepts, sondern entdecken auch Verbindungen zwischen unterschiedlichen Basiskonzepten und können ihr Wissen auf neue Problemstellungen anwenden.

Der Entwicklung der Lernumgebung liegt das *Struktur-Eigenschafts Konzept* als zentrales Basiskonzept zugrunde. Das Struktur-Eigenschafts Konzept umfasst Erklärungen zu Wechselwirkungen zwischen Teilchen auf submikroskopischer Ebene – der Teilchenebene – sowie daraus resultierende stoffliche Eigenschaften auf makroskopischer Ebene – der Stoffebene (vgl. Parchmann et al., 2010, S. 8; vgl. Scheffel et al., 2010, S. 2). Durch das Arbeiten mit dem Struktur-Eigenschafts Konzept üben Lernende die konsequente Unterscheidung der Stoff- und Teilchenebene in ihrer Argumentation. Sie erhalten dabei sowohl die Gelegenheit, ihr Abstraktionsvermögen zu stärken als auch sich in einer adäquaten Verwendung von Fachsprache zu üben (vgl. BMBWF, 2018, S. 177; vgl. Parchmann et al., 2010, S. 8). Aufgrund dieser Unterscheidung zwischen Stoff- und Teilchenebene ist das *Stoff-Teilchen-Konzept* als weiteres Basiskonzept in der entwickelten Lernumgebung vertreten,

wodurch die Schüler*innen unterschiedliche Basiskonzepte miteinander in Beziehung setzen können. Dieses In-Beziehung-Setzen unterschiedlicher Basiskonzepte sowie die bewusste Unterscheidung zwischen submikroskopischer und makroskopischer Ebene findet sich auch im Lehrplan der AHS (2018) wieder:

„Chemische Grundbildung soll mit dem für die Chemie charakteristischen „Zwiedenken“, das im submikroskopischen Bereich Erklärungen für Vorgänge im makroskopischen sucht und findet, vertraut machen“ (S. 177).

2.4 Kompetenzorientierung zur entwickelten Lernumgebung

Kompetenzen sind „[...] längerfristig verfügbare kognitive Fähigkeiten und Fertigkeiten, die von Lernenden entwickelt werden und die sie befähigen, Aufgaben in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsbewusst zu lösen und die damit verbundene motivationale und soziale Bereitschaft zu zeigen“ (Bildungsstandards im Schulwesen, 2009, S. 1).

Es ist bedeutsam, dass Schüler*innen im Rahmen des Unterrichts in der Entwicklung von Sach-, Selbst- und Sozialkompetenz unterstützt werden. Diese Notwendigkeit einer kompetenzorientierten Ausrichtung des Unterrichts ist im Lehrplan der AHS (2018, S. 10) verankert. Die Sachkompetenz umfasst neben der Aneignung von Fachwissen und der kreativen handlungs- und lösungsorientierten Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Problemstellungen auch die Ausbildung und Weiterentwicklung von Fertigkeiten. Die Entwicklung von Sachkompetenz ist daher grundlegend dafür, dass Schüler*innen lernen, in unterschiedlichen Situationen handlungsfähig zu sein. Auch Hopf, Kapelari und Lembens (2017, S. 4) bezeichnen eine ausgeprägte Sachkompetenz als wesentlich, um im täglichen Leben handlungsfähig zu sein. In diesem Zusammenhang sei auf das Kapitel 1.5 *Forschendes Lernen als Teil von Scientific Literacy* verwiesen.

Das Kompetenzmodell für die AHS Oberstufe im Unterrichtsfach Chemie gliedert sich in drei Dimensionen – die *Inhaltsdimension*, das *Anforderungsniveau* und die *Handlungsdimension*. *Abbildung 4* zeigt eine Übersicht dieser drei Dimensionen und deren Untergliederung. In roter Farbe wurden jene Bereiche hervorgehoben, die für die Entwicklung der Lernumgebung von Bedeutung sind.

Inhaltsdimension	Anforderungsniveau	Handlungsdimension
• Modellbildung • Strukturen • Substanz und Energie • Gleichgewicht • Übertragung • Umgang mit Materie • Struktur und Reaktion • Chemische Grundlagen des Lebens	• Niveau I • Niveau II	• Wissen organisieren • Erkenntnisse gewinnen • Konsequenzen ziehen

Abbildung 4: Übersicht Kompetenzmodell (eigene Darstellung in Anlehnung an Kern et al. (2017, S. 20))

Die *Inhaltsdimension* umfasst, wie der Name bereits nahelegt, Überbegriffe fachlicher Inhalte der einzelnen Semester. Für die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Lernumgebung ist dabei die Inhaltsdimensionen *Strukturen* wesentlich (vgl. Kern et al., 2017, S. 20).

Als weitere Dimension des Kompetenzmodells ist das *Anforderungsniveau* zu nennen, das sich abhängig vom Ausmaß an Eigenständigkeit der Lernenden in zwei Ebenen unterteilt. Das gestaltete Unterrichtsmaterial initiiert eine selbstorganisierte praktische Arbeit von Schüler*innen im Rahmen des Forschenden Lernens, die über Reproduktionsaufgaben – Niveau I – hinausgeht. Im Anschluss an das Forschende Lernen wenden die Schüler*innen ihr neu gewonnenes Wissen an und führen damit Transferleistungen durch. Das Anforderungsniveau der Lernumgebung entspricht aufgrund der Eigenständigkeit und der Transferleistungen der Schüler*innen *Niveau II* (vgl. Kern et al., 2017, S. 20).

Mit der *Handlungsdimension* wird das Kompetenzmodell vervollständigt. Der Handlungsdimension liegen die Bereiche *Wissen organisieren [WO]*, *Erkenntnisse gewinnen [EO]* und *Konsequenzen ziehen [KO]* zugrunde (vgl. Kern et al., 2017, S. 20).

Tabelle 2 zeigt einen wörtlichen Auszug der Handlungsdimension des Kompetenzmodells und umfasst die für die Unterrichtseinheit relevanten Deskriptoren (vgl. Abels et al., 2012, S. 7 ff; vgl. BMBWF, 2018, S. 179 f).

Ich kann einzeln und im Team ...	
WO3	... fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren.
EO1	... zu naturwissenschaftlichen Fragen, Vermutungen und Problemstellungen eine passende Untersuchung (Beobachtung, Messung, Experiment, ...) durchführen und protokollieren.
EO3	... zu naturwissenschaftlichen Fragen, Vermutungen und Problemstellungen eine passende Untersuchung (Beobachtung, Messung, Experiment, ...) planen.
EO4	... naturwissenschaftliche Modelle verwenden, um Daten und Ergebnisse von Untersuchungen sowie Vorgänge und Zusammenhänge zu erklären.
EO6	... auf der Basis von Daten und Untersuchungsergebnissen sowie deren Interpretation Hypothesen über Vorgänge und Zusammenhänge aufstellen.
KO5	... einen Problemlöseprozess kritisch reflektieren und gegebenenfalls alternative Strategien entwickeln.

Tabelle 2: Auszug aus der Handlungsdimension des Kompetenzmodell (Auszüge wörtlich übernommen nach Abels et al. (2012, S. 7 ff))

Deskriptor WO3 beschreibt die Fähigkeit Lernender, fachlich fundierte Aussagen zu treffen und basierend darauf in weiterer Folge zu argumentieren. Die Deskriptoren EO1 und EO3 beziehen sich beide auf den Forschungsprozess. EO1 beschreibt das aktive praktische Arbeiten und Dokumentieren von Beobachtungen. EO3 bezieht sich auf die selbstständige Planung einer Untersuchung. EO4 beschreibt die Fähigkeit Lernender, mithilfe von Modellen Beobachtungen und gewonnene Daten zu deuten und zu erklären. Die Deskriptoren EO3 und EO4 umfassen Transferleistungen. Mit dem Deskriptor EO6 wird die Fähigkeit von Schüler*innen beschrieben, Vermutungen in Bezug auf ihren eigenen Forschungsprozess aufzustellen und diese im Rahmen einer Untersuchung kritisch zu hinterfragen. KO5 spiegelt den typischen Verlauf eines Forschungsprozesses wider, der gegebenenfalls über mehrere Wiederholungen oder Umwege zur Problemlösung führt. EO6 und KO5 umfassen Reflexions- und Transferleistungen (vgl. Abels et al., 2012, S. 7 ff).

Im Rahmen der Unterrichtsdurchführungen zur Erprobung und Weiterentwicklung der Lernumgebung wird Deskriptor WO3 angesprochen, da die Schüler*innen basierend auf ihren eigenen Erkenntnissen aus dem Forschenden Lernen üben, fachlich fundierte Aussagen zu treffen. Lernende üben durch die nachfolgende Spezifizierung zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen, ihre neu gewonnenen Erkenntnisse auf neue Fragestellungen zu übertragen und fachlich fundiert zu argumentieren. EO1, EO3 und EO4 werden während des Forschungsprozesses ermöglicht. Die Lernenden planen im Rahmen des Forschenden Lernens selbstständig eine Untersuchung zur Beantwortung einer Forschungsfrage, führen diese Untersuchung durch und erheben sowie dokumentieren dabei Daten. Sie ziehen mithilfe von frei wählbarem Unterstützungsangebot eigenständig Schlüsse. Dieses Unterstützungsangebot umfasst eine Tabelle mit Molekülstrukturen zu ausgewählten Inhaltsstoffen der flüssigen Haarkur sowie Gestufte Hilfen zum Forschenden Lernen. Das Unterstützungsangebot wird im Kapitel 4.2.1 *Beschreibung des Unterrichtsmaterials* näher beschrieben.

Der Forschungsprozess im Rahmen des Forschenden Lernens wird auf Level 2 durchgeführt, weshalb insbesondere der Formulierung, Überprüfung und Weiterentwicklung von Hypothesen – EO6 - eine besondere Bedeutung zukommt. Da Lernende das Forschende Lernen auf Level 2 weitgehend selbstbestimmt gestalten, ist ein sich wiederholender Forschungsprozess zu erwarten, in welchem die Lernenden auf ihrem Weg zur Beantwortung der Forschungsfrage auch Umwege gehen dürfen und ihr eigenes Handeln kritisch reflektieren sollen. Aus diesem Grund ist auch KO5 durch Lernumgebung abgedeckt.

2.5 Unterrichtsplanung zur entwickelten Lernumgebung

Das vorliegende Kapitel stellt in einer knappen Übersicht die Planung der Unterrichtsdurchführung in der Version für den letzten Durchgang dar. Dieses Kapitel ist als Einführung anzusehen, um den Ausführungen der nachfolgenden Kapitel besser folgen zu können. Die Unterrichtsplanung stützt sich auf das 5E-Modell nach Bybee et al. (2006, S. 41). Nähere Erläuterungen zu diesem Modell sind im Kapitel 1.4 *Planung Forschenden Lernens durch die Lehrperson* nachzulesen.

In drei Unterrichtsdurchführungen wurden die Lernumgebung sowie die dazugehörigen Unterrichtseinheiten mit drei Klassen der 11. Schulstufe einer AHS durchgeführt und weiterentwickelt. Es sei darauf hingewiesen, dass sich die Planungen der jeweiligen Unterrichtsdurchgänge teilweise in der Methodik unterscheiden. Entsprechende Abweichungen sind auf die mit der Covid-19-Pandemie einhergehenden Schulschließungen in

Wien zurückzuführen. Die Unterrichtsdurchführungen wurden im Distance-Learning, im Hybrid-Unterricht und im Präsenzunterricht durchgeführt. Eine detaillierte Beschreibung der Lernumgebung wird im Kapitel 4.2 *Beschreibung der Lernumgebung und Beantwortung der ersten Forschungsfrage* erläutert.

Im Rahmen der Unterrichtsdurchführungen beschäftigen sich die Schüler*innen mit dem Phänomen der Phasenbildung innerhalb einer flüssigen Haarkur. Die Schüler*innen beantworten dabei im Rahmen Forschenden Lernens auf Level 2 die Frage „*Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander lösen?*“.

Die nachfolgenden Tabellen geben auf den folgenden Seiten einen Überblick über die geplanten Durchführungsschritte zur Begleitung des Forschungsprozesses der Schüler*innen und der anschließenden Aufarbeitung.

Ablauf der Engage-Phase	Evaluate
• Schütteln einer flüssigen Haarkur • Austausch zum Phänomen der Phasenbildung innerhalb dieser Haarkur • Thematisierung der Inhaltsstoffe • Vorstellen der Forschungsfrage • Formulieren von Hypothesen	• Fragend-entwickelndes Unterrichtsgespräch zur Erhebung von Vorwissen • Dokumentation der Hypothesen in einem Protokollentwurf

Tabelle 3: Überblick zur Engage-Phase (eigene Darstellung)

Tabelle 3 zeigt den Ablauf der Engage-Phase sowie der begleitenden Evaluate-Phase. Als Einstieg in die Unterrichtssequenz wird den Schüler*innen eine flüssige Haarkur gezeigt. Diese wird geschüttelt und im Anschluss erfolgt eine phänomenologische Betrachtung der Phasenbildung innerhalb dieser flüssigen Haarkur. Vorwissen und Vorerfahrungen der Schüler*innen zu diesem Phänomen werden in einem Gespräch zur Wiederholung von heterogenen und homogenen Gemischen erhoben. Dabei wird auch eine mögliche Phasenbildung beim Mischen von Stoffen thematisiert. Die Reihenfolge der Inhaltsstoffe auf dem Etikett wird thematisiert und die Forschungsfrage wird vorgestellt. Zu dieser Forschungsfrage formulieren die Schüler*innen Hypothesen und halten diese schriftlich in einem Protokollentwurf fest.

Im Anschluss an die Engage-Phase folgt die Explore-Phase. Basierend auf ihren Hypothesen planen die Schüler*innen passende Untersuchungen, führen diese durch und halten ihre Beobachtungen schriftlich fest. In einem Protokollentwurf dokumentieren die Lernenden die einzelnen Phasen ihres Forschungsprozesses, ihr Vorgehen sowie ihre Beobachtungen. In der Folge analysieren und interpretieren sie ihre gewonnenen Daten in Hinblick auf die Forschungsfrage. Im Anschluss an das Forschende Lernen geben die Schüler*innen Feedback zum Forschenden Lernen, indem sie Fragen in einer Feedbacktafel beantworten. Der Protokollentwurf dient der Evaluation der bisherigen Lernfortschritte der Schüler*innen. Mithilfe des Feedbacks wird die Lernumgebung evaluiert. Im Kapitel 4.2.1 *Beschreibung des Unterrichtsmaterials* werden diese beiden Dokumente detailliert beschrieben.

Die Lehrperson analysiert beide Dokumente aller Lernenden vor der nächsten Unterrichtseinheit, um das weitere unterrichtliche Vorgehen auf die Erkenntnisse und Rückmeldungen der Schüler*innen abzustimmen. *Tabelle 4* zeigt eine Übersicht des Ablaufes der Explore-Phase sowie der dazugehörigen Evaluate-Phase.

Ablauf der Explore-Phase	Evaluate
• Planung einer Untersuchung • Durchführung dieser Untersuchung • Dokumentation von Beobachtungen • Datenanalyse und -interpretation • Schreiben eines Protokollentwurfs	• Schreiben und Abgeben eines Protokollentwurfs • Formulierung eines schriftlichen Feedbacks in einer Feedbacktafel

Tabelle 4: Übersicht zur Explore-Phase (eigene Darstellung)

Nach der Explore-Phase folgt eine fachliche Klärung des untersuchten Phänomens – die Explain-Phase. Im Rahmen der Explain-Phase formulieren die Schüler*innen eine vorläufige Schlussfolgerung in ihrem Protokollentwurf und beantworten die Forschungsfrage. Die Lernenden dokumentieren wichtige Erkenntnisse ihres Forschungsprozesses auf einem Flipchart. Alle Flipcharts werden im Klassenraum verteilt aufgehängt und präsentiert, um Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede im Vorgehen und den gewonnenen Erkenntnissen im Plenum zu diskutieren. Im Rahmen dieser Diskussion führt die Lehrperson Fachbegriffe, beispielsweise die Polarität von Molekülen, im Zusammenhang mit möglichen Erklärungen

durch die Schüler*innen ein. In *Tabelle 5* ist ein Überblick zur Explain-Phase sowie der dazu parallel verlaufenden Evaluate-Phase zu sehen.

Ablauf der Explain-Phase	Evaluate
• Formulieren einer vorläufigen Schlussfolgerung und Beantwortung der Forschungsfrage • Diskussion der Erkenntnisse und Vergleich der Vorgehensweise im Plenum • Einführung von Fachbegriffen durch die Lehrperson	• Dokumentation wichtiger fachlicher Erkenntnisse auf Flipcharts und Diskussion im Plenum

Tabelle 5: Überblick zur Explain-Phase (eigene Darstellung)

Die Engage-, die Explore- sowie die Explain-Phase finden im Rahmen einer Doppelstunde statt. In den nachfolgenden Unterrichtseinheiten folgt die Extend-Phase.

In der Extend-Phase sollen die Schüler*innen ihre Erkenntnisse aus dem Forschungsprozess erweitern und verallgemeinern. Alle Moleküle von wasserlöslichen Inhaltsstoffen der flüssigen Haarkur weisen mindestens eine Hydroxy-Gruppe in der Molekülstruktur auf. Daher könnte der Schluss folgen, eine Hydroxy-Gruppe wäre ausschlaggebend für das Löslichkeitsverhalten eines Stoffes in Wasser. Die Extend-Phase wird mit einem Demonstrationsversuch durch die Lehrperson eingeleitet. Bei diesem Versuch zeichnet die Lehrperson die Skelettformeln ausgewählter Alkohole an die Tafel. Die Schüler*innen sollen mögliche Hypothesen zur Löslichkeit der entsprechenden Alkohole in Wasser formulieren. Im Anschluss führt die Lehrperson diese Löslichkeitsversuche durch und wirft die Frage auf, weshalb sich Hexan-1-ol kaum in Wasser löst. Die Schüler*innen erarbeiten selbstständig mithilfe von Unterrichtsmaterial fachliche Grundlagen zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen. Im Zuge dieser fachlichen Erarbeitung wird die Frage nach dem Löslichkeitsverhalten von Hexan-1-ol in Wasser durch die Schüler*innen geklärt. Im Bedarfsfall werden sie dabei durch die Lehrperson unterstützt. Die Lernenden wenden ihr neu gewonnenes Wissen anschließend auf eine weitere Fragestellung zur Löslichkeit von Pentan in Wasser an.

Zum Abschluss der Extend-Phase diskutieren die Schüler*innen in Kleingruppen Aussagen eines Concept Cartoons zur Phasenbildung bei der Zubereitung einer Salatmarinade. Ein Concept Cartoon zeigt mehrere Personen, welchen mögliche Erklärungen zu einer

alltagsbezogenen naturwissenschaftlichen Fragestellung in Sprechblasen zugeordnet werden (vgl. Keogh & Naylor, 1999, S. 431 f). Eine nähere Beschreibung dieses Concept Cartoons ist im Kapitel 4.2.1 *Beschreibung des Unterrichtsmaterials* angeführt.

Im Zuge der Diskussion der Aussagen des Concept Cartoons wird von den Schüler*innen eine weitere Transferleistung verlangt. Sie diskutieren die Aussagen zunächst in Kleingruppen. Anschließend formulieren sie einzeln schriftliche Stellungnahmen zu den Aussagen des Concept Cartoons. Diese Stellungnahmen werden mit samt einer Überarbeitung des Protokollentwurfs aus der ersten Doppelstunde – dem finalen Protokoll – der Lehrperson abgegeben. Der Ablauf der Extend- und Evaluate-Phase ist in *Tabelle 6* dargestellt.

Ablauf der Extend-Phase	Evaluate
• Demonstrationsversuch zum Löslichkeitsverhalten einwertiger Alkohole in Wasser • Fachliche Erarbeitungsphase zwischenmolekularer Wechselwirkungen • Anwendungsaufgabe zum Löslichkeitsverhalten von Pentan in Wasser • Diskussion eines Concept Cartoons zur Phasenbildung bei der Zubereitung einer Salatmarinade • Formulieren eines finalen Protokolls	• Formulieren von Hypothesen zum Demonstrationsversuch • Schriftliche Stellungnahmen zum Concept Cartoon • Abgabe eines finalen Protokolls

Tabelle 6: Übersicht zur Extend-Phase (eigene Darstellung)

3 Fachliche Klärung zur Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen in homogenen und heterogenen Mischungen

Der Fokus der vorliegenden Arbeit orientiert sich an der Entwicklung, Erprobung und Weiterentwicklung einer Lernumgebung. Im Rahmen dieser Lernumgebung sollen die Schüler*innen das Löslichkeitsverhalten ausgewählter Inhaltsstoffe einer flüssigen Haarkur über Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen begründen. Die Schüler*innen erarbeiten diese fachlichen Grundlagen über Forschendes Lernen. Der Einsatz dieser Lernumgebung beabsichtigt, dass die Schüler*innen das Prinzip *Ähnliches löst Ähnliches* entdecken. Sie sollen Zusammenhänge zwischen dem Löslichkeitsverhalten ausgewählter Inhaltsstoffe einer flüssigen Haarkur und deren Molekülstrukturen erkennen und erarbeiten. Aufbauend auf dieser Erarbeitungsphase soll das Löslichkeitsverhalten dieser ausgewählten Inhaltsstoffe über die Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen begründet werden. Im Anschluss daran wenden die Schüler*innen dieses Wissen über zwischenmolekulare Wechselwirkungen an, um das Löslichkeitsverhalten anderer molekularer Stoffe zu begründen.

Dieses Kapitel beschreibt zunächst die Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen. Für die Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen ist die Polarität von Molekülen wichtig. Deshalb anschließend auf die Polarität eingegangen wird. Schließlich erfolgt eine fachliche Klärung zu Lösevorgängen. Abschließend werden ausgewählte Präkonzepte Lernender zu Lösevorgängen vorgestellt, welche im praktischen Teil dieser Arbeit mit den Schüler*innenvorstellungen aus den Unterrichtsdurchführungen verglichen werden.

3.1 Zwischenmolekulare Wechselwirkungen

Die Löslichkeit molekularer Stoffe ist auf zwischenmolekulare Wechselwirkungen zurückzuführen (vgl. Atkins & De Paula, 2006, S. 702 f; vgl. Latscha et al., 2011, S. 114). Ausmaß und Stärke solcher Wechselwirkungen beeinflussen nicht nur die Löslichkeit molekularer Stoffe, sondern auch andere physikalische Eigenschaften, wie beispielsweise die Siedetemperatur (vgl. Atkins & De Paula, 2006, S. 687; vgl. P. Schmidt, 2019, S. 166).

Zwischenmolekulare Wechselwirkungen treten sowohl zwischen permanenten als auch zwischen induzierten Dipolen auf (vgl. Atkins & De Paula, 2006, S. 687; vgl. P. Schmidt, 2019, S. 166). Dipole sind Moleküle, die positive und negative Ladungsschwerpunkte

aufweisen. Diese Ladungsschwerpunkte sind auf die unterschiedliche Elektronegativität der Atome innerhalb eines Moleküls zurückzuführen (vgl. Riedel, 2019, S. 118 f). Detaillierte Erläuterungen zur Polarität von Molekülen sind im 3.2 *Polarität* nachzulesen.

3.1.1 Dipol-Dipol-Wechselwirkungen

Dipol-Dipol-Wechselwirkungen sind im Allgemeinen jene zwischenmolekularen Wechselwirkungen, die zwischen polaren Molekülen auftreten (vgl. Riedel, 2019, S. 137 f; vgl. P. Schmidt, 2019, S. 167 f). Wie stark polar ein Molekül ist, hängt von den Ladungsschwerpunkten innerhalb dieses Moleküls ab. Die Stärke der Polarität wird über das elektrische Dipolmoment in der Einheit Debye angegeben (vgl. Riedel, 2019, S. 118 f). Mit zunehmender Stärke eines Dipolmoments nimmt die Stärke der Dipol-Dipol-Wechselwirkungen zu. Als Richtwert gilt ein Wert von 1 Debye. Bei einem niedrigeren Wert des Dipolmoments haben die Van-der-Waals-Kräfte einen stärkeren Einfluss (vgl. Riedel, 2019, S. 137 f). Diese Kräfte werden im Kapitel 3.1.3 *Van-der-Waals-Kräfte* näher beschrieben.

Dipol-Dipol-Wechselwirkungen werden von Temperaturänderungen beeinflusst (vgl. Riedel, 2019, S. 137 f). Ein Anstieg der Temperatur ist die Folge einer erhöhten Teilchenbewegung. Diese Teilchenbewegung kann dazu führen, dass sich Dipole aufgrund der veränderten räumlichen Orientierung gegenseitig abstoßen. Eine Temperaturerhöhung wirkt sich daher negativ auf die Ausbildung von Dipol-Dipol-Wechselwirkungen aus. Dipol-Dipol-Wechselwirkungen spielen eine wesentliche Rolle im Hinblick auf Schmelz- und Siedepunkte und haben insbesondere auf die Löslichkeit von molekularen Stoffen einen erheblichen Einfluss (vgl. Latscha et al., 2011, S. 114).

3.1.2 Wasserstoffbrücken

Zwischen einem stark elektronegativen Atom, an welches ein oder mehrere Wasserstoffatome gebunden sind, und einem freien Elektronenpaar eines anderen stark elektronegativen Atoms bilden sich sehr starke zwischenmolekulare Wechselwirkungen aus. Diese Wechselwirkungen werden Wasserstoffbrücken genannt. Besonders starke Wasserstoffbrücken werden gebildet, wenn die Atome Fluor, Sauerstoff oder Stickstoff beteiligt sind (vgl. Atkins & De Paula, 2006, S. 701 f; vgl. Schmidt, 2019, S. 168 f). Je näher Moleküle aneinander sind und je höher die Elektronegativitäten der beteiligten Atome sind, desto stärker sind die Wasserstoffbrücken. Je stärker die Wasserstoffbrücken sind, desto größer ist auch ihr Einfluss auf die physikalischen Eigenschaften eines Stoffes (vgl. P. Schmidt, 2019, S. 168 f).

Wasserstoffbrücken können Bindungsenergien zwischen 8 und 42 kJ/mol erreichen. Die Bindungsenergien liegen damit in etwa doppelt so hoch wie jene der Dipol-Dipol-Wechselwirkungen. Zum Vergleich sei erwähnt, dass die Bindungsenergie einer Einfachbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen bei 346 kJ/mol, jene zwischen zwei Wasserstoffatomen sogar bei 436 kJ/mol liegt (vgl. Latscha et al., 2011, S. 82 ff).

Die Ausbildung von Wasserstoffbrücken lässt sich mit der Molekülorbitaltheorie erklären (vgl. Riedel, 2019, S. 701 f). Die Molekülorbitaltheorie basiert auf der Annahme, dass die Elektronen eines Moleküls in Molekülorbitalen verteilt sind (vgl. Mortimer & Müller, 2019, S. 137 ff; vgl. Riedel, 2019, S. 124 ff; vgl. P. Schmidt, 2019, S. 155 f).

Für die Ausbildung von Wasserstoffbrücken sind das Atom, an welches das Wasserstoffatom stark polar kovalent gebunden ist, sowie ein Atom eines benachbarten Moleküls, welches ein freies Elektronenpaar zur Verfügung stellt, bedeutsam. Um zu erklären, wie eine Wasserstoffbrücke gebildet wird, werden einerseits die Molekülorbitale betrachtet, die aus der Ausbildung der polar kovalenten Bindung resultieren. Andererseits ist das Atomorbital des Atoms mit dem freien Elektronenpaar bedeutsam. Bei der Ausbildung einer Wasserstoffbrücke werden davon ausgehend insgesamt drei Molekülorbitale gebildet, welche mit insgesamt vier Elektronen besetzt werden können. Entsprechend des Bestrebens, einen möglichst energiearmen Zustand einzunehmen, werden dabei die beiden energetisch niedrigeren Molekülorbitale besetzt. Insgesamt resultiert aus der Ausbildung dieser Molekülorbitale eine Absenkung des Energieniveaus, weshalb es kurzzeitig zur Ausbildung einer Wasserstoffbrücke kommt. Temporär sind dabei die beiden Teilchen, die an der Wasserstoffbrücke beteiligt sind, sehr nahe aneinander. Dennoch sind Wasserstoffbrücken keine chemischen Bindungen im eigentlichen Sinne (vgl. Riedel, 2019, S. 701 f).

3.1.3 Van-der-Waals-Kräfte

Zwischen allen Molekülen wirken zumindest Van-der-Waals-Kräfte. Diese werden häufig auch als Dispersions-Wechselwirkungen oder London'sche Wechselwirkungen bezeichnet (vgl. Atkins & De Paula, 2006, S. 700). Diese Kräfte entstehen dadurch, dass in einem Molekül die Ladungswolke zu einem bestimmten Zeitpunkt asymmetrisch verteilt ist. Dadurch entsteht zumindest kurzzeitig ein Dipol-Molekül. Das entsprechende Dipolmoment induziert wiederum in einem benachbarten Molekül ebenfalls eine kurzzeitig asymmetrisch verteilte Ladungswolke. Dadurch kommt es zu einer gegenseitigen zwischenmolekularen Anziehung, die energetisch begünstigt ist. Zwischen ausschließlich induzierten Dipolen sind

Van-der-Waals-Kräfte die einzigen anziehenden zwischenmolekularen Kräfte. Je größer ein Teilchen ist und je eher räumlich getrennte Ladungsschwerpunkte ausgebildet werden können, desto stärker wirken die Van-der-Waals-Kräfte (vgl. Atkins & De Paula, 2006, S. 700 f; vgl. Riedel, 2019, S. 138 f; vgl. P. Schmidt, 2019, S. 166 f). Van-der-Waals-Kräfte wirken nur in unmittelbarer Umgebung der Moleküle. Je höher der Abstand zwischen den an der Wechselwirkung beteiligten Teilchen ist, desto niedriger ist die potentielle Energie (vgl. Atkins & De Paula, 2006, S. 688 ff; vgl. Latscha et al., 2011, S. 116 f; vgl. Riedel, 2019, S. 137 ff; vgl. P. Schmidt, 2019, S. 166).

In der Literatur wird der Begriff der Van-der-Waals-Kräfte nicht einheitlich verwendet. Beispielsweise fasst Riedel (2019, S. 137 ff) unter Van-der-Waals-Kräften Dispersions- und Dipol-Dipol-Wechselwirkungen sowie den Induktionseffekt zusammen. Latscha et al. (2011, S. 116) hingegen sehen die Van-der-Waals-Kräfte nicht als Überkategorie an, sondern setzen sie mit Dispersionswechselwirkungen gleich. Im Schulbuch *EL-MO Elemente-Moleküle*, welches im Rahmen der Unterrichtsdurchführungen verwendet wurde, werden Van-der-Waals-Kräfte im Einklang mit Latscha et al. definiert (vgl. Magyar et al., 2015, S. 32 f). Die vorliegende Arbeit orientiert sich an der Auffassung des verwendeten Schulbuchs.

3.1.4 Induktionseffekt

Der Induktionseffekt beschreibt, dass permanente Dipole in unpolaren Molekülen, die sich in unmittelbarer Umgebung befinden, kurzzeitig ein Dipolmoment induzieren können, wodurch sich Wechselwirkungen zwischen diesen Teilchen ausbilden (vgl. Riedel, 2019, S. 138 f). Der Induktionseffekt ist – im Gegensatz zu den Dipol-Dipol-Wechselwirkungen – temperaturunabhängig. Zwar führt eine Temperaturerhöhung zu einem höheren Ausmaß an Teilchenbewegungen, allerdings ist die räumliche Orientierung der Moleküle unwesentlich, da ein Dipolmoment in einem formal unpolaren Molekül induziert wird (vgl. Atkins & De Paula, 2006, S. 700; vgl. Riedel, 2019, S. 138 f).

3.2 Polarität

Dieses Kapitel beschreibt die Polarität von Molekülen. Moleküle sind polar, wenn sich zwischen ihren Atomen polar kovalente Bindungen ausbilden und die Ladungsschwerpunkte innerhalb des Moleküls nicht zusammenfallen (vgl. Riedel, 2019, S. 117 f). Um beide Aspekte beurteilen zu können, wird im Folgenden sowohl auf die Ausbildung polar kovalenter Bindungen als auch auf die Molekülgeometrie eingegangen.

Wird eine kovalente Bindung zwischen Atomen unterschiedlicher Elektronegativität ausgebildet, so wird das bindende Elektronenpaar von dem stärker elektronegativen Atom stärker angezogen. Da die Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Ladungswolke im Bereich um dieses Atom höher ist, wird dem stärker elektronegativen Atom eine negative Partialladung (δ^-) zugeordnet. Dementsprechend hat das Atom mit der niedrigeren Elektronegativität eine positive Partialladung (δ^+). Mit zunehmender Polarität einer kovalenten Bindung nimmt auch der Anteil des ionischen Charakters dieser Bindung zu. Unpolare kovalente Bindungen hingegen liegen nur bei einer Elektronegativitätsdifferenz von 0 vor (vgl. Mortimer & Müller, 2019, S. 119 f; vgl. Riedel, 2019, S. 117 f).

Aufgrund der Ausbildung von Partialladungen entstehen Ladungsschwerpunkte im Molekül. Abhängig vom räumlichen Aufbau des Moleküls können diese Ladungsschwerpunkte entweder zusammenfallen und sich dadurch aufheben, oder der negative und der positive Ladungsschwerpunkt liegen räumlich getrennt voneinander vor. Im zweiten Fall wird das Molekül als Dipol bezeichnet (vgl. Latscha et al., 2011, S. 176 f; vgl. Mortimer & Müller, 2019, S. 120 f; vgl. Riedel, 2019, S. 118).

Wie stark polar ein Molekül ist, kann über das elektrische Dipolmoment angegeben werden. Mathematisch wird das Dipolmoment als Vektor aufgefasst und kann grafisch als Pfeil dargestellt werden. Der Schaft des Pfeils liegt nach Konvention am positiven Bereich des Moleküls und zeigt auf den negativen Bereich. Setzt sich ein Molekül aus mehreren polar kovalent verknüpften Atomen zusammen, so ergibt die Summe der Vektoren das Gesamtdipolmoment für dieses Molekül (vgl. Latscha et al., 2011, S. 176 f; vgl. Mortimer & Müller, 2019, S. 120 f; vgl. Riedel, 2019, S. 118).

Die Molekülgeometrie kann näherungsweise über das *Valenzschalen-Elektronenpaar-Abstoßungsmodell* (engl.: Valence Shell Electron Pair Repulsion [VSEPR]) ermittelt werden. Dieses Modell erklärt die räumliche Anordnung von Elektronenpaaren der äußersten Sphäre um ein Zentralatom. Dabei werden sowohl freie Elektronenpaare des Zentralatoms als auch bindende Elektronenpaare berücksichtigt, wodurch die Anordnung von Atomen um das Zentralatom im Molekül veranschaulicht werden kann. Im VSEPR-Modell wird das Zentralatom als Mittelpunkt einer Kugel dargestellt. Die Ausrichtung der freien und bindenden Elektronenpaare erfolgt in Richtung der Kugeloberfläche. Da die Elektronenpaare negativ geladen sind, erfolgt eine Anordnung entsprechend einem maximalen Abstand zueinander (vgl. Riedel, 2019, S. 94 ff; vgl. P. Schmidt, 2019, S. 130 ff).

Je mehr Platzbedarf ein Elektronenpaar bzw. ein Substituent in der Koordinationssphäre beansprucht, desto stärker werden die restlichen Bindungswinkel verringert. Freie Elektronenpaare verringern die Bindungswinkel, weil sie nur dem Zentralatom zugeordnet werden und daher stark vom Atomkern angezogen werden. Bindende Elektronenpaare hingegen werden nach der Valenzbindungstheorie zwei Atomkernen zugeordnet, wodurch sie weniger Platz in der Koordinationssphäre benötigen (vgl. Riedel, 2019, S. 94 ff; vgl. P. Schmidt, 2019, S. 130 ff). Die Valenzbindungstheorie geht – anders als die Molekülorbitaltheorie – davon aus, dass zur Ausbildung einer kovalenten Bindung einfach besetzte Atomorbitale überlappen. Dadurch bildet sich ein Bereich aus, der beiden Valenzelektronen gemeinsam zur Verfügung steht (vgl. Riedel, 2019, S. 99 ff).

Auch die Atomsorte der Substituenten spielt eine wesentliche Rolle in der räumlichen Anordnung. Je höher die Elektronegativität eines Substituenten, desto stärker wird das bindende Elektronenpaar von diesem angezogen. Dieses bindende Elektronenpaar beansprucht daher weniger Platz in der Koordinationssphäre. Atome zunehmender Periode benötigen aufgrund ihrer Größe wiederum mehr Platz um das Zentralatom. Das VSEPR-Modell beruht auf der vereinfachten Annahme, dass alle Elektronenpaare dem gleichen Energieniveau entsprechen. Die dreidimensionale Ausrichtung der Atomorbitale wird im Modell nicht berücksichtigt. Es liefert für Moleküle, die durch Atome der Hauptgruppenelemente verknüpft sind, Ergebnisse, die mit dem realen räumlichen Aufbau größtenteils übereinstimmen. Das VSEPR-Modell beschreibt lineare, gewinkelte, trigonal planare sowie tetraedrische Molekülstrukturen. Darüber hinaus werden quadratisch pyramidale, trigonal bipyramidale, oktaedrische sowie pentagonal bipyramidale Anordnungen erklärt (vgl. Riedel, 2019, S. 94 ff; vgl. P. Schmidt, 2019, S. 130 ff). Diese möglichen Molekülstrukturen werden in *Abbildung 5* veranschaulicht.

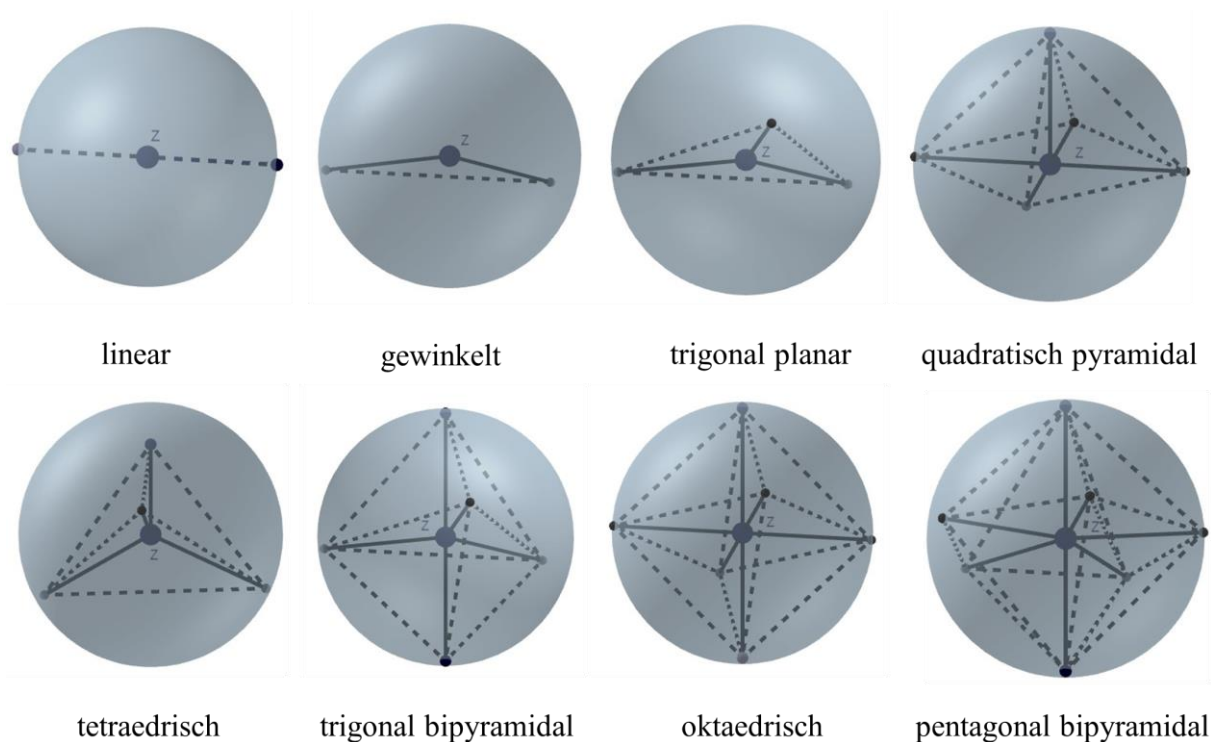


Abbildung 5: Molekülgeometrie nach dem VSEPR-Modell (eigene Darstellung erstellt über www.geogebra.org in Anlehnung an Riedel (2019, S. 95))

Ein weiteres Modell, das der Beschreibung räumlicher Anordnungen von gebundenen Atomen in Molekülen dient, ist das Hybridisierungsmodell. Atomorbitale mit ähnlichem Energieniveau können zu Hybridorbitalen kombiniert werden, die alle ein einheitliches Energieniveau aufweisen. Dadurch werden die Ausbildung energetisch äquivalenter kovalenter Bindungen, Bindungswinkel sowie die Ausrichtung bindender und freier Elektronenpaare teilweise besser erklärbar. Hybridorbitale bieten Ladungswolken einen größeren Überlappungsbereich, wodurch die Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen insbesondere im Bereich zwischen zwei Atomkernen sehr hoch ist. Die Ausbildung von Hybridorbitalen ist daher energetisch günstig. Wesentlich ist, dass es zwar möglich, aber nicht notwendig ist, dass alle Atomorbitale an der Ausbildung von Hybridorbitalen beteiligt sind. Jene Atomorbitale, die beteiligt sind, müssen aber einfach besetzt sein, weshalb es zur Anhebung eines Elektrons in ein höher gelegenes freies Hybridorbital kommen kann. Dadurch wird das Zentralatom in einen entarteten Zustand versetzt. Exemplarisch sei hier das Kohlenstoffatom in unterschiedlichen Verbindungen genannt (vgl. Mortimer & Müller, 2019, S. 135 ff; vgl. Riedel, 2019, S. 102 ff; vgl. P. Schmidt, 2019, S. 149 f).

3.3 Lösevorgang

Die Frage, ob sich Stoffe ineinander lösen, lässt sich in vielen Fällen durch das Prinzip *Ähnliches löst Ähnliches* beantworten (vgl. Latscha et al., 2011, S. 178; vgl. Mortimer & Müller, 2019, S. 211). Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Unterrichtskonzeption stützt sich auf rein qualitative Aussagen bezüglich der Löslichkeit molekular aufgebauter Stoffe. Diese qualitativen Aussagen zur Löslichkeit stehen in den nachfolgenden Ausführungen im Fokus. Auf weitere Informationen bezüglich quantitativer Aspekte oder der Löslichkeit von Salzen sei auf die diesem Kapitel zugrunde liegende Literatur verwiesen.

3.3.1 Mischung, Lösung und Löslichkeit

Zunächst seien einige Begriffsdefinitionen angeführt, weil zwischen Mischungen und Lösungen in der Literatur nicht konsequent unterschieden wird (vgl. Lorimer & Cohen-Adad, 2003, S. 20). Systeme, die sich aus zumindest zwei Komponenten zusammensetzen, werden als Mischungen bezeichnet. In Mischungen werden alle Komponenten als gleichwertig angesehen. Hingegen wird in Lösungen einem Stoff eine übergeordnete Rolle zugeschrieben. Jener Stoff, der im Überschuss vorhanden ist, wird als Lösemittel bezeichnet (vgl. Latscha et al., 2011, S. 175 f; vgl. P. Schmidt, 2019, S. 8). Wird beispielsweise eine kleine Menge Glycerin in Wasser gelöst, so ist Wasser das Lösemittel. Glycerin wiederum wird als gelöster Stoff bezeichnet. Die Löslichkeit ist ein Maß dafür, wie viel eines bestimmten Stoffes sich in einem Lösemittel löst. Sie muss experimentell ermittelt werden. Berechnet wird die Löslichkeit, indem die Stoffmenge des gelösten Stoffes bzw. dessen Masse durch die Gesamtmasse der Lösung dividiert wird. Die Löslichkeit wird in mol/kg bzw. in g/100 g Lösemittel angegeben. Die Löslichkeit ist eine temperaturabhängige Größe. Es ist daher wesentlich, anzuführen, auf welche Temperatur sich die Angaben zur Löslichkeit eines Stoffes beziehen (vgl. Latscha et al., 2011, S. 176 ff).

3.3.2 Homogene und Heterogene Mischungen

Lösungen sind homogene Mischungen. Homogene Mischungen bestehen aus nur einer Phase. Als Phase wird in diesem Zusammenhang ein Bereich bezeichnet, der Stoffe enthält, die sich in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften sehr stark ähneln. Es ist nicht möglich, die Lösungskomponenten innerhalb einer Lösung optisch zu unterscheiden, weil die Teilchen, beispielsweise Moleküle, des gelösten Stoffes einzeln zwischen den Teilchen des Lösemittels verteilt sind. Allerdings kann eine Lösung mithilfe von physikalischen Vorgängen wieder in die ursprünglichen Reinstoffe getrennt werden. Der Lösevorgang selbst ist ein physikalischer

Vorgang. Es handelt sich dabei nicht um eine chemische Reaktion. Um die Löslichkeit von Stoffen in einem Lösemittel zu charakterisieren, kann auf eine mögliche Ausbildung von Phasen beim Mischvorgang geachtet werden. Werden zwei oder mehr Stoffe gemischt und es kommt zur Ausbildung unterschiedlicher Phasen, so wird von einer heterogenen Mischung gesprochen. Die jeweiligen Phasen sind durch charakteristische Eigenschaften gekennzeichnet und werden durch eine Phasengrenze voneinander getrennt. Lösen sich umgekehrt Stoffe gut ineinander, so sind diese innerhalb einer Phase vorzufinden (vgl. Latscha et al., 2011, S. 173 ff).

3.3.3 Solvation und Hydratation

Die Solvation erklärt den Lösevorgang eines Stoffes in einem Lösemittel auf Teilchenebene. Lösemittelmoleküle umgeben ein Teilchen des gelösten Stoffes. Diese erste „Umrandung“ wird als Solvationssphäre bezeichnet (vgl. Mortimer & Müller, 2019, S. 213; vgl. RÖMPP-Redaktion, 2002). *Abbildung 6* zeigt die Ausbildung einer solchen Solvationssphäre am Beispiel des Lösemittels Wasser. Die linke Abbildung zeigt die Ausbildung einer Solvationssphäre um ein positiv geladenes Teilchen, wodurch sich die Wassermoleküle mit der partial negativ geladenen Seite an dieses Teilchen anordnen. Die rechte Abbildung zeigt die umgekehrte Anordnung.

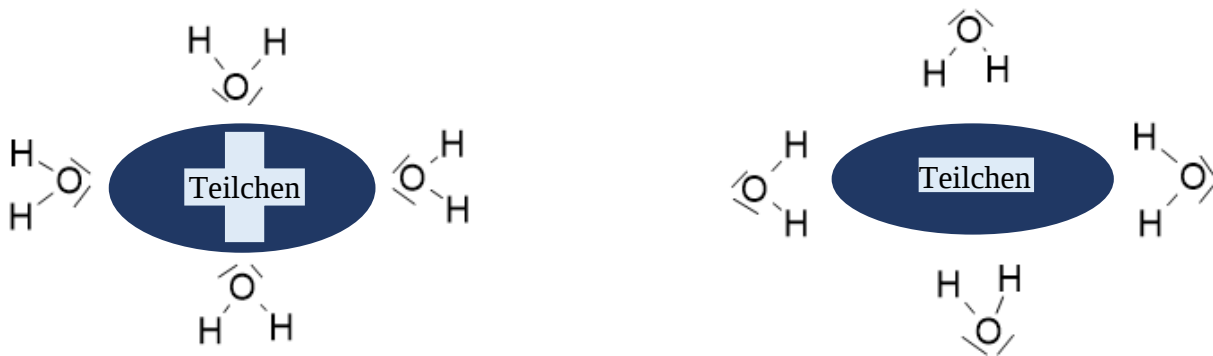


Abbildung 6: Ausbildung einer Solvationssphäre (eigene Darstellung)

Der Begriff Solvat umfasst sowohl das gelöste Teilchen als auch die darum gebildete Solvationssphäre. Abhängig vom jeweiligen Lösemittel und vom gelösten Stoff werden zwischen den Lösemittelmolekülen der Solvationssphäre und dem Teilchen des gelösten Stoffes unterschiedliche zwischenmolekulare Wechselwirkungen ausgebildet. Mit zunehmender Größe eines Moleküls wird die Bildung einer stabilen Solvationssphäre schwieriger. Daher werden vor allem kleine Moleküle gut solvatisiert (vgl. RÖMPP-Redaktion, 2002).

Die Hydratation bezeichnet die Solvation mit dem Lösemittel Wasser. Analog zum allgemeinen Vorgang der Solvation umfasst bei der Hydratation der Begriff Hydrat das in Wasser gelöste Teilchen sowie die darum gebildete Hydratationssphäre. Im Lösemittel Wasser bilden sich zwischen den Wassermolekülen insbesondere Wasserstoffbrücken aus, wodurch die Hydratationssphäre stabilisiert wird. Da beim Lösevorgang allgemein keine chemische Reaktion stattfindet, werden die Bindungen innerhalb eines Moleküls auch nicht gebrochen (vgl. Latscha et al., 2011, S. 178 f; vgl. Sitzmann, 2006).

Löst sich ein Stoff in einem Lösemittel, so muss Energie aufgebracht werden, um die Moleküle des zu lösenden Stoffes zu trennen. Diese Energie wird im Folgenden als ΔH_{Auf} bezeichnet. Durch die Bildung von Solvaten bzw. Hydraten kommt es auch zur Freisetzung von Energie (ΔH_{Frei}). Diese abgegebene Wärmeenergie wird als Solvationsenthalpie bzw. Hydratationsenthalpie bezeichnet (vgl. Mortimer & Müller, 2019, S. 213; RÖMPP-Redaktion, 2002; Sitzmann, 2006). Die Differenz der während eines Lösevorgangs aufgebrauchten und freigesetzten Energie, die umgesetzte Wärmemenge, liefert die Lösungsenthalpie ($\Delta H_{\text{Lös}}$). Benötigt die Trennung der Teilchen des zu lösenden Stoffes mehr Energie als bei der Solvation bzw. Hydratation freigesetzt wird, so handelt es sich um einen endothermen Lösevorgang ($\Delta H_{\text{Lös}} > 0$). Der umgekehrte Fall beschreibt einen exothermen Lösevorgang ($\Delta H_{\text{Lös}} < 0$) (vgl. Riedel, 2019, S. 199; vgl. P. Schmidt, 2019, S. 187 f).

Nach dem Prinzip von Le Chatelier führt eine Temperaturerhöhung bei endothermen Lösevorgängen dazu, dass sich eine größere Menge des Stoffes in einem Lösemittel löst. Bei exothermen Lösevorgängen hingegen hat eine Temperaturzunahme eine Verringerung der Löslichkeit eines Stoffes zur Folge. Eine Erhöhung der Stoffmengenkonzentration führt nach diesem Prinzip dazu, dass sich die Lage des chemischen Gleichgewichts insofern verschiebt, dass die Stoffmengenkonzentration wieder gesenkt wird. Die Stoffmengenkonzentration beeinflusst sowohl die Solvations- bzw. Hydratationsenthalpie als auch die Lösungsenthalpie. Je niedriger die Stoffmengenkonzentration in einer verdünnten Lösung, desto eher können Teilchen vollständig solvatisiert werden. Folglich ist der gesamte Lösevorgang abhängig von der Stoffmengenkonzentration eines Stoffes. Der Einfluss einer Druckänderung auf die Löslichkeit steht in Zusammenhang mit der Komprimierung bzw. Ausdehnung eines Stoffes. Diese Tatsache ist insbesondere für gasförmige Stoffe wesentlich. Sie spielt für flüssige Lösungen, wie sie im Rahmen der Unterrichtseinheit thematisiert werden, jedoch keine Rolle (vgl. Mortimer & Müller, 2019, S. 210 ff; 275 ff). Da eine

detaillierte Erläuterung im Bereich der Thermodynamik im Rahmen dieser Arbeit zu weit greifen würde, sei neben der Basisliteratur beispielsweise auf den Beitrag *Thermodynamics of Solubility* von Lorimer und Cohen-Adad (2003) verwiesen.

3.3.4 Einfluss zwischenmolekularer Wechselwirkungen auf das Löslichkeitsverhalten molekularer Stoffe

Nach dem Prinzip *Ähnliches löst Ähnliches* lösen sich Stoffe, deren zugrunde liegende Moleküle ähnliche Polarität aufweisen, gut ineinander (vgl. Mortimer & Müller, 2019, S. 211). Reale Lösevorgänge laufen allerdings nicht immer nach diesem Schema ab. Für die nachfolgenden Ausführungen sei daher explizit darauf hingewiesen, dass das Prinzip *Ähnliches löst Ähnliches* vereinfachende Erklärungen für Lösevorgänge liefert.

Lösen sich molekulare Stoffe gut ineinander, so lässt sich diese gute Löslichkeit insbesondere dadurch erklären, dass die ausgebildeten zwischenmolekularen Wechselwirkungen eine ähnliche Art und Größenordnung haben (vgl. Mortimer & Müller, 2019, S. 211).

Zwischen kaum polaren Molekülen werden ausschließlich Van-der-Waals-Kräfte ausgebildet. Beispielsweise seien in diesem Zusammenhang Kohlenwasserstoffmoleküle erwähnt. Die kovalenten Bindungen zwischen Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen sind schwach polar, jene zwischen zwei Kohlenstoffatomen unpolar. Aufgrund der Molekülgeometrie symmetrisch aufgebauter Kohlenwasserstoffmoleküle fallen selbst schwach ausgebildete Ladungsschwerpunkte zusammen. Kohlenwasserstoffmoleküle besitzen daher kein permanentes Dipolmoment, weshalb es nur zur Ausbildung von Van-der-Waals-Kräften kommt. Werden Kohlenwasserstoffe in einem Lösemittel gelöst, das ebenfalls aus unpolaren Molekülen aufgebaut ist, so lösen sie gut im Lösemittel, weil die Van-der-Waals-Kräfte dominieren (vgl. Latscha et al., 2011, S. 116). Werden hingegen Kohlenwasserstoffverbindungen einem Lösemittel beigemengt, dem polare Moleküle zugrunde liegen, so lösen sie sich kaum im Lösemittel (vgl. Atkins & De Paula, 2006, S. 702 f).

Stoffe, die sich kaum in Wasser lösen, werden als hydrophob bezeichnet. Umgekehrt wird Stoffen, die sich gut in Wasser lösen, die Eigenschaft der Hydrophilie zugeschrieben. Entsprechend lösen sich lipophile Stoffe gut in Fett, lipophobe Stoffe hingegen kaum (vgl. Latscha et al., 2011, S. 176 ff).

Nach dem Grundsatz *Ähnliches löst Ähnliches* lösen sich hydrophile Stoffe gut in hydrophilen Lösemitteln. Zwischen den polaren Molekülen können sich neben Van-der-Waals-Kräften auch Dipol-Dipol-Wechselwirkungen bzw. Wasserstoffbrücken ausbilden. Insbesondere polare funktionelle Gruppen sind in diesem Zusammenhang bedeutsam. Beispielsweise kann sich zwischen einem positiv polarisierten Wasserstoffatom einer Hydroxy-Gruppe eines Glycerinmoleküls und einem freien Elektronenpaar des Sauerstoffatoms eines Wassermoleküls eine Wasserstoffbrücke ausbilden. Eine Wasserstoffbrücke kann sich umgekehrt auch zwischen einem positiv polarisierten Wasserstoffatom eines Wassermoleküls und einem freien Elektronenpaar eines stark elektronegativen Sauerstoffatoms eines Glycerinmoleküls ausbilden (vgl. Latscha et al., 2011, S. 176 ff). Diese Ausbildung von Wasserstoffbrücken wird in *Abbildung 7* exemplarisch veranschaulicht.

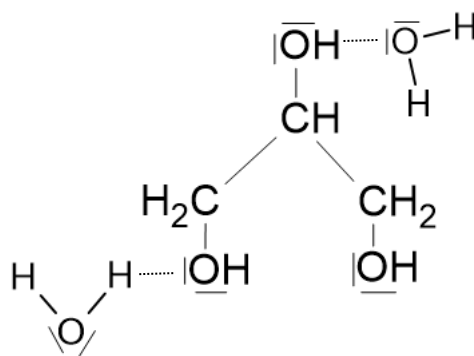


Abbildung 7: Ausbildung von Wasserstoffbrücken (eigene Darstellung)

In der Literatur ist häufig von polaren bzw. unpolaren Stoffen oder Lösemitteln, ebenso von hydrophilen bzw. hydrophoben funktionellen Gruppen zu lesen. Allerdings findet hier eine Vermischung zwischen der makroskopischen und der submikroskopischen Ebene statt. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es sich bei der Polarität um eine Teilcheneigenschaft handelt. Stoffe hingegen, können hydrophil oder hydrophob sein (vgl. Sieve, 2021, S. 19).

3.4 Ausgewählte Präkonzepte von Schüler*innen zum Lösevorgang

Präkonzepte von Schüler*innen zum Lösevorgang sind seit vielen Jahren umfangreich bekannt. Calyk et al. (2005, S. 29 f) sowie Grüß-Niehaus und Schanze (2011, S. 19) geben in ihren Review-Artikeln eine kategorisierte Übersicht zu gängigen Präkonzepten, wie sie in einer Vielzahl an Studien erforscht wurden. Dieses Kapitel beschreibt solche ausgewählten Präkonzepte, um mögliche auftretende unangemessenen Schüler*innenvorstellungen aus dem praktischen Teil dieser Arbeit mit der Literatur verknüpfen zu können. *Abbildung 8* gibt einen Überblick zu diesen Präkonzepten.

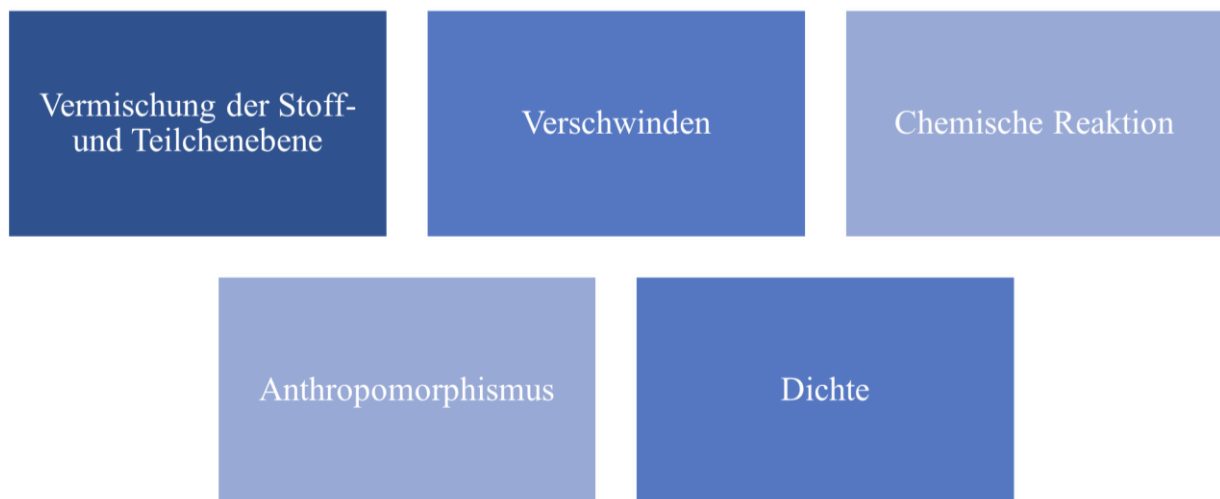


Abbildung 8: Übersicht zu Schüler*innenvorstellungen zum Lösevorgang (eigene Darstellung in inhaltlicher Anlehnung an Calyk et al. (2005) und Grüß-Niehaus & Schanze (2011))

Die Vermischung der Stoff- und Teilchenebene zeigt sich nach Calyk et al. (2005, S. 39 ff) in Aussagen von Schüler*innen im Rahmen unterschiedlichster Studien (zB.: vgl. Abraham et al., 1994; vgl. Kabapinar et al., 2004; vgl. Selley, 2000). Die Unterscheidung zwischen der Stoff- und Teilchenebene stellt viele Schüler*innen in sprachlichen Formulierungen vor eine Herausforderung. Im Zusammenhang mit der Unterscheidung zwischen der Stoff- und Teilchenebene beschreiben Calyk et al. (2005, S. 42) auch die Unterscheidung zwischen unterschiedlichen Teilchenbegriffen, beispielsweise zwischen Atomen und Molekülen, für Lernende als herausfordernd.

In Aussagen von Schüler*innen zeigt sich, dass jene versuchen, stoffliche Eigenschaften auf Vorgänge auf Teilchenebene zu übertragen. Beispielsweise schließen Lernende vom Schmelzen eines Stoffes darauf, dass auch die diesem Stoff zugrundeliegenden Teilchen schmelzen würden. Grüß-Niehaus und Schanze (2011, S. 24 f) fassen basierend auf einer Vielzahl an Studien (zB.: vgl. Grüß-Niehaus & Schanze, 2009; vgl. S. Schmidt et al., 2003) zusammen, dass viele Lernende stoffliche Eigenschaften des zu lösenden Stoffes oder des Lösemittels auf die Teilchenebene übertragen. Beispielsweise resultiert aus der Herstellung einer Lösung die Vorstellung, dass neue Teilchen erzeugt werden würden.

Die Vorstellung, Teilchen würden während des Lösevorgangs verschwinden, ist eine häufige (vgl. Calyk et al., 2005, S. 39; vgl. Grüß-Niehaus & Schanze, 2011, S. 25). Grüß-Niehaus und Schanze (2011, S. 25) führen diese Vorstellung ebenfalls auf eine Übertragung stofflicher Eigenschaften auf die Teilchenebene zurück. Ähnlich zur Vorstellung des Verschwindens ist auch die Vorstellung der Absorption von Teilchen. Nach Abraham et al. (1994, S. 160)

enthalten Aussagen Lernender die Vorstellung, Lösemittelteilchen würden die Teilchen des zu lösenden Stoffes „aufsaugen“.

In einer Studie zu Präkonzepten zum Löslichkeitsverhalten von Natriumchlorid und Haushaltszucker in Wasser zeigte sich die Vorstellung Lernender, beim Lösen von Stoffen würde eine chemische Reaktion stattfinden (vgl. Tien et al., 2007, S. 177). Größ-Niehaus und Schanze (2011, S. 24) beschreiben im Zusammenhang mit der chemischen Reaktion Präkonzepte zu einer vermeintlichen Ausbildung chemischer Bindungen während eines Lösevorgangs. Ebenezer (2001, S. 80) hebt in diesem Zusammenhang eine Aussage hervor, in der der Bruch anziehender Kräfte in bzw. zwischen den Teilchen des gelösten Stoffes beschrieben wird. Zwar ist bei dieser Vorstellung nicht klar nachvollziehbar, ob zwischenmolekulare Wechselwirkungen oder die chemischen Bindungen innerhalb eines Teilchens gemeint sind, dennoch zeigt diese Aussage mehrere mögliche Präkonzepte auf.

Anthropomorphismen zeigen sich in unterschiedlichen Präkonzepten (vgl. Größ-Niehaus & Schanze, 2011, S. 25). Lernende schreiben beispielsweise, dass Teilchen eines heißen Lösemittels tanzen würden. Diese Teilchen würden auch Teilchen des zu lösenden Stoffes herausbrechen. In anderen anthropomorphen Aussagen berichten Schüler*innen von ihrer Vorstellung, Teilchen würden versuchen, sich in vermeintliche Lücken zwischen anderen Teilchen einzuordnen, um nur einige wenige Beispiele zu nennen (vgl. Selley, 2000, S. 395). Eine mögliche Erklärung für unangemessene Präkonzepte zum Lösevorgang im Zusammenhang mit einer Temperaturerhöhung wäre, dass die Bewegung von Teilchen für Schüler*innen schwer vorstellbar ist (vgl. Calyk et al., 2005, S. 39).

Weitere Präkonzepte zum Lösevorgang weisen einen Zusammenhang mit der Dichte des zu lösenden Stoffes auf (vgl. Calyk et al., 2005, S. 39; vgl. Größ-Niehaus & Schanze, 2011, S. 24). Schüler*innen erklären eine geringe Löslichkeit eines Stoffes in einem Lösemittel dadurch, dass die Dichtedifferenz des Stoffes und Lösemittels zu hoch sei. Dieser Erklärung liegt die Vorstellung zugrunde, die Teilchen wären so dicht aneinandergereiht, dass zwischen ihnen nicht genug Platz für die Teilchen des Lösemittels wäre (vgl. Größ-Niehaus & Schanze, 2010, S. 71).

4 Methodik

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde Unterrichtsmaterial erstellt. Dieses Unterrichtsmaterial soll Schüler*innen dabei unterstützen, das Löslichkeitsverhalten ausgewählter Inhaltsstoffe einer flüssigen Haarkur über Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen zu begründen. Die Lernenden erarbeiten die fachlichen Grundlagen, die zur Erklärung dieses Löslichkeitsverhaltens bedeutsam sind, über Forschendes Lernen.

Der Einsatz sowie die Evaluierung des Unterrichtsmaterials erfolgte über die Design-Based Research-Methode in Anlehnung an The Design-Based Research Collective (2003, S. 5 ff). Wesentliches Ziel dieses Forschungsansatzes ist es, Zusammenhänge zwischen Theorie und Praxis herzustellen sowie zu evaluieren und aufzuzeigen, unter welchen Bedingungen Unterricht gewinnbringend ist.

Im Rahmen dieser Masterarbeit fanden drei aufeinanderfolgende Unterrichtsdurchführungen statt. Alle erhobenen Daten liegen in schriftlicher Form vor. Nähere Erläuterungen zur Datenerhebung sind im Kapitel 4.1 *Erhebungsmethode* nachzulesen. Die Datenauswertung sowie persönliche Erfahrungen zu den Unterrichtsdurchführungen liefern die Grundlage für die Gestaltung und Weiterentwicklung der Lernumgebung.

Im Zuge der Unterrichtsdurchführungen und der Evaluierung der Lernumgebung wurden folgende Forschungsfragen für diese Masterarbeit gestellt und beantwortet:

- *Forschungsfrage 1:* „Wie kann eine Lernumgebung gewinnbringend gestaltet werden, um das Prinzip „Ähnliches löst Ähnliches“ anhand von Alltagsprodukten im Zuge Forschenden Lernens mit Schüler*innen der Sekundarstufe II zu erarbeiten?“
- *Forschungsfrage 2:* „Wie nehmen Schüler*innen die zeitlichen und materiellen Rahmenbedingungen, die Sozialform sowie den Forschungsprozess im Zuge des Forschenden Lernens wahr?“
- *Forschungsfrage 3:* „Wie nützen Schüler*innen das entwickelte Unterrichtsmaterial, um das Löslichkeitsverhalten von Stoffen über Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen zu begründen?“

Diese Forschungsfragen werden im Zuge der nachfolgenden Kapitel beantwortet. Die Datenanalyse erfolgt über die Methode der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse in Anlehnung an Mayring (2015). Die folgenden Unterkapitel thematisieren alle wesentlichen

Grundlagen, um das methodische Vorgehen bei der Datenauswertung und -interpretation nachvollziehen zu können.

4.1 Erhebungsmethode

Dieses Kapitel stellt das Forschungsfeld sowie die Methode der Datenerhebung vor. Die Unterrichtsdurchführungen wurden zeitlich versetzt in drei unterschiedlichen Klassen der 11. Schulstufe einer Wiener AHS durchgeführt. Die Unterrichtsdurchführungen erfolgten im Rahmen mehrerer Unterrichtseinheiten an verschiedenen Tagen. Aus diesem Grund variierte die Anzahl der anwesenden Schüler*innen. Für die Evaluierung der Lernumgebung habe ich ausschließlich schriftliche Daten ausgewertet und analysiert. In *Tabelle 7* ist unter der Kategorie *Klassengröße* die Gesamtzahl der Schüler*innen der entsprechenden Klasse angeführt. Die Eintragungen von der dritten bis zur siebten Spalte zeigen, wie viele Daten jeweils vorliegen. Die Anzahl vorliegender Daten entspricht nicht der Anzahl an Schüler*innen in einer Klasse, weil nicht alle Schüler*innen anwesend waren oder Dokumente abgaben. Das Geschlecht der Schüler*innen wurde nicht erhoben.

	Klassen- größe	Feedback- tafeln	Entwurfs- protokolle	Finale Protokolle	Concept Cartoons
1. Unterrichtsdurchführung Jänner 2021	12	10	8	7	10
2. Unterrichtsdurchführung Februar 2021	18	17	16	13	13
3. Unterrichtsdurchführung Juni 2021	20	19	16	11	17
Gesamt	50	46	40	31	40

Tabelle 7: Forschungsfeld (eigene Darstellung)

Die Schüler*innen aller drei Unterrichtsdurchführungen waren im zweiten Lernjahr des Chemieunterrichts in der Oberstufe. Alle Schüler*innen hatten im ersten Lernjahr (Schuljahr 2019/2020) etwas mehr als ein Semester 14-tägigen Laborunterricht. Im restlichen Schuljahr fand aufgrund der Covid-19-Pandemie kein regelmäßiger Laborunterricht mehr statt. Die Schüler*innen der ersten beiden Unterrichtsdurchführungen hatten in ihrem gewählten Schulzweig aufgrund schulinterner Regelungen im Schuljahr 2020/2021 keinen Laborunterricht mehr. Die Lernenden der dritten Unterrichtsdurchführung experimentierten in

diesem Schuljahr im Rahmen des Laborunterrichts. Dieses Experimentieren fand aufgrund pandemiebedingter Regelungen allerdings nicht regelmäßig statt.

Im Rahmen der Unterrichtsdurchführungen wurden Daten ausschließlich in schriftlicher Form erhoben. Der Auftrag an alle Schüler*innen lautete, sowohl ein Entwurfsprotokoll als auch in weiterer Folge eine überarbeitete Version des Protokolls zu verfassen. Darüber hinaus wurden alle Schüler*innen gebeten, schriftliches Feedback zu den zeitlichen und materiellen Rahmenbedingungen, der Sozialform und dem Forschungsprozess zu geben. Die Lernenden der ersten beiden Unterrichtsdurchführungen erhielten dafür eine Vierfeldertafel. Diese Vierfeldertafel wurde vor der letzten Unterrichtsdurchführung um zwei Felder erweitert. Die Fragen „*Wie bist du mit Herausforderungen umgegangen?*“ und „*Was möchtest du noch sagen?*“ wurden mit diesen beiden zusätzlichen Feldern hinzugefügt. Aufgrund der Erweiterung der Vierfeldertafel habe ich diese in eine Feedbacktafel umbenannt. Die Schüler*innen der dritten Unterrichtsdurchführung arbeiteten mit der Feedbacktafel, die in *Abbildung 9* dargestellt ist.

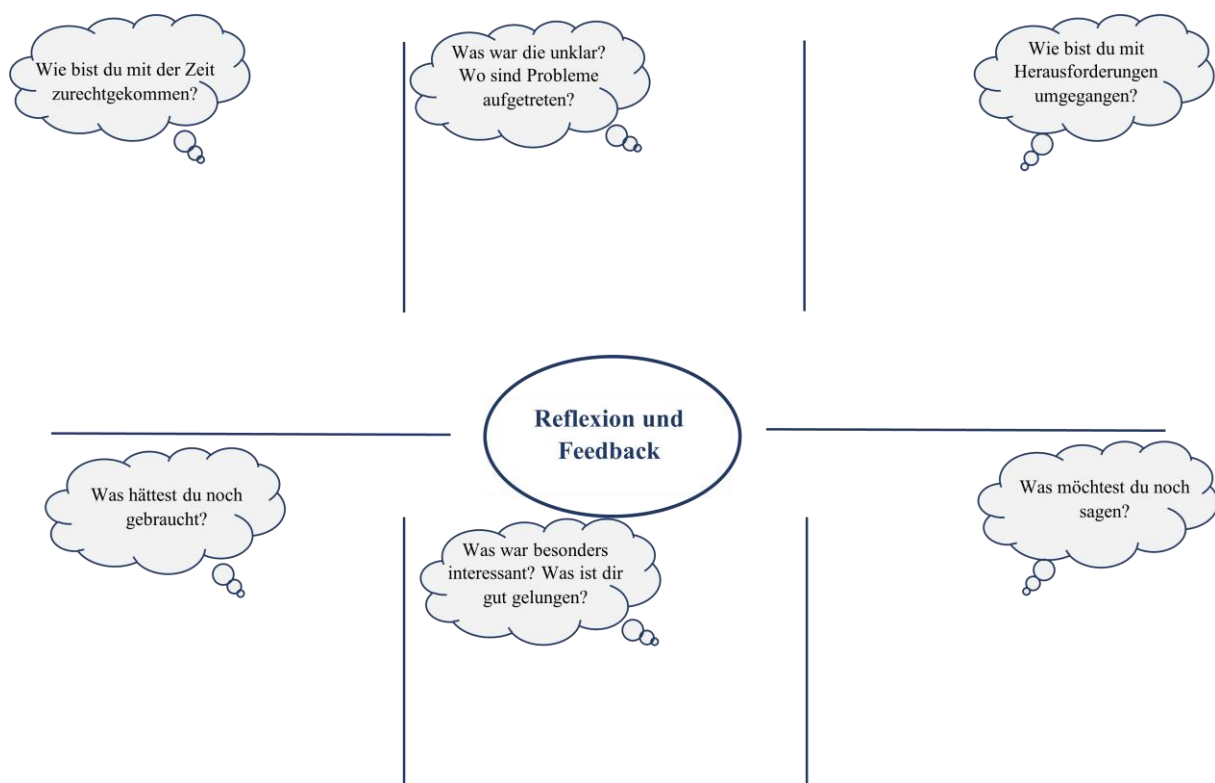


Abbildung 9: Feedbacktafel (eigene Darstellung)

Zum Abschluss der Unterrichtseinheiten formulierten die Schüler*innen schriftliche Stellungnahmen zu den Aussagen eines Concept Cartoons. Dieser Concept Cartoon wird im Kapitel 4.2.1 *Beschreibung des Unterrichtsmaterials* beschrieben.

Der genaue Zeitpunkt der Abgabe der jeweiligen Daten ist Kapitel 4.2 *Beschreibung der Lernumgebung und Beantwortung der ersten Forschungsfrage* zu entnehmen. Aufgrund der unterschiedlichen Unterrichtsmodi erhielt ich die Daten in unterschiedlichen Formaten. Es liegen handschriftlich geschriebene Daten in Papierform sowie in Form von Fotos vor. Zusätzlich gibt es Daten in Form von PDF- oder Word-Datei.

4.2 Beschreibung der Lernumgebung und Beantwortung der ersten Forschungsfrage

Die Datenauswertung und -interpretation im Sinne Mayrings (2015) verlangen eine genaue Beschreibung des Materials, das Gegenstand der Analyse ist. Deshalb stellt dieses Kapitel die Lernumgebung vor und erläutert den Kontext, in welchem diese Lernumgebung eingesetzt wurde. Im Detail wird die Lernumgebung der letzten Unterrichtsdurchführung vorgestellt, wobei auch Rückblicke auf vorangegangene Unterrichtsdurchführungen gegeben werden.

Der Begriff der Lernumgebung umfasst das Unterrichtsmaterial inklusive Unterstützungsangebot. Die Lernumgebung soll die Schüler*innen unterstützen, das Löslichkeitsverhalten ausgewählter Inhaltsstoffe einer flüssigen Haarkur über Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen zu erklären. Diese fachlichen Grundlagen erarbeiten die Schüler*innen über Forschendes Lernen. Darüber hinaus zählt Informationsmaterial zur anschließenden Aufarbeitung der Erkenntnisse aus dem Forschungsprozess zum Unterrichtsmaterial. Ein Concept Cartoon, worauf im Kapitel 4.2.1 *Beschreibung des Unterrichtsmaterials* näher eingegangen wird, dient als Anlass für formatives Assessment, um Schüler*innenvorstellungen zu erheben. Ich selbst habe alle Unterrichtsdurchführungen geleitet, weshalb auch meine Interventionen während dieser Unterrichtsdurchführungen als Einflussfaktor auf die Lernumgebung zu berücksichtigen sind.

Die entwickelte Lernumgebung stellt durch die Thematisierung eines bekannten Phänomens für Schüler*innen einen Alltagsbezug im Rahmen des Forschenden Lernens dar. Ein Ziel ist, dass die Schüler*innen im Rahmen der Unterrichtsdurchführungen die Besonderheiten Forschenden Lernens an einem konkreten Beispiel erfahren. Diese Besonderheiten werden im Kapitel 1.1 *Besonderheiten Forschenden Lernens* beschrieben.

Die eigenständige Formulierung von Hypothesen, die Planung und Durchführung von Untersuchungen sowie das Ziehen von Schlüssen sollen Schüler*innen praktische Erfahrungen im Forschungsprozess ermöglichen. Das Aufstellen und Weiterentwickeln von Hypothesen sowie die Formulierung vorläufiger und überarbeiteter Schlussfolgerungen sollen Schüler*innen die Möglichkeit bieten, zu erleben, wie Prozesse naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung ablaufen und dass diese durch eine stetige Weiterentwicklung geprägt sind. Anhand dieser Forschungsprozesse sollen sich die Schüler*innen neues Fachwissen aneignen, um für sie relevante Fragestellungen beantworten zu können.

Die erste Forschungsfrage *„Wie kann eine Lernumgebung gewinnbringend gestaltet werden, um das Prinzip „Ähnliches löst Ähnliches“ anhand von Alltagsprodukten im Zuge Forschenden Lernens mit Schüler*innen der Sekundarstufe II zu erarbeiten?“* wird im Sinne der Design-Based Research-Methode anhand der Beschreibung eigener Erfahrungen beantwortet.

4.2.1 Beschreibung des Unterrichtsmaterials

Dieses Kapitel beschreibt das Unterrichtsmaterial in seiner letzten Version. Es werden vereinzelt Rückblicke in das Material vorangegangener Unterrichtsdurchführungen gegeben. Diese Rückblicke sollen der Leser*innenschaft einen Einblick in den Entwicklungsprozess des Unterrichtsmaterials geben. Sie sind wesentlich, um die Datenauswertung in späteren Kapiteln für alle Unterrichtsdurchführungen nachvollziehbar zu machen. Insgesamt wurde das Unterrichtsmaterial in drei Unterrichtsdurchführungen eingesetzt, evaluiert und überarbeitet. Diese mehrmaligen Unterrichtsdurchführungen stellen die Reliabilität sicher.

Das Unterrichtsmaterial besteht aus dem Arbeitsmaterial, dem Informationsmaterial und einem Concept Cartoon. *Abbildung 10* stellt eine Übersicht über das Unterrichtsmaterial dar.

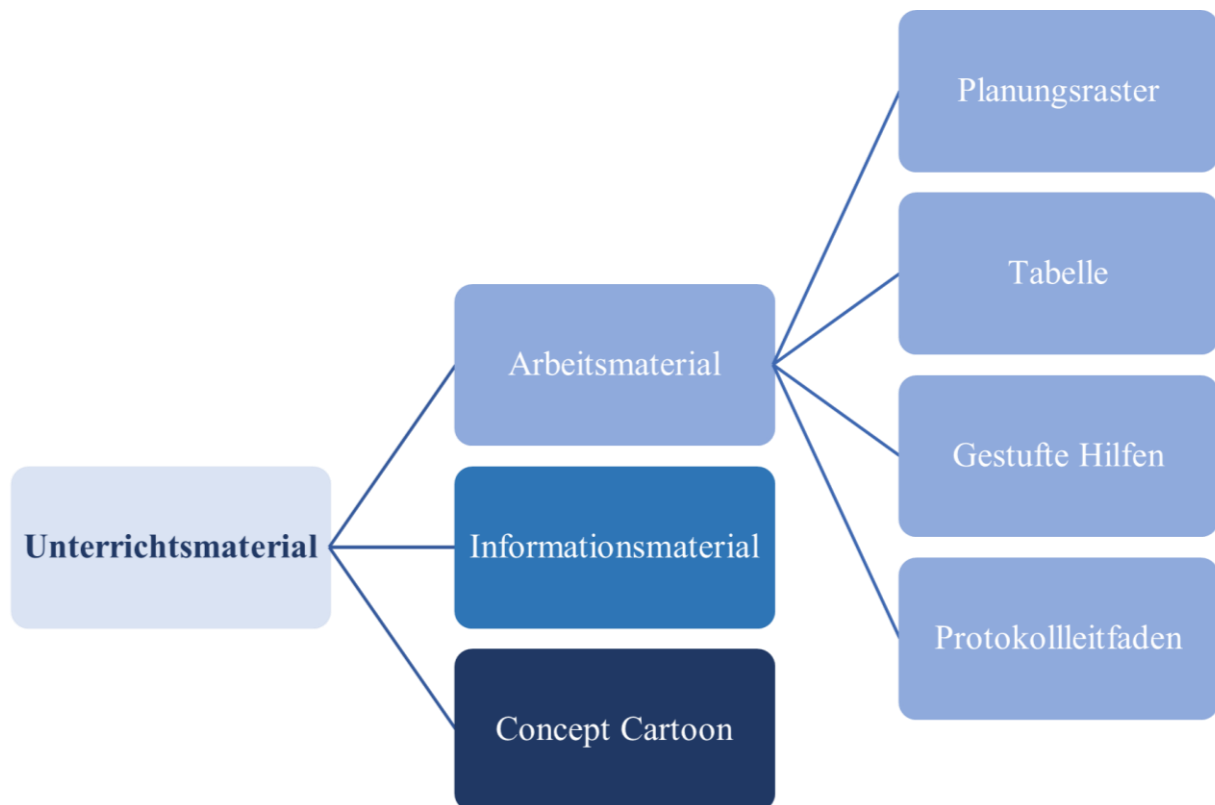


Abbildung 10: Überblick über das Unterrichtsmaterial (eigene Darstellung)

Arbeitsmaterial für das Forschende Lernen

In dieser vorläufig letzten Version der Lernumgebung erhalten die Schüler*innen zu Beginn des Forschungsprozesses das Arbeitsmaterial für das Forschende Lernen. Im Fokus der Einheit steht das Löslichkeitsverhalten ausgewählter Inhaltsstoffe einer flüssigen Haarkur.

Das Arbeitsmaterial besteht aus einem Planungsraster, einer Tabelle mit ausgewählten Inhaltsstoffen und Molekülstrukturen, Gestuften Hilfen sowie einem Protokollleitfaden.

Die erste Seite des Arbeitsmaterials umfasst die Forschungsfrage und die konkrete Aufgabenstellung. Die nachfolgenden Seiten beinhalten einen Planungsraster sowie einen Protokollleitfaden. Im Anschluss ist eine Tabelle beigelegt, welche die Molekülstrukturen relevanter Inhaltsstoffe der flüssigen Haarkur anführt. Diese Abschnitte beschreiben im Folgenden das Arbeitsmaterial detailliert. Das komplette Arbeitsmaterial ist dem Anhang beigelegt.

Der erste Absatz des Arbeitsmaterials knüpft an das Vorwissen und die Alltagserfahrungen der Schüler*innen an. Dieser Absatz thematisiert die Ausbildung zweier Phasen bei Kosmetikprodukten, wie beispielsweise bei flüssigen Haarkuren oder Gesichtereinigungsmitteln. Im Anschluss sind die Forschungsfrage sowie die

Aufgabenstellung angeführt. *Abbildung 11* zeigt einen Auszug der ersten Seite des Arbeitsmaterials. Zusätzlich zur Aufgabenstellung sind Fotos beigefügt, welche die Phasenbildung innerhalb der flüssigen Haarkur zeigen. Zusätzlich ist auch das Etikett der Inhaltsstoffe der flüssigen Haarkur abgebildet.

Forschungsfrage:

Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander lösen?

Aufgabenstellung:

Seht euch die Inhaltsstoffe der Haarkur auf dem Etikett an. Einige davon sind am Materialtisch verfügbar. Erforscht, welche Stoffe sich in der einen Phase lösen und welche in der anderen Phase, bzw. welche Stoffe sich nicht ineinander lösen!

Wie sind die Moleküle dieser Stoffe aufgebaut, lassen sich hier Regeln erkennen?

Protokolliert eure Hypothese, Planung, Durchführung, Beobachtungen und Schlussfolgerungen.

Arbeitet im Team!

Abbildung 11: Aufgabenstellung im Arbeitsmaterial (eigene Darstellung)

Planungsraster

Im Planungsraster, welcher in *Abbildung 12* dargestellt ist, wird die Forschungsfrage erneut angeführt. Darunter formulieren die Schüler*innen ihre Hypothese(n) und planen, wie sie diese Hypothese(n) anhand von Untersuchungen überprüfen möchten. In einem weiteren Feld notieren die Schüler*innen die benötigten Materialien und Chemikalien. Abschließend können die Schüler*innen einen möglichen Unterstützungsbedarf formulieren. Unter dem Punkt *Unterstützung* sollen die Lernenden bei der konkreten Unterrichtsdurchführung auch eintragen, inwiefern sie Unterstützungsmaterial genutzt haben.

Planungsraster	
	Forschungsfrage (Was wollen wir erforschen?) Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander lösen?
	Hypothese (Was vermuten wir?)
	Versuchsaufbau und geplante Versuchsdurchführung (Wie können wir unsere Hypothese überprüfen?)
	Materialliste (Welche Chemikalien/Materialien brauchen wir?)
	Unterstützung (Wobei brauchen wir Unterstützung? Welche Tippkarten haben wir verwendet?)

Abbildung 12: Planungsraster (eigene Darstellung)

Tabelle ausgewählter Inhaltsstoffe und Molekülstrukturen

Dem Planungsraster ist eine Tabelle beigelegt, in welcher die Molekülstrukturen zu ausgewählten Inhaltsstoffen der flüssigen Haarkur aufgelistet sind. Diese Inhaltsstoffe stehen den Schüler*innen am Materialtisch zur Verfügung. Diese Tabelle wurde auf Basis der Erkenntnisse der vorangegangenen Unterrichtsdurchführungen weiterentwickelt. Ein Auszug dieser weiterentwickelten Tabelle ist in *Abbildung 13* angeführt.

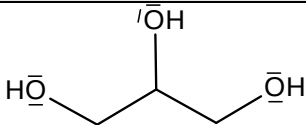
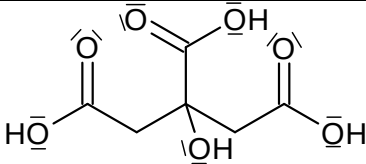
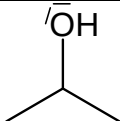
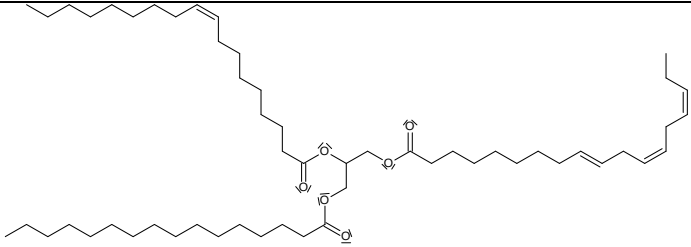
Tabelle mit Strukturformeln	
Name des Inhaltsstoffes	Strukturformel (Molekülstruktur)
Glycerin (IUPAC: Propan-1,2,3-triol)	
Zitronensäure (IUPAC: 2-Hydroxypropan-1,2,3-tricarbonsäure)	
Propan-2-ol (laut Etikett: Isopropyl Alkohol)	
Olea Europaea Fruit Oil (Olivenöl) Beispielhafte Molekülstruktur	

Abbildung 13: Tabelle mit Strukturformeln (eigene Darstellung)

Um die nachfolgenden Kapitel zu verstehen, ist es wesentlich zu erwähnen, dass in den Tabellen der vorangegangenen Unterrichtsdurchführungen andere Stoffe angeführt waren als in der letzten Version. Die Auflistung anderer Stoffe und Molekülstrukturen ist darauf zurückzuführen, dass die ersten beiden Unterrichtsdurchführungen nicht (vollständig) im Präsenzunterricht stattfinden konnten. Die Schüler*innen experimentierten daher mit ausgewählten Haushaltschemikalien. Das Experimentieren mit Haushaltschemikalien bedeutete auch, dass den Schüler*innen keine Reinstoffe zur Verfügung standen.

Eine interessante Weiterentwicklung der Tabelle zeigt sich in der Darstellung der Strukturformeln. In den Vorgängerversionen der Tabelle wurden jeweils die Kohlenstoffatome sowie die daran gebundenen Wasserstoffatome an den Enden der Kohlenwasserstoffkette wie bei einer Halbstrukturformel gezeichnet. Die restliche Kohlenwasserstoffkette wurde hingegen über eine Skelettformel dargestellt. Diese Darstellung der Molekülstruktur ist exemplarisch an einem Triglycerid in *Abbildung 14* abgebildet. Die Weiterentwicklung der Tabelle basiert auf der Datenauswertung aus

Kapitel 5.2 Dritte Forschungsfrage – Nutzung des Unterrichtsmaterials durch die Schüler*innen. Im Rahmen dieser Datenauswertung zeigten sich in den Aussagen der Schüler*innen unangemessene Vorstellungen, welche auf die Darstellung der Strukturformeln in der Tabelle zurückzuführen sind. Die Aussage „Aufgrund der Analyse der angehängten Tabelle haben wir geschlossen, dass Stoffe, welche ein CH_3 -Molekül besitzen, nicht in Wasser (unter Normalbedingungen) lösbar sind.“ (Protokoll Entwurf_2. Durchgang (1), Pos. 7) ist ein Beispiel für eine solche Vorstellung.

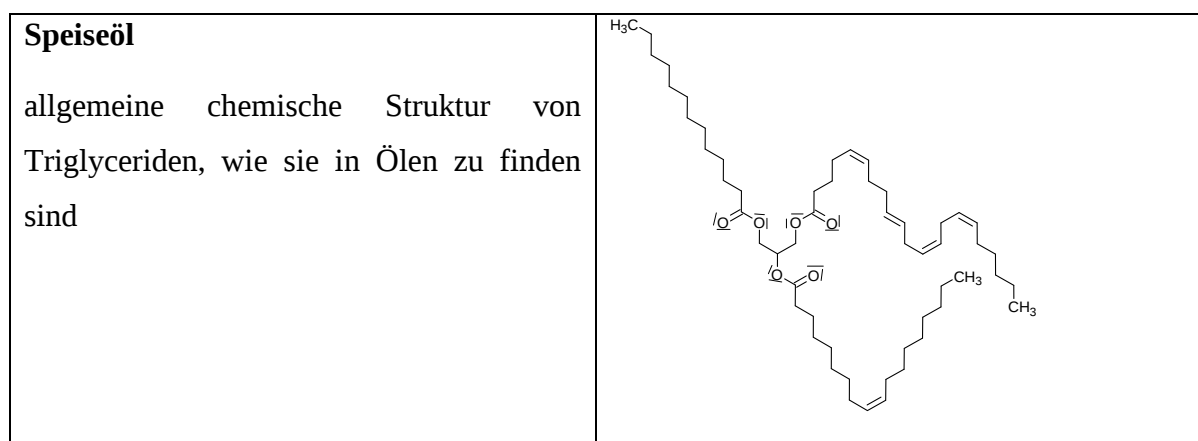


Abbildung 14: Vorstufe Tabelle mit Strukturformeln (eigene Darstellung)

Die in Abbildung 13 und Abbildung 14 dargestellten Strukturformeln wurden über das Programm ChemSketch gezeichnet. Eine Kontrolle erfolgte über die Website PubChem.¹

Gestufte Hilfen

Als weiteres Unterstützungsangebot stehen Gestufte Hilfen zur Verfügung. Diese orientieren sich in ihrem Aufbau an Hänze et al. (2010, S. 64 f) sowie Goldmann und Leisen (2003, S. 1). Der Aufbau Gestufter Hilfen wird im Kapitel 1.4 Planung Forschenden Lernens durch die Lehrperson beschrieben. Für die Unterrichtsdurchführungen werden diese Gestuften Hilfen als Tippkarten bezeichnet.

Die Gestuften Hilfen zeichnen sich durch ein mehrfaches Differenzierungsangebot aus. Mit aufsteigender Nummer werden die Tipps konkreter. Für alle Gestuften Hilfen dieser Unterrichtsdurchführungen gilt, dass auch innerhalb der Gestuften Hilfe eine Differenzierung möglich ist.

¹ <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

Tipp 1 erklärt die Aufgabenstellung in vereinfachten Worten. Tipp 2 bezieht sich auf die Versuchsplanung. Exemplarisch ist Tipp 2 in *Abbildung 15* dargestellt. Die drei Spalten, die in *Abbildung 15* dargestellt sind, sind für die Schüler*innen hintereinander geheftet, sodass zwischen jeder Seite umgeblättert werden kann. Auf der ersten Seite sind die Nummer und das Thema des Tipps angegeben. Auf der zweiten Seite ist ein Denkanstoß bezüglich einer möglichen Vorgehensweise angeführt. Die zweite Tippkarte beispielsweise fordert die Schüler*innen dazu auf, sich eine Dokumentationsmethode für ihre Untersuchungen zu überlegen. Die letzte Seite liefert einen konkreten Vorschlag für die Lernenden. Beispielsweise gibt Tipp 2 den Lernenden den Hinweis, jeweils zu versuchen, zwei Stoffe zu mischen und auf eine mögliche Phasenbildung zu achten.

Tipp 2 Versuchsplanung 	Überlegt euch eine Methode, um zu dokumentieren, welche Stoffe sich ineinander lösen und welche nicht. Tipp 2 	Es wäre eine Möglichkeit, jeweils zwei Stoffe miteinander zu vergleichen, indem überprüft wird, ob sich beim Mischen zwei Phasen ausbilden. Tipp 2 
--	--	---

Abbildung 15: Gestufte Hilfen Tipp 2 (eigene Darstellung)

Tipp 3 und Tipp 4 unterstützen die Schüler*innen im Umgang mit Beobachtungsschwierigkeiten und Problemen bezüglich der Versuchsauswertung. In *Abbildung 16* ist Tipp 5 angeführt. Diese Gestufte Hilfe gibt den Schüler*innen Unterstützung beim Finden und Formulieren einer Schlussfolgerung. Durch Zuhilfenahme aller Gestuften Hilfen wird das Forschende Lernen maßgeblich vereinfacht. Die für die Lernumgebung gestalteten Gestuften Hilfen bieten den Schüler*innen eine Vereinfachung des Forschenden Lernens bis zu Level 0.

Tipp 5 Schlussfolgerung 	Welche Schlüsse könnt ihr aus euren Beobachtungen und der Versuchsauswertung ziehen? Ihr könnt auch Tipp 4 verwenden! Tipp 5 	Die Löslichkeit von Stoffen hängt mit der Struktur ihrer Moleküle zusammen. Es gilt: „Ähnliches löst Ähnliches“. Die Moleküle der untersuchten Stoffe, die sich in der wässrigen Phase lösen, weisen zumindest eine OH-Gruppe auf. Die Moleküle der Stoffe, die sich in Silikonöl lösen, weisen keine OH-Gruppe auf. Tipp 5 
--	---	--

Abbildung 16: Gestufte Hilfen Tipp 5 (eigene Darstellung)

Die Schüler*innen der ersten Unterrichtsdurchführung hatten nur vier Gestufte Hilfen zur Verfügung und gaben vereinzelt an, dass sie mehr Unterstützung für die Schlussfolgerung gebraucht hätten, um die ihnen gestellte Forschungsfrage zu beantworten. Beispielsweise wurde auf die Frage, was die Schüler*innen noch gebraucht hätten, mit der Aussage „Zumindest ein paar Tipps, worauf man bei den Strukturformeln achten soll bzw. eine ungefähre Richtung für die Ergebnisse und Schlussfolgerungen.“ (Vierfeldertafel_2. Durchgang (4), Pos. 9) geantwortet. Aufgrund des Wunsches einzelner Lernender nach mehr Unterstützung wurde dem Unterrichtsmaterial eine fünfte Tippkarte hinzugefügt.

Protokollleitfaden

Das Arbeitsmaterial für das Forschende Lernen beinhaltet auch einen Protokollleitfaden. Dieser Protokollleitfaden ist in *Abbildung 17* dargestellt. Unter der Überschrift *Tatsächliche Versuchsdurchführung* können die Schüler*innen eine von der Planung abweichende Vorgehensweise anführen. Im Anschluss dokumentieren die Schüler*innen Beobachtungen zu den Untersuchungen. Darauf aufbauend ziehen die Schüler*innen unter der Überschrift *Schlussfolgerungen* Schlüsse aus ihren Untersuchungen. In diesem Feld werden mögliche Antworten auf die Forschungsfrage sowie möglich Änderungen und Neuformulierungen der Hypothese eingetragen. Sofern während des Forschungsprozesses weiterführende Fragen auftreten, werden diese in der letzten Zeile des Protokollleitfadens angeführt.

Protokoll	
	Tatsächliche Versuchsdurchführung <i>(Wie haben wir gearbeitet? Wo sind wir von der Planung/den Materialien abgewichen? Sind Probleme aufgetreten? Wenn ja, welche?)</i>
	Beobachtungen <i>(Notiert eure Beobachtungen während der Versuchsdurchführung.)</i>
	Schlussfolgerung <i>(Wurde die Forschungsfrage beantwortet? Wenn ja, wie? Wenn nein, was müsst ihr an eurer Versuchsdurchführung verändern? Wurde eure Hypothese bestätigt? Gebt eure Quellen an, wenn ihr etwas recherchiert habt!)</i>
	Weiterführende Fragestellungen <i>(Haben sich neue Fragen ergeben? Wenn ja, welche?)</i>

Abbildung 17: Protokollleitfaden (eigene Darstellung)

Informationsmaterial zur Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen

Im Rahmen der Extend-Phase erfolgt eine Aufarbeitung der vorläufigen Schlussfolgerungen des Forschenden Lernens. Diese Aufarbeitung ist die Grundlage für die nachfolgende Einführung zwischenmolekularer Wechselwirkungen. Eine genaue Beschreibung dieser Phase ist unter 4.2.2 *Beschreibung der Unterrichtsdurchführungen* nachzulesen. Zur Einführung in das Thema der zwischenmolekularen Wechselwirkungen stehen den Schüler*innen das Schulbuch sowie zusätzliches Informationsmaterial zur Verfügung. Dieses Informationsmaterial wird im Folgenden beschrieben.

Die erste Seite des Informationsmaterials beinhaltet den Verweis auf eine Animation zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen von Wacker Chemie (2020). Die Schüler*innen erreichen diese über den Link oder das Scannen eines QR-Codes. *Abbildung 18* zeigt den Verweis auf jene Animation.

Zwischenmolekulare Wechselwirkungen ...

... sind Kräfte, die zwischen Molekülen wirken.



Im Video „Intermolekulare Wechselwirkungen“ siehst du von 0:50 bis 2:18 eine Animation zu Wechselwirkungen zwischen unpolaren Molekülen. Von 3:08 bis 3:30 sind Dipol-Dipol-Wechselwirkungen, von 3:30 bis 4:58 sind Wasserstoffbrücken veranschaulicht:



<https://www.youtube.com/watch?v=5NWZQ4To5Ug&t=436s>

Abbildung 18: Animation zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen (eigene Darstellung)

Im Anschluss an diesen Verweis folgt eine tabellarische Kurzübersicht zu den unterschiedlichen zwischenmolekularen Wechselwirkungen. Diese Kurzübersicht soll die Inhalte des dazugehörigen Kapitels im Schulbuch zusammenfassen. Sie stellt die Bedingungen für die Ausbildung sowie die Stärke zwischenmolekularer Wechselwirkungen gegenüber. *Abbildung 19* zeigt diese Kurzübersicht.

Tipp:

Zwischenmolekulare Wechselwirkungen sind schwächere Kräfte als Bindungskräfte. Sie werden in Abbildungen strichliert dargestellt. In einigen Büchern ist von „Wasserstoffbrückenbindungen“ die Rede, obwohl es sich nicht um eine Bindung handelt. Am besten ist es daher, du sagst „**Van-der-Waals-Kräfte**“, „**Dipol-Dipol-Wechselwirkungen**“ und „**Wasserstoffbrücken**“.

	Wann bilden sich zwischenmolekulare Wechselwirkungen aus?	Wie stark wirken diese zwischenmolekularen Wechselwirkungen?
Van-der-Waals-Kräfte...	... treten immer auf.	... wirken schwach. (Van-der-Waals-Kräfte wirken umso stärker, je größer Moleküle sind bzw. je größer die Masse der Moleküle ist.)
Dipol-Dipol-Wechselwirkungen...	... bilden sich zwischen einem positiv polarisierten Atom und einem negativ polarisierten Atom aus.	... wirken stärker.
Wasserstoffbrücken...	...bilden sich zwischen einem positiv polarisierten Wasserstoff-Atom und einem <u>freien Elektronenpaar</u> eines stark negativ polarisierten Atoms aus.	... wirken am stärksten. (Starke Wasserstoffbrücken bilden sich zwischen einem positiv polarisierten Wasserstoffatom und einem <u>freien Elektronenpaar</u> eines Fluor-, Sauerstoff- oder Stickstoff-Atoms aus.)

Abbildung 19: Kurzübersicht zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen (eigene Darstellung in inhaltlicher Anlehnung an Magyar et al. (2015, S. 32) und Riedel (2019, S. 138))

Die zweite Seite des Informationsmaterials thematisiert den Einfluss zwischenmolekularer Wechselwirkungen auf die physikalischen Eigenschaften von Stoffen. Im Anschluss werden die Begriffe hydrophil, hydrophob, lipophil und lipophob eingeführt.

Anhand der Molekülstruktur von Hexan-1-ol wird erklärt, dass innerhalb eines Moleküls sowohl polare als auch unpolare Gruppen vorliegen können. Ein Ausschnitt dieses Anwendungsbeispiels ist in *Abbildung 20* dargestellt. Die genaue Betrachtung der Molekülstruktur liefert den Schüler*innen eine Begründung auf Teilchenebene für das

Löslichkeitsverhalten von Hexan-1-ol in Wasser. Dieses Anwendungsbeispiel knüpft direkt an die Erfahrungen der Schüler*innen an, weil zu Beginn der Extend-Phase ein Demonstrationsversuch zum Löslichkeitsverhalten unterschiedlicher Alkohole in Wasser durchgeführt wurde. Eine nähere Beschreibung zu dieser Unterrichtssequenz ist im Kapitel 4.2.2 *Beschreibung der Unterrichtsdurchführungen* nachzulesen.

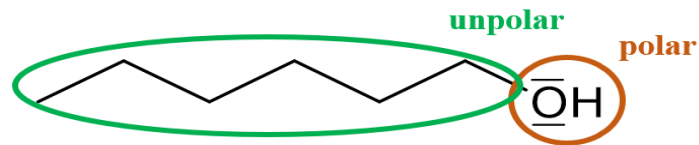


Abbildung 20: Anwendungsbeispiel Hexan-1-ol (eigene Darstellung)

Concept Cartoon

Zum Abschluss der Unterrichtsdurchführung wurde ein Concept Cartoon als Instrument formativen Assessments eingesetzt. In einem Concept Cartoon sind mehrere Personen abgebildet, welchen mögliche Erklärungen zu einer alltagsbezogenen naturwissenschaftlichen Fragestellung in Sprechblasen zugeordnet werden (vgl. Keogh & Naylor, 1999, S. 431 f). Eine solche Fragestellung bezeichnet Steininger (2017) als „des Fragens würdig“ (S. 5). Die Sprechblasen beinhalten sowohl wissenschaftlich angemessene Aussagen als auch jene, welche Präkonzepte von Lernenden widerspiegeln (vgl. Keogh & Naylor, 1999, S. 431 f).

Concept Cartoons werden unter anderem dafür verwendet, um Wissen und Vorstellungen Lernender im Anschluss an eine Unterrichtseinheit zu ermitteln (vgl. Chin & Teou, 2009, S. 1310; vgl. Steininger, 2017, S. 10). Lernende können einerseits ihre eigenen Ansichten in eine Diskussion einbringen, andererseits erhalten sie dabei auch Rückmeldungen durch Mitschüler*innen. Eine Diskussion eröffnet die Möglichkeit, den eigenen Wissensstand und den persönlichen Lernprozess zu reflektieren (vgl. Chin & Teou, 2009, S. 1308 ff).

Der Concept Cartoon, welcher als formatives Assessment für die Unterrichtsdurchführungen dient, wurde zwischen jeder Unterrichtsdurchführung weiterentwickelt. Ziel des Einsatzes des Concept Cartoons ist es, die Vorstellungen und das Wissen der Schüler*innen im Anschluss an die Unterrichtsdurchführung zu erheben. Im Folgenden wird die letzte Version des Concept Cartoons beschrieben. Die Vorgängerversionen sind dem Kapitel 4.2.2 *Beschreibung der Unterrichtsdurchführungen* beigelegt.

Abbildung 21 zeigt die weiterentwickelte Version des Concept Cartoons. Die Illustration stammt von Reinhart Sellner. Rosina Steininger (o.J., unveröffentlicht) konzipierte die

Fragestellung sowie die ursprünglichen Aussagen des Concept Cartoons. Sie erteilte ihr Einverständnis zur Weiterentwicklung der Aussagen und zum Einsatz des Concept Cartoons im Rahmen der Unterrichtsdurchführungen. Während der Weiterentwicklung des Concept Cartoons für diese konkrete Unterrichtsdurchführung wurden die Aussagen in den Sprechblasen im Vergleich zum Original teilweise übernommen, adaptiert oder vollständig ausgetauscht.

Im Rahmen der Unterrichtsdurchführungen tauschen sich die Schüler*innen in Kleingruppen zu den unterschiedlichen Aussagen im Concept Cartoon aus. Im Anschluss formulieren die Schüler*innen selbstständig zu mindestens zwei freigewählten Aussagen schriftliche Stellungnahmen. Die Tatsache, dass die Lernenden lediglich zu mindestens zwei von vier Aussagen Stellung nehmen sollen, ist auf die zeitlichen Rahmenbedingungen zurückzuführen.

Warum löst sich das Öl nicht im Essig der Salatmarinade?



Abbildung 21: Concept Cartoon (in Anlehnung an Steininger (o.J., unveröffentlicht))

Im Anschluss erfolgt eine kurze fachliche Klärung zu den Aussagen im Concept Cartoon. Diese fachliche Klärung dient als Grundlage für die späterfolgende Evaluierung und Interpretation der Stellungnahmen von Schüler*innen zu den Aussagen des Concept Cartoons.

Annas Aussage „Weil Essig eine wässrige Lösung und hydrophil ist, und Öl ist nicht hydrophil.“ ist angemessen.

Es wäre wünschenswert, dass die Schüler*innen Annas Aussage nicht nur als angemessen bewerten, sondern die Aussage auch begründen. Eine angemessene Begründung könnte über

eine Argumentation auf Teilchenebene erfolgen. Essig ist eine wässrige Lösung. Das Wassermolekül ist ein Dipolmolekül. Ebenso ist die Carboxy-Gruppe eines Essigsäuremoleküls polar. Zwischen Wasser- und Essigsäuremolekülen können sich neben Van-der-Waals-Kräften insbesondere auch Wasserstoffbrücken ausbilden. Triglyceride in Ölen sind allerdings sehr schwach polare Moleküle, da der unpolare Teil der veresterten Fettsäuren überwiegt. Zwischen Triglyceriden und Wasser- oder Essigsäuremolekülen bilden sich daher nur Van-der-Waals-Kräfte aus. Da Van-der-Waals-Kräfte viel schwächere zwischenmolekulare Wechselwirkungen sind als Wasserstoffbrücken, löst sich Öl kaum in Essig. Zur Vollständigkeit sei noch erwähnt, dass Wasser- oder Essigsäuremoleküle aufgrund ihres Dipolcharakters auch temporäre Dipolmomente in Triglyceriden erzeugen können. Dadurch wäre auch die Ausbildung des Induktionseffektes möglich. Der Induktionseffekt wurde allerdings in der Schule nicht thematisiert und wird daher auch nicht in möglichen Begründungen von Schüler*innen erwartet.

Lenas Aussage „*Die Moleküle im Essig und im Öl haben nicht die gleiche Polarität, deshalb kommt es zu keiner Reaktion.*“ ist nicht angemessen. Die Aussage basiert auf Äußerungen von Lernenden aus vorangegangenen Unterrichtsdurchführungen. Ein Beispiel für eine solche Äußerung ist die Schüler*innenaussage „*Essig ist polar und Öl ist unpolar, weshalb sie keine Verbindung eingehen.*“ (CoCa 1. Durchgang (3), Pos. 5). Das Kapitel 5.2 *Dritte Forschungsfrage – Nutzung des Unterrichtsmaterials durch die Schüler*innen* nimmt ausführlichen Bezug auf solche Aussagen von Lernenden.

Der erste Teil von Lenas Aussage kann als angemessen gewertet werden, wenn näher ausgeführt wird, dass sowohl Wasser- als auch Essigsäuremoleküle starke Dipolmoleküle sind. Triglyceride des Öls sind allerdings kaum polar. Die weiterführende Begründung ist analog zu jener zu Annas Aussage.

Der zweite Teil Lenas Aussage ist unangemessen. Dahinter verbirgt sich das Präkonzept, es würde sich beim Lösen zweier Stoffe um eine chemische Reaktion handeln. Eine angemessene Richtigstellung der Aussage wäre, dass beim Lösen molekularer Stoffe ein physikalischer Vorgang stattfindet. Dabei werden weder chemische Bindungen gebrochen noch neue gebildet. Wird einzig der Lösevorgang betrachtet, so kommt es zu keiner Reaktion zwischen den Molekülen unterschiedlicher molekularer Stoffe. Zwischen den Molekülen können sich zwischenmolekulare Wechselwirkungen ausbilden, wie bereits in der

Begründung zu Annas Aussage ausgeführt wurde. Zwischenmolekulare Wechselwirkungen sind allerdings viel schwächer und kurzlebiger als chemische Bindungen.

Milos Aussage „*Zwischen den großen, verzweigten Molekülen des Öls und den kleinen Molekülen des Essigs können sich keine Kräfte ausbilden.*“ ist in mehrfacher Hinsicht unangemessen. Die Aussage beruht auf Stellungnahmen und Schlussfolgerungen der Schüler*innen aus vorherigen Unterrichtsdurchführungen. Beispielsweise ist der erste Teil aus Milos Aussage auf Stellungnahmen der Art „*Die Strukturen von Fettmolekülen sind stark verzweigt und lassen sich dadurch nicht in Wasser lösen.*“ (Protokoll Entwurf_1.Durchgang (8), Pos. 7) zurückzuführen. Schüler*innenaussagen der Art „*Zwischen hydrophoben und hydrophilen Molekülen kann keine molekulare Kraft bestehen.*“ (CoCa_2. Durchgang (3), Pos. 3) lieferten die Grundlage für den zweiten Teil Milos Aussage.

Für Aussagen zum Löslichkeitsverhalten von Stoffen ist es unwesentlich, wie groß oder stark verzweigt die zugrundeliegenden Moleküle sind. Es kommt sowohl auf die Polarität der Moleküle als auch auf die Art und Stärke der zwischenmolekularen Wechselwirkungen an, die sich zwischen den Molekülen der unterschiedlichen Stoffe ausbilden können. In jedem Fall aber wirken zumindest Van-der-Waals-Kräfte zwischen Molekülen. Daher ist es unangemessen zu sagen, dass zwischen Molekülen des Essigs und des Öls keinerlei zwischenmolekulare Wechselwirkungen ausgebildet werden.

Die Aussage „*Öl hat keine OH-Gruppen, die sich im wässrigen Essig auflösen könnten.*“ ist durchwegs unangemessen und weist eine Vielzahl an unangemessenen Präkonzepten auf. Sie basiert auf Schüler*innenaussagen der vorherigen Unterrichtsdurchführungen. Die Aussage „*[...], weil Hydroxid-Gruppen wasserlöslich sind und Essig aus einem sehr hohen Anteil an Wasser besteht, somit sollten sich die OH-Gruppen auflösen. Da Öl keine OH-Gruppen hat, löst sich es nicht auf.*“ (CoCa 1. Durchgang (10), Pos. 1) ist ein Beispiel für eine solche Schüler*innenaussage.

In Alex Aussage werden Stoff- und Teilchenebene vermischt. Eine adäquate Stellungnahme zu Alex Aussage könnte damit beginnen, dass Triglyceride – nicht das Öl – in der Molekülstruktur keine Hydroxy-Gruppe aufweisen. Einzig das Vorkommen einer Hydroxy-Gruppe in einer Molekülstruktur gibt allerdings keine direkte Auskunft über das Löslichkeitsverhalten des entsprechenden Stoffes. Vielmehr kommt es auf die Ausbildung ähnlich starker zwischenmolekularer Wechselwirkungen zwischen den Molekülen des Lösemittels und des zu lösenden Stoffes an.

Der zweite Teil der Aussage thematisiert mit dem Begriff des *Auflösens* das Präkonzept, ein Stoff würde beim Lösevorgang verschwinden. Ist ein Stoff in jedem Verhältnis in einem anderen Stoff lösbar, so kommt es nicht zur Ausbildung mehrerer Phasen. Allerdings kann die Lösung mithilfe geeigneter Trennverfahren wieder in ihre ursprünglichen Bestandteile getrennt werden. Diese Vorstellung des Auflösens wird in Alex Aussage angeführt, weil Lernende der vorherigen Unterrichtsdurchführungen diese in ihren Aussagen anmerkten. Die Aussage „[...] somit sollten sich die OH-Gruppen auflösen. Da Öl keine OH-Gruppen hat, löst sich es nicht auf.“ (CoCa 1. Durchgang (10), Pos. 1) ist ein Beispiel für eine solche Schüler*innenaussage.

4.2.2 Beschreibung der Unterrichtsdurchführungen

Die Unterrichtsdurchführungen zu jeweils vier bis fünf Unterrichtsstunden erfolgten in Klassen der 11. Schulstufe. In den Unterrichtsdurchführungen wurde das Prinzip *Ähnliches löst Ähnliches* über Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen erarbeitet. Alle Unterrichtsdurchführungen orientierten sich an der im Kapitel 2.5 *Unterrichtsplanung zur entwickelten Lernumgebung* vorgestellten Planung nach dem 5E-Modell. Ich habe alle teilnehmenden Schüler*innen aller Unterrichtsdurchführungen selbst unterrichtet. Aufgrund der Covid-19-Pandemie und der damit einhergehenden Schulschließungen in Wien erfolgten die Unterrichtsdurchführungen im Distance-Learning, im Hybrid-Unterricht oder im Präsenzunterricht.

Die Unterrichtsdurchführungen dienten der Erprobung, Evaluierung und Weiterentwicklung der Unterrichtsmaterialien. Diese mehrmalige Erprobung, Evaluierung und Weiterentwicklung entspricht dem Ansatz der Design-Based Research-Methode (vgl. The Design-Based Research Collective, 2003, S. 5 ff).

Das vorliegende Kapitel beschreibt den tatsächlichen Ablauf aller drei Unterrichtsdurchführungen sowie meine persönlichen Erfahrungen im Zuge dessen. Diese Beschreibung ist für die Nachvollziehbarkeit der Beantwortung zweier Forschungsfragen in den anschließenden Kapiteln wesentlich.

Tabelle 8 zeigt einen vergleichenden Überblick aller drei Unterrichtsdurchführungen. Die erste Spalte informiert über den jeweiligen Unterrichtsmodus. Die zweite Spalte fasst den Ablauf der jeweiligen Unterrichtsdurchführung zusammen. Rechts der Tabelle werden wesentliche Veränderungen zwischen den jeweiligen Unterrichtsdurchführungen angeführt.

Erste Unterrichtsdurchführung	
<i>Modus</i> Distance-Learning 5 Unterrichtseinheiten	<i>Ablauf</i> • Forschendes Lernen mit Haushaltschemikalien • Digitaler Austausch im Plenum • Demonstrationsversuch • Informationsmaterial • Anwendungsbeispiel • Quiz zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen • Concept Cartoon
Zweite Unterrichtsdurchführung	
<i>Modus</i> Hybrid-Unterricht 5 Unterrichtseinheiten	<i>Ablauf</i> • Forschendes Lernen mit Reinstoffen bzw. Haushaltschemikalien • Austausch im Plenum • Demonstrationsversuch • Informationsmaterial • Anwendungsbeispiel • Quiz zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen • Concept Cartoon
Dritte Unterrichtsdurchführung	
<i>Modus</i> Präsenzunterricht 4 Unterrichtseinheiten	<i>Ablauf</i> • Forschendes Lernen mit Reinstoffen • Austausch im Plenum • Demonstrationsversuch • Informationsmaterial • Anwendungsbeispiel • Concept Cartoon

Weiterentwicklung Tabelle, Gestufte Hilfen, Informationsmaterial, Concept Cartoon

Weiterentwicklung Tabelle, Informationsmaterial, Concept Cartoon und Einsparung Quiz

Tabelle 8: Übersicht aller drei Unterrichtsdurchführungen (eigene Darstellung)

Erste Unterrichtsdurchführung

Die erste Unterrichtsdurchführung erfolgte im Jänner 2021 ausschließlich im Distance-Learning. Dabei habe ich die Klasse über Microsoft Teams unterrichtet. Die Unterrichtsdurchführung umfasste zwei Doppelstunden und eine Einzelstunde.

In der Engage-Phase erfolgte eine Einführung bzw. Wiederholung zu homogenen und heterogenen Gemischen mit einer Power-Point-Präsentation. Dabei wurden wesentliche Begrifflichkeiten (Reinstoff, Gemenge, Mischung, homogen, heterogen, Lösung) anhand von Alltagsbeispielen wiederholt. Am Beispiel einer Salatmarinade besprach ich mit den Schüler*innen die Ausbildung von Phasen innerhalb einer heterogenen Mischung. Anschließend thematisierte ich diese Ausbildung von Phasen am Beispiel der flüssigen Haarkur. Die Schüler*innen ermittelten über die Reihenfolge der Inhaltsstoffe am Etikett der flüssigen Haarkur die Hauptbestandteile beider Phasen. Anschließend stellte ich den Lernenden ihre Forschungsfrage „*Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander lösen?*“ und erklärte die organisatorischen Rahmenbedingungen.

Die Explore-Phase war durch eigenständiges Experimentieren der Schüler*innen mit Haushaltschemikalien geprägt. Das Arbeitsmaterial wurde für das Distance-Learning insofern abgeändert, dass die Schüler*innen nicht mit den Inhaltsstoffen der flüssigen Haarkur experimentierten, sondern mit gängigen Haushaltschemikalien. Das Arbeitsmaterial stand den Schüler*innen unter den Titeln *Forschen im Badezimmer* oder *Forschen in der Küche* in zweifacher Ausführung zur Verfügung. Die Lernenden wählten jenes Arbeitsmaterial, zu welchem ihnen eine größere Auswahl an Haushaltschemikalien zur Verfügung stand. Die Schüler*innen experimentierten je nach Arbeitsmaterial mit Hygieneprodukten aus dem Badezimmer, beispielsweise mit Haaröl, oder mit Haushaltschemikalien aus der Küche, beispielsweise mit Olivenöl. Die Gestaltung des Arbeitsmaterials war strukturell und inhaltlich konform zu jenem, das für den Präsenzunterricht vorgesehen war. Das Arbeitsmaterial unterschied sich einzig in den von den Lernenden verwendeten Alltagsprodukten.

Die Schüler*innen arbeiteten in Teams zu zwei bis drei Personen in digitalen Gruppenräumen – sogenannten Breakout Rooms. Bei der Gruppeneinteilung achtete ich darauf, dass in den Teams eine möglichst große Vielfalt an Materialien und Haushaltschemikalien zur Verfügung stand. Die Schüler*innen konnten das im Kapitel 4.2.1 *Beschreibung des*

Unterrichtsmaterials beschriebene Unterstützungsangebot sowie das Internet zur Recherche nützen. Außerdem stand ich für Fragen zur Verfügung.

Die Schüler*innen experimentierten 45 Minuten, anschließend erfolgte ein kurzer Austausch im Plenum. Dieser Austausch verfolgte das Ziel, den Schüler*innen trotz des Home-Schoolings einen strukturierten Ablauf und dadurch ein Gefühl von Orientierung zu liefern. Diese Strukturierung und Orientierung sollten den Schüler*innen ein Gefühl von Sicherheit vermitteln, sodass sie sich im Distance-Learning nicht alleingelassen fühlten. Im Anschluss an den Austausch standen den Schüler*innen weitere 15 Minuten für das Forschende Lernen zur Verfügung. Ich berücksichtigte durch diese Strukturierung die Forderung Reitingers (2013, S. 20 ff), Schüler*innen in offenen Lernsituationen Orientierung und Sicherheit zu vermitteln, um Herausforderungen positiv bewältigen zu können. Für nähere Erläuterungen sei auf das Kapitel 1.4.1 *Prinzipien für die Planung Forschenden Lernens durch die Lehrperson* verwiesen.

Zum Abschluss der Doppelstunde sollten die Lernenden ihre Hypothesen, Vorgehensweisen und vorläufigen Schlussfolgerungen stichwortartig formulieren. Diese stichwortartigen Formulierungen wurden über das Applet Padlet¹ gesammelt und visualisiert. *Abbildung 22* zeigt diese Ideensammlung der Schüler*innen. Blau hinterlegte Eintragungen sind Eintragungen von Schüler*innen, welche mit ausgewählten Haushaltschemikalien aus der Küche experimentierten. Aussagen von Schüler*innen, welche mit ausgewählten Haushaltschemikalien aus dem Badezimmer experimentierten, sind grün hinterlegt. Die Abbildung zeigt, dass die Lernenden keine Hypothesen und nur wenige Schlussfolgerungen formulierten. Bis zur nächsten Unterrichtseinheit sollte jede*r Lernende einen ersten Protokollentwurf sowie ein Feedback zum Forschenden Lernen schreiben.

¹ www.padlet.com

Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander lösen?



Abbildung 22: Ideensammlung erste Unterrichtsdurchführung (eigene Darstellung erstellt über www.Padlet.com)

Im Rahmen der Explain-Phase zeigte ich mithilfe eines Padlets die Schlussfolgerungen der Lernenden, welche ich bereits im Vorfeld aus den Entwurfsprotokollen gesammelt hatte. Im gemeinsamen Unterrichtsgespräch clusterten die Schüler*innen diese Sammlung, indem ähnliche Schlussfolgerungen einander zugeordnet wurden. *Abbildung 23* zeigt diese Clusterung an vorläufigen Schlussfolgerungen.

Sammlung erster Schlussfolgerungen zum Forschenden Lernen

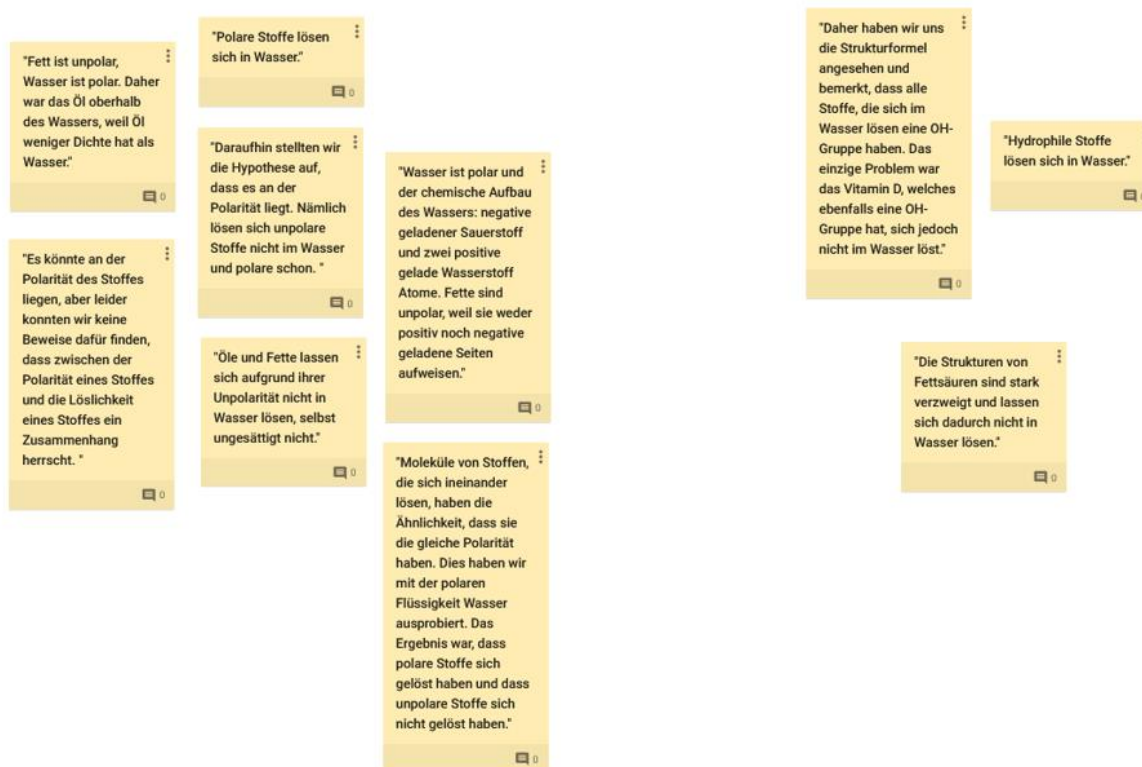


Abbildung 23: Sammlung erster Schlussfolgerungen erste Unterrichtsdurchführung (erstellt über www.padlet.com)

Im Rahmen des Unterrichtsgesprächs stellten die Schüler*innen die Frage, weshalb sich Vitamin D kaum in Wasser lösen lässt, obwohl eine Hydroxy-Gruppe in der Molekülstruktur enthalten ist. Zur Klärung dieser Frage zeigte ich die Molekülstruktur von Vitamin D und Zitronensäure im Vergleich, um den Lernenden einen Hinweis auf die Argumentation über die Polarität zu liefern. Im Gespräch mit den Schüler*innen hatte ich persönlich den Eindruck, dass diese Frage sehr anspruchsvoll war. Ich verschob die Beantwortung der Frage auf einen späteren Zeitpunkt, zu welchem die Schüler*innen bereits ein umfangreicheres Fachwissen erarbeitet haben sollten.

In der darauffolgenden Einzelstunde fand die Extend-Phase statt. Im Rahmen dieser Phase zeichnete ich die Strukturformeln der Alkohole Ethanol, Propan-2-ol, Butan-1-ol, Pentan-1-ol und Hexan-1-ol an die Tafel. Die Schüler*innen äußerten Vermutungen über das Löslichkeitsverhalten dieser Alkohole in Wasser. Anschließend führte ich, wie in Kapitel 2.5 *Unterrichtsplanung zur entwickelten Lernumgebung* beschrieben, den dazugehörigen Demonstrationsversuch durch. Nach kurzer Überlegung formulierte ein Schüler sinngemäß den Schluss, dass sich einwertige Alkohole, deren Molekülstruktur eine zunehmend längere

Kohlenwasserstoffkette aufweist, schlechter in Wasser lösen. Es gelang den Schüler*innen allerdings nicht, diese sinngemäße Argumentation über die Polarität auf das Löslichkeitsverhalten von Vitamin D zu übertragen. Zum Abschluss der Unterrichtseinheit erarbeiteten die Schüler*innen die Grundlagen zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen anhand des im Kapitel 4.2.1 *Beschreibung des Unterrichtsmaterials* beschriebenen Informationsmaterials.

Der Abschluss der Extend-Phase erfolgte in der letzten Doppelstunde. In der letzten Stunde wich ich von der Planung ab, weil ich in der vorangegangenen Einheit den Eindruck hatte, dass die Definition und Unterscheidung einiger wesentlicher Begriffe (polar, unpolar, hydrophil, hydrophob, lipophil, lipophob) für die Schüler*innen sehr herausfordernd war. Ich wiederholte diese Begriffe mit den Lernenden an Beispielen. Im Anschluss füllten die Lernenden ein Quiz zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen aus, um die selbsterarbeiteten Inhalte zu sichern. Wir besprachen die Antworten im Anschluss im Plenum, sodass die Schüler*innen auch nachvollziehen konnten, ob ihre Antworten bzw. Begründungen angemessen waren. *Abbildung 24* zeigt exemplarisch ein Item aus diesem Quiz.



Erkläre bitte genau, wo du in der obigen Abbildung Wasserstoffbrücken einzeichnen würdest!

Abbildung 24: Beispielfrage aus dem Quiz zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen (eigene Darstellung)

Nach dieser Wissenssicherung klärte ich mit den Lernenden im Plenum noch offene Fragen aus den Entwurfsprotokollen. Nun konnten die Lernenden die Frage zum Löslichkeitsverhalten von Vitamin D beantworten.

Zur abschließenden Evaluierung der Vorstellungen und des Wissens der Schüler*innen tauschten sich die Lernenden in Gruppen zu vier Personen zu einem Concept Cartoon aus. Im Anschluss an den Diskurs in der Gruppe verfassten die Schüler*innen einzeln schriftliche Stellungnahmen zu zwei von ihnen freigewählten Aussagen.

Die Schüler*innen beschrieben die Unterrichtsdurchführung in einer abschließenden mündlichen Feedback-Runde als abwechslungsreich und betonten, dass Fragen ausführlich und verständlich beantwortet wurden. Außerdem gaben die Lernenden die Rückmeldung, dass das Experimentieren zu Hause Spaß gemacht hatte. Im Anschluss an die Unterrichtsdurchführung überarbeiteten die Schüler*innen ihr Entwurfsprotokoll zu einem finalen Protokoll.

Zweite Unterrichtsdurchführung

Die zweite Unterrichtsdurchführung erfolgte im Februar 2021 in hybrider Form. Die Unterrichtsdurchführung umfasste fünf Unterrichtsstunden. Aufgrund einer schulinternen Einteilung war die erste Hälfte der Klasse in der ersten Doppelstunde und der darauffolgenden Einzelstunde vor Ort. Die zweite Hälfte der Klasse war in der letzten Doppelstunde in der Schule. Im Folgenden wird die erste Hälfte der Klasse als Gruppe A, die zweite Hälfte als Gruppe B bezeichnet.

Der Präsenzunterricht für Gruppe A erfolgte sehr ähnlich zur Planung, welche im Kapitel *2.5 Unterrichtsplanung zur entwickelten Lernumgebung* beschrieben ist. Jene Schüler*innen, welche sich im Distance-Learning befanden, arbeiteten mithilfe von Arbeitsaufträgen und Videos.

Die Engage-Phase für Schüler*innen der Gruppe A erfolgte wie geplant. Inhalte, die ich im Präsenzunterricht in Interaktion mit den Schüler*innen thematisierte, bereite ich für die Schüler*innen der Gruppe B in einem Einführungsvideo auf. Durch diesen strukturell und inhaltlich ähnlichen Aufbau sollten beide Unterrichtsdurchführungen trotz unterschiedlicher Modi vergleichbar bleiben.

Die Explore-Phase beider Gruppen war durch das Forschende Lernen geprägt. Den Schüler*innen der Gruppe A standen, wie in der Planung angeführt, ausgewählte Inhaltsstoffe der flüssigen Haarkur zur Verfügung. Die Lernenden konnten das in Kapitel *4.2.1 Beschreibung des Unterrichtsmaterials* beschriebene Unterstützungsangebot nützen. Wenn Lernende Fragen stellten, so achtete ich darauf, keine direkte Antwort zu geben. Ich stellte Gegenfragen oder gab Hinweise, um die Schüler*innen dabei zu unterstützen, ihre Frage selbstständig zu beantworten. Die Schüler*innen experimentierten jeweils zu zweit oder zu dritt im Team.

Die Schüler*innen der Gruppe B arbeiteten in Breakout Rooms ebenfalls im Team. Die Arbeitsmaterialien beider Gruppen waren gleich aufgebaut. Die Schüler*innen der Gruppe B arbeiteten allerdings, ähnlich wie in der ersten Unterrichtsdurchführung, mit Haushaltschemikalien. Im Gegensatz zur ersten Unterrichtsdurchführung wurde nicht mehr zwischen Haushaltschemikalien aus dem Badezimmer und Haushaltschemikalien aus der Küche unterschieden. Das Arbeitsmaterial für das Distance-Learning trug den Titel *Forschen im Haushalt*. Die Schüler*innen beider Gruppen verfassten im Anschluss an das Forschende Lernen ein Entwurfsprotokoll sowie ein schriftliches Feedback.

Die Explain-Phase der Gruppe A begann bereits in der ersten Doppelstunde. Im Zuge dieser Phase gestalteten die Schüler*innen der Gruppe A in ihren Kleingruppen jeweils ein Flipchart. Die Schüler*innen beschrieben in Stichworten ihre Hypothese, den Aufbau ihrer Untersuchung sowie ihre Schlussfolgerung. Diese Flipcharts wurden an der Tafel befestigt, sodass sich die Lernenden einen Überblick über die Forschungsprozesse der anderen Kleingruppen verschaffen und sich darüber austauschen konnten. *Abbildung 25* zeigt ein exemplarisch ausgewähltes Flipchart einer Gruppe von Schüler*innen. Anzumerken ist, dass ich bei der Betrachtung der Flipcharts beobachtete, dass alle vier Gruppen die Hydroxy-Gruppe in der Molekülstruktur als wesentliches Merkmal erfasst hatten. Allerdings hatten diese Schlussfolgerung während des Forschenden Lernens nur drei Teams formuliert. Ich schließe daraus, dass die Schüler*innen eines Teams die Schlussfolgerung der anderen Teams kopierten.

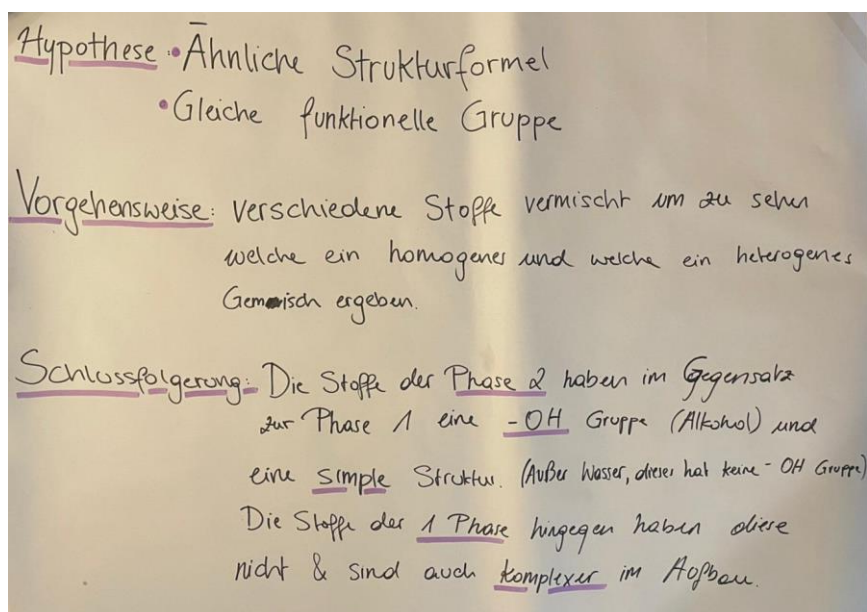


Abbildung 25: Exemplarisches Flipchart zweite Unterrichtsdurchführung Gruppe A (eigene Fotografie)

Die Lernenden der Gruppe B befassten sich als Einstieg in die Explain-Phase ebenfalls mit den vorläufigen Schlussfolgerungen aller Kleingruppen. Diese Schlussfolgerungen hatte ich bereits zuvor aus den Entwurfsprotokollen entnommen und gesammelt in einer Datei zur Verfügung gestellt. Damit verfolgte ich das Ziel, die Unterrichtseinheiten trotz des Hybrid-Unterrichts möglichst vergleichbar zu gestalten. In *Abbildung 26* ist die Sammlung der vorläufigen Schlussfolgerungen von Gruppe B visualisiert. Ein anschließender Austausch sowie eine fachliche Klärung im Plenum erfolgten im Präsenzunterricht.



Abbildung 26: Sammlung erster Schlussfolgerungen zweite Unterrichtsdurchführung Gruppe B (eigene Darstellung)

In der Extend-Phase der Gruppe A führte ich den Demonstrationsversuch zum Löslichkeitsverhalten unterschiedlicher Alkohole in Wasser, wie im Rahmen der ersten Unterrichtsdurchführung beschrieben, durch. Im Plenum kamen die Schüler*innen gemeinsam zur Ansicht, dass die Länge der Kohlenwasserstoffkette einen Einfluss auf die Löslichkeit einwertiger Alkohole in Wasser hat. Anknüpfend an diese Schlussfolgerung wiederholten wir die Begriffe „polar“ und „unpolar“. Wir wiederholten die Polarität, weil diese eine wichtige Voraussetzung ist, um die Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen zu verstehen. Darüber hinaus habe ich im Rahmen der ersten Unterrichtsdurchführung die Erfahrung gemacht, dass die Schüler*innen kein ausreichendes

Verstehen bezüglich der Polarität hatten. Wir wiederholten die Polarität anhand von beispielhaften Molekülstrukturen (H_2O , CO_2 , NH_3). Im Distance-Learning arbeiteten die Lernenden der Gruppe B mit einem Youtube-Video, das den Demonstrationsversuch zeigte. Durch die Arbeit mit dem Video verfolgte ich das Ziel, beide Unterrichtsdurchführungen vergleichbar zu gestalten. Im Anschluss erfolgte auch für die Gruppe B eine Wiederholung zur Polarität mithilfe eines von mir erstellten Erklärvideos. Dieses Erklärvideo beinhaltete dieselben Erklärungen und Beispiele, die ich auch im Präsenzunterricht gegeben wurden.

Die selbstständige Erarbeitung der zwischenmolekularen Wechselwirkungen erfolgte für beide Gruppen wie geplant mithilfe des Informationsmaterials. Im Anschluss bearbeiteten die Schüler*innen eine Anwendungsaufgabe, in der die Frage, ob sich Butan gut in Wasser löst, beantwortet und begründet werden sollte. Zusätzlich beantworteten die Lernenden, wie bereits in der ersten Unterrichtsdurchführung beschrieben, ein Quiz zu den zwischenmolekularen Wechselwirkungen.

Zum Abschluss der Unterrichtsdurchführung tauschten sich die Schüler*innen beider Gruppen in Kleingruppen zu den Aussagen eines weiterentwickelten Concept Cartoon aus. Sie formulierten einzeln zu zwei freigewählten Aussagen schriftliche Stellungnahmen. Auf Wunsch der Lernenden thematisierten wir nach dem Absammeln der Stellungnahmen die unterschiedlichen Aussagen im Concept Cartoon.

Anknüpfend an diese Phase der fachlichen Klärung beantwortete ich gemeinsam mit den Schüler*innen die Fragen, die sich diese während des Forschens zu Hause stellten und im Entwurfsprotokoll als weiterführende Fragen anführten. Die Schüler*innen überarbeiteten im Anschluss an die Unterrichtsdurchführung ihr Entwurfsprotokoll und gaben diese finalisierte Version ab.

Dritte Unterrichtsdurchführung

Die dritte Unterrichtsdurchführung fand im Juni 2021 für alle Schüler*innen im Präsenzunterricht statt und umfasste vier Unterrichtsstunden. Die erste Einheit erfolgte im Rahmen des Laborunterrichts, in dem die Klasse in zwei Gruppen geteilt war. Der restliche Unterricht wurde in der Gesamtklasse abgehalten. Die Unterrichtsdurchführung orientierte sich an der Planung, welche im Kapitel „Unterrichtsplanung“ beschrieben ist und wird deshalb im Folgenden nur kurz beschrieben.

Der Ablauf der Engage-Phase war konform zur Planung. In der Explore-Phase arbeiteten die Schüler*innen selbstständig in Kleingruppen zu zwei bis drei Personen. Ähnlich zur zweiten Unterrichtsdurchführung erstellte auch die erste Gruppe dieser Unterrichtsdurchführung Flipcharts, welche als Anlass für einen gegenseitigen Austausch dienten. *Abbildung 27* zeigt zwei exemplarische Flipcharts. Die zweite Gruppe gestaltete aufgrund von Zeitmangel keine Flipcharts.

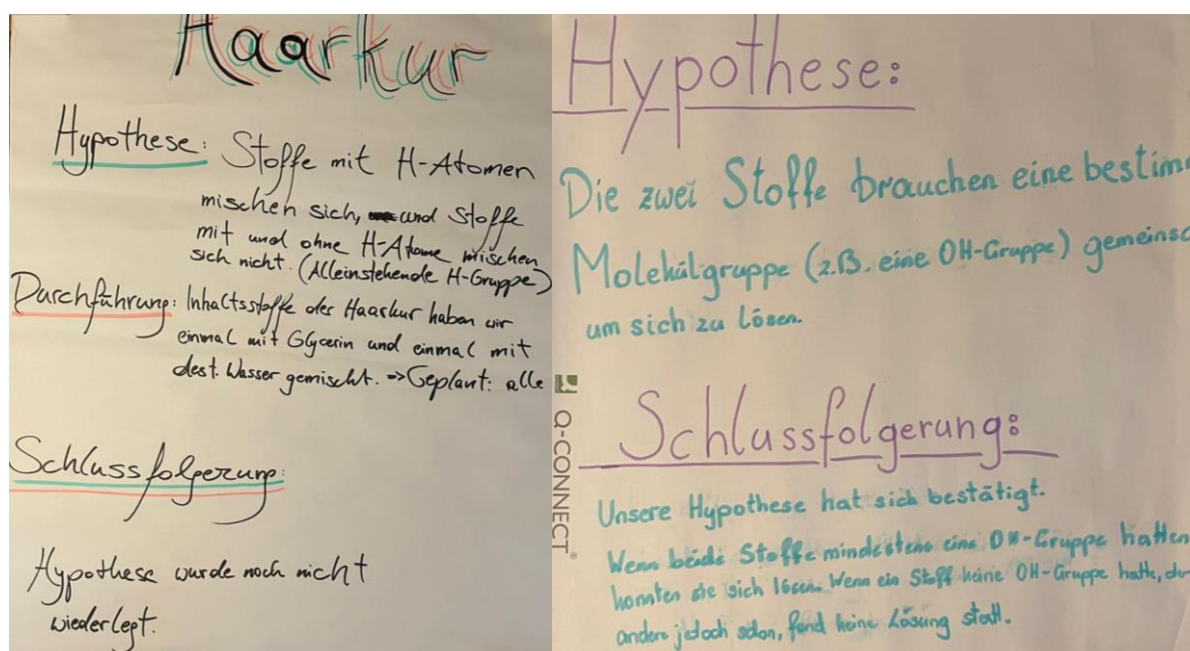


Abbildung 27: Exemplarische Flipcharts, dritte Unterrichtsdurchführung (eigene Fotografie)

Die Schüler*innen beider Gruppen sollten bis zur nächsten Unterrichtseinheit lediglich eine vorläufige Schlussfolgerung formulieren und kein vollständiges Entwurfsprotokoll, wie die Gruppen der vorangegangenen Unterrichtsdurchführungen. Diese Änderung ist darauf zurückzuführen, dass die nächste Unterrichtseinheit bereits am nächsten Tag erfolgte und die Schüler*innen zu wenig Zeit hatten, um ein vollständige Entwurfsprotokoll zu verfassen.

Ich gestaltete die Extend-Phase wie geplant über den Demonstrationsversuch zum Löslichkeitsverhalten unterschiedlicher Alkohole in Wasser. Auch im Rahmen der dritten Unterrichtsdurchführung wiederholte ich mit der Klasse die Polarität anhand beispielhafter Molekülstrukturen, ähnlich zu den bereits beschriebenen Unterrichtsdurchführungen.

Anschließend erarbeiteten sich die Schüler*innen mithilfe des Informationsmaterials Grundlagen zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen und bearbeiteten das Anwendungsbeispiel zum Löslichkeitsverhalten von Butan in Wasser. Da im Rahmen dieser

Unterrichtsdurchführung eine Unterrichtsstunde weniger zur Verfügung stand, wurde das Quiz zu den zwischenmolekularen Wechselwirkungen nicht bearbeitet.

Zum Abschluss der Unterrichtsdurchführung diskutierten die Schüler*innen in Gruppen zu vier Personen die Aussagen der finalen Version des Concept Cartoons. Die Schüler*innen formulierten einzeln mindestens zwei Stellungnahmen zu zwei frei gewählten Aussagen.

Die Lernenden meldeten am Ende der Unterrichtsdurchführung mündlich rück, dass während der gesamten Unterrichtsdurchführung ein angenehmes Arbeitsklima herrschte, in dem Fragen sinnvoll gestellt werden durften. Ein Schüler meinte, dass es vermutlich für Lernende gut sei, dass ich Fragen häufig nicht direkt beantwortete, sondern über Gegenfragen zu einer selbstständigen Lösung verhalf. Dennoch hätte dieser Schüler es teilweise als angenehmer empfunden, die Antwort direkt gesagt zu bekommen. Die Lernenden nannten insbesondere die Gestuften Hilfen als wesentliche Ressource für das Forschende Lernen.

4.3 Analysemethode

Die Analyse der Daten orientierte sich an der Methode der zusammenfassenden strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015). Die Daten habe ich mithilfe des Programms MAXQDA Plus ausgewertet.

Alle handschriftlich verfassten Daten wurden wörtlich in Word-Dokumente übertragen. Das Übertragen handschriftlich verfasster Inhalte in digitale Dokumente war notwendig für die Analyse mit dem Programm MAXQDA Plus. Bei dieser Datenübertragen wurden alle Symbole sowie Rechtschreib- und Grammatikfehler übernommen. Aussagen von Schüler*innen, die in dieser Arbeit direkt zitiert werden, habe ich in Bezug auf Grammatik, Rechtschreibung und Syntax richtiggestellt, wenn der Kontext dadurch nicht verändert wurde. Sofern ein identisches Abtippen nicht möglich war, ist das im entsprechenden Dokument mit einem Verweis auf das Original vermerkt. Eine Person nannte den Namen eines Mitschülers in ihren Abgaben. Dieser Name des Mitschülers wurde von mir durch den Namen Max ersetzt, um die Anonymität zu gewährleisten.

Alle Dateien wurden anonymisiert und schematisch benannt. Der Dateiname enthält die Art des Dokuments und gibt Auskunft darüber, in welcher Unterrichtsdurchführung die Daten erhoben wurden. Alle Dateien, die zu einer Dokumentenart zählen, wurden nach Durchgängen geordnet und nummeriert. Beispielsweise wurde ein Dokument mit der Bezeichnung *Feedbacktafel_3. Durchgang (1)* benannt. Sind Entwurfsprotokolle und finale

Protokolle desselben Durchgangs mit derselben Zahl in Klammer nummeriert, so wurden sie von derselben Person verfasst. Ein Beispiel dafür wäre *Protokoll Entwurf_1. Durchgang (1)* und *Protokoll final_1. Durchgang (1)*. Ist eine entsprechende Nummerierung nur im Entwurf oder nur in der finalen Version eines Protokolls zu finden, so bedeutet das, dass eine Person nur eines der beiden Dokumente abgeben hat.

Ich habe zwei Kategoriensysteme entwickelt, um in weiterer Folge nachfolgend angeführten Forschungsfragen zu beantworten:

- *Forschungsfrage 2:* „Wie nehmen Schüler*innen die zeitlichen und materiellen Rahmenbedingungen, die Sozialform sowie den Forschungsprozess im Zuge des Forschenden Lernens wahr?“
- *Forschungsfrage 3:* „Wie nützen Schüler*innen das entwickelte Unterrichtsmaterial, um das Löslichkeitsverhalten von Stoffen über Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen zu begründen?“

Die nachfolgenden Unterkapitel beschreiben die Vorgehensweise bei der Entwicklung der beiden Kategoriensysteme und stellen im Anschluss die finalen Kategorienhandbücher vor.

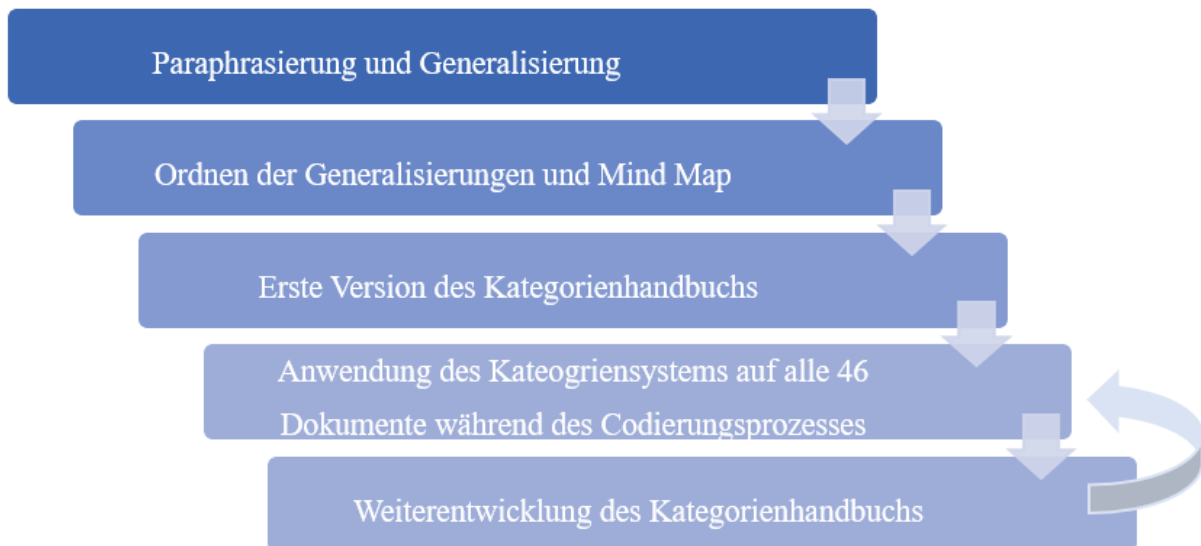
4.3.1 Entwicklung eines Kategoriensystems zur zweiten Forschungsfrage

Das im Folgenden vorgestellte Kategoriensystem wurde erstellt, um die zweite Forschungsfrage „Wie nehmen Schüler*innen die zeitlichen und materiellen Rahmenbedingungen, die Sozialform sowie den Forschungsprozess im Zuge des Forschenden Lernens wahr?“ zu beantworten.

Die Lernenden füllten Vierfelder- und Feedbacktafeln zum Forschenden Lernen aus. Diese Vierfelder- und Feedbacktafeln sind die Daten, die mit dem entwickelten Kategoriensystem ausgewertet wurden. Ich habe darüber hinaus noch zwei weitere Word-Dokumente erstellt, in welche ich jeweils einen Absatz zur Reflexion des Lernprozesses von Schüler*innen kopiert habe. Diese beiden Absätze stammen aus zwei Protokollen von Schüler*innen, welche im Distance-Learning im Anschluss an ihr Protokoll unter der selbst formulierten Überschrift *Reflexion* jeweils einen Absatz mit Feedback geschrieben haben, anstatt die Vierfeldertafel auszufüllen. Diese beiden Word-Dokumente sind in den 46 unterschiedlichen Dokumenten zum Feedback der Schüler*innen bereits eingerechnet.

Es lagen insgesamt 46 Dokumente vor, die analysiert wurden. Ich habe in etwa ein Drittel der Daten als Grundlage für die Entwicklung des Kategoriensystems verwendet. Der erste Entwicklungsschritt basierte auf der Durchsicht von 16 Dokumenten. Dazu wurden vier Dokumente aus der ersten Unterrichtsdurchführung und jeweils sechs Dokumente aus der zweiten und dritten Unterrichtsdurchführung verwendet. Die unterschiedliche Anzahl an Dokumenten pro Unterrichtsdurchführung ist auf die unterschiedlichen Klassengrößen zurückzuführen.

Die einzelnen Schritte, die bei der Entwicklung des Kategoriensystems durchlaufen wurden, sind in *Abbildung 28* veranschaulicht. Die letzten beiden Schritte wurden mehrfach durchlaufen. Diese wiederholte Abfolge der letzten beiden Schritte wird in der Abbildung durch einen zusätzlichen Pfeil symbolisiert. Die Entwicklungsschritte werden in den nachfolgenden Absätzen detailliert erläutert.



*Abbildung 28: Entwicklung des Kategoriensystems zu den Rückmeldungen der Schüler*innen (eigene Darstellung)*

Zuerst paraphrasierte ich während der Durchsicht des ersten Drittels der Daten jede Aussage der Schüler*innen in den 16 Dokumenten. In einem zweiten Schritt generalisierte ich die Aussagen mit maximal drei Wörtern. Exemplarisch sind zwei Beispiele in *Tabelle 9* angeführt. In die erste Spalte wurden die Originalaussagen der Schüler*innen eingetragen. Die mittlere Spalte enthält die Paraphrase und eine Generalisierung, die in der letzten Spalte eingetragen wurde.

Originalaussage	Paraphrase	Generalisierung
„Bei mir war unklar, wie ich mit dem Versuch anfangen soll, oder zu sagen mit welchen Stoffen ich beginnen soll. Aber zum Glück war ich mit Max in einer Gruppe und wir haben uns gegenseitig geholfen.“ (Vierfeldertafel_1. Durchgang (2), Pos. 6)	Ich wusste nicht, wie ich mit dem Experiment beginnen soll oder welche Stoffe ich zu Beginn verwenden soll. Es war gut, dass ich mit Max in der Gruppe war. Wir haben uns gegenseitig geholfen.	Anfangsschwierigkeiten, Teamarbeit hilfreich
„Zumindest ein paar Tipps, worauf man bei den Strukturformeln achten soll bzw. eine ungefähre Richtung für die Ergebnisse und Schlussfolgerungen.“ (Vierfeldertafel_2. Durchgang (4), Pos. 9)	Ich hätte Tipps gebraucht, worauf ich bei den Strukturformeln achten soll. Ich hätte Tipps gebraucht, in welche Richtung meine Ergebnisse und Schlussfolgerungen gehen sollen.	mehr Tipps

Tabelle 9: Paraphrasierung und Generalisierung (eigene Darstellung)

In einem nächsten Schritt gruppierte ich ähnliche Generalisierungen und Paraphrasierungen. Im Anschluss daran formulierte ich jeweils einen Oberbegriff für ähnliche Generalisierungen. *Tabelle 10* zeigt einen Auszug aus dieser ersten Ordnung der Generalisierungen. Tatsächlich wurde einem Oberbegriff häufig eine höhere Anzahl an Generalisierungen und Paraphrasierungen zugeordnet als in dieser Tabelle angeführt.

Oberbegriff	Generalisierungen	Paraphrasen
Angemessener Zeitrahmen	Zeit gut	Wenn man mehr Zeit benötigt hat, wurde mehr Zeit gegeben. Das war top.
	Zeit gut	Wir hatten zwei Stunden Unterricht und in der Zeit ist es sich gut ausgegangen.
	Zeit okay	Das Zeitausmaß war okay.
Schlussfolgerung	keine Schlussfolgerung	Schlussfolgerung haben wir noch keine.
	Probleme Analyse Strukturformeln	Es sind Probleme beim Analysieren der Strukturformeln aufgetreten.
	Probleme Schlussfolgerung	Probleme hatte ich bei der Schlussfolgerung.
Hypothesenüberprüfung	Gutes Gelingen Hypothesen	Es haben sich beide meiner Hypothesen bestätigt. Ich denke, das ist mir gut gelungen.
	Freude - Hypothese	Es freut mich, dass meine Hypothese gestimmt hat.

Tabelle 10: Ordnung der Generalisierungen (eigene Darstellungen)

Zusammenhänge zwischen Oberbegriffen stellte ich mithilfe von Mind-Maps dar. Anschließend nützte ich das Tool Creative Coding in MAXQDA Plus. Dieses Tool ermöglichte das Zusammenfügen, Umbenennen und hierarchische Anordnen der Generalisierungen. Ich stellte die Zusammenhänge grafisch dar. Diese grafische Darstellung diente als Grundlage für das Anlegen eines ersten Kategorienhandbuchs. Das Kategorienhandbuch wurde in eine allgemeine Codierungsvorschrift sowie ein hierarchisches Kategoriensystem untergliedert. Ich fügte dem gesamten Kategorienhandbuch exemplarische Aussagen bei, um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten.

Ich legte fest, dass Hauptkategorien nicht codiert werden. Das Anlegen der Hauptkategorien verfolgte das Ziel, eine übersichtliche Struktur zu schaffen. Beispielsweise wurde die Aussage „Bei der Organisation und während des Experimentierens traten neue Hypothesen auf. → schnelles Umsetzen → stressig in der vorgegebenen Zeitspanne (Feedbacktafel_3. Durchgang

(16), Pos. 5)“ der Subkategorie *Höherer Zeitbedarf* zugeordnet. Die Hauptkategorie *Zeitbedarf* wurde nicht codiert.

Ich legte fest, dass Sinneinheiten die kleinsten Analyseeinheiten darstellen. Da die Schüler*innen auf Fragen aus der Feedbacktafel wie beispielsweise „*Was hättest du noch gebraucht?*“ teilweise mit einzelnen Wörtern antworteten, musste eine Sinneinheit zumindest aus einem Wort bestehen. Einzelne Zeichen wie beispielsweise ein Schrägstrich wurden nicht codiert.

Als Kontexteinheit, also die maximal erlaubte längste Einheit, wurden aneinandergereihte Sinneinheiten festgelegt, die derselben Kategorie zugehörig sind und inhaltlich zusammengehören. Den folgenden Absatz teilte ich beispielsweise in zwei Sinneinheiten auf, obwohl beide Sinneinheiten der Kategorie *Forschungsprozess* zugeordnet wurden.

„Ich habe gelernt, dass es fast immer eine Kombination aus Faktoren ist, die ein bestimmtes Ergebnis verursachen. Oft gibt es einfach mehrere Möglichkeiten. Da das Experiment relativ selbstständig durchgeführt wurde, wurden uns alle Möglichkeiten offengelassen und wir wurden nicht wirklich eingeschränkt durch strikte Vorgaben. (Reflexion_1. Durchgang (11), Pos. 2)“

Die Aussage der ersten Sinneinheit verdeutlicht die Erkenntnis, dass mehrere Faktoren einen Untersuchungsausgang beeinflussen. Außerdem wird thematisiert, dass es mehrere Möglichkeiten gibt, um an eine Herausforderung heranzutreten. Die Aussage der zweiten Sinneinheit beschreibt das selbstständige und freie Arbeiten der Schüler*innen ohne Einschränkungen durch die Lehrperson. Die getrennte Codierung der beiden Sinneinheiten lässt sich also dadurch begründen, dass sich die genannten Aspekte inhaltlich unterscheiden, obwohl sie derselben Kategorie zugeordnet werden.

Es wurde festgelegt, dass vorangegangene Sinneinheiten mitcodiert werden, wenn die Aussage ansonsten aus dem Zusammenhang gerissen werden würde. Beispielsweise wurde bei der Aussage „*Unklar war, was vermischt werden soll, aber das gehört ja dazu und war der Sinn der Sache denke ich. (Vierfeldertafel_1. Durchgang (4), Pos. 5)*“ der erste Teil des Satzes mitcodiert, um die Aussage nicht aus dem Zusammenhang zu reißen. Der zweite Teilsatz wurde der Kategorie *Forschungsprozess* zugeordnet.

Des Weiteren legte ich fest, dass Mehrfachcodierungen erlaubt sind. Eine Mehrfachcodierung bedeutet, dass eine Aussage mehr als einer Kategorie zugeordnet werden darf. Überschriften und vordruckte Fragen der Feedbacktafel wurden nicht codiert.

Für das konkrete Kategoriensystem erstellte ich eine Tabelle mit fünf Spalten. In die erste Spalte wurde die Bezeichnung der jeweiligen Kategorie eingetragen. Anschließend folgten eine Kategoriendefinition und eine konkrete Codierungsvorschrift. Ankerbeispiele, die konkrete Aussagen zeigten, die nach der Definition codiert werden sollten, wurden in die vierte Spalte eingefügt. Die letzte Spalte enthielt Beispiele zur Abgrenzung der Kategorie. Im Anschluss wurden die jeweiligen Subkategorien definiert. Ein Beispiel aus dem Kategoriensystem ist in abgeänderter Formatierung in *Tabelle 11* abgebildet. In gelber Farbe wurde die Hauptkategorie *Unterricht* markiert. In den beiden rechten Spalten definierte ich die Subkategorie *Unterstützungsmaterial*.

Unterricht	Kategorie	Unterstützungsmaterial
	Definition	Diese Kategorie umfasst Rückmeldungen zur Aufbereitung, Verwendung und Gestaltung von Unterstützungsmaterial, das den Lernenden zur Verfügung stand.
	Codierung der Kategorie	Die Kategorie wird codiert, wenn die Tabelle mit den Strukturformeln, die Tippkarten (im Distance-Learning in Form einer PowerPoint), das Schulbuch oder der Protokollleitfaden genannt werden.
	Ankerbeispiel(e)	„[...] und die Tabelle mit den Strukturformeln war auch sehr hilfreich.“ (Vierfeldertafel_2. Durchgang (1), Pos. 7)
	Abgrenzung	Die Kategorie wird nicht codiert, wenn Schüler*innen schreiben, dass sie mehr Tipps benötigt hätten. Aussagen der Art „Ich habe keine Tippkarten verwendet“ oder „es hätte Tipps gegeben“ werden nicht codiert. „Ich hätte nirgends Unterstützung gebrauchen können, weil man die Möglichkeit hatte, die Lehrerin zu fragen, oder die Tipps zu benutzen.“ (Vierfeldertafel_1.Durchgang (5), Pos. 4)

Tabelle 11: Kategoriensystem (eigene Darstellung)

Nachdem ich die Erstversion des Kategoriensystems entwickelt hatte, wandte ich dieses Kategoriensystem auf alle Daten aus den insgesamt 46 Dokumenten an, die analysiert wurden. Während dieses Codierungsprozesses fügte ich dem Kategorienhandbuch weitere Anker- und Abgrenzungsbeispiele hinzu. Im Anschluss an diesen ersten Codierungsprozess passte ich das Kategorienhandbuch an. Die letzten beiden Entwicklungsschritte *Anwendung des Kategoriensystems auf alle Daten während des Codierungsprozesses* und *Weiterentwicklung des Kategorienhandbuchs* wurden mehrfach durchlaufen, bis das

Kategorienhandbuch in seiner vorläufig finalen Version vorlag. Diese wiederholende Abfolge der letzten beiden Entwicklungsschritte ist in *Abbildung 28* (S. 73) durch einen Pfeil gekennzeichnet. Die Zusammenhänge des finalen Kategorienhandbuchs sind in *Abbildung 29* grafisch dargestellt. Eine größere Darstellung ist dem Anhang beigelegt.

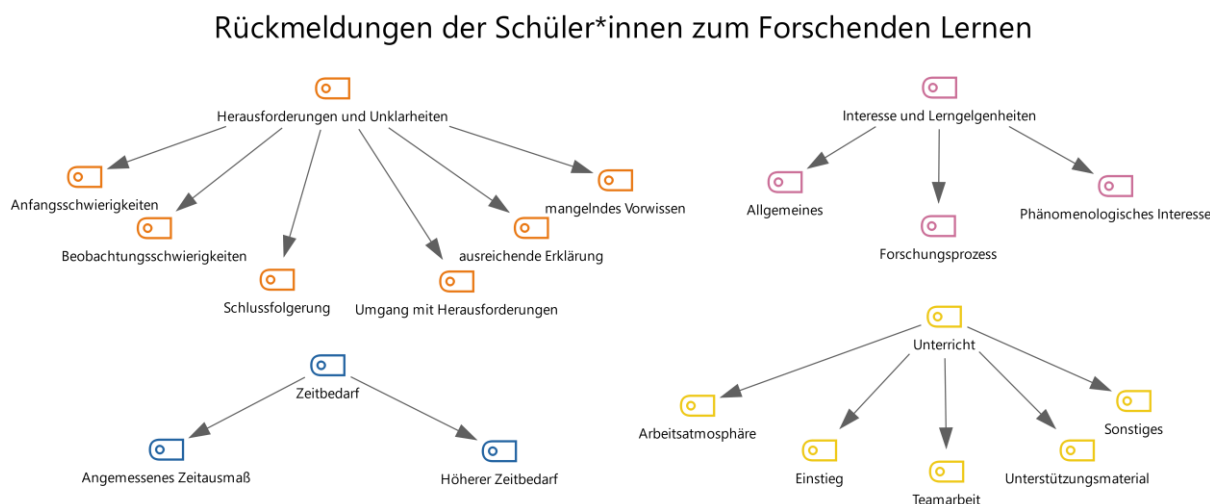


Abbildung 29: Grafische Darstellung des finalen Kategoriensystems zur zweiten Forschungsfrage (eigene Darstellung erstellt über MAXQDA Plus)

Nachdem ich alle Daten codiert hatte, wurde die Intercoder-Reliabilität überprüft. Dazu löste ich zwölf Dokumente zufällig aus, welche von einer wissenschaftlichen Mitarbeiterin des AECC Chemie¹ codiert werden sollten. Es wurden jeweils vier Dokumente pro Unterrichtsdurchführung ausgelost. Insgesamt wurde die Intercoder-Reliabilität an etwas mehr als einem Viertel der Daten überprüft.

Ich markierte in den ausgewählten Dokumenten durch Absätze die jeweils kleinste Sinneinheit. Diese Trennung der Sinneinheiten sollte vermeiden, dass einzelne kleine Unterschiede in der Codierung der Länge der Sinneinheiten die Intercoder-Reliabilität verfälschten. Sofern Mehrfachcodierungen erfolgten, fügte ich einen Absatz ein, sobald die erste Kategorie codiert wurde. Es war daher erlaubt, eine weitere Kategorie über Absätze hinweg zu codieren. Ich übermittelte der zweiten Person das Kategorienhandbuch sowie ein neu angelegtes MAXQDA Plus-Projekt. Dieses Projekt enthielt die ausgelosten Dokumente und das Codierungssystem.

Die zweite Person codierte nun mithilfe des Kategorienhandbuchs die Daten. Im Anschluss daran wurde mithilfe von MAXQDA Plus die Intercoder-Übereinstimmung berechnet. Dazu

¹ Austrian Educational Competence Centre Chemistry

legte ich in den Einstellungen für die Codeüberlappung an Segmenten eine Übereinstimmung zu mindestens 90 % fest. Die erste Berechnung lieferte eine Übereinstimmung von $\kappa = 0,53$, also eine 53 %-ige Übereinstimmung. Ein Grund für diese niedrige Übereinstimmung war, dass eine Person einen Großteil der vorgegebenen Überschriften der Vierfeldertafel mitcodierte, während die andere Person dies nicht tat. Diese mangelnde Übereinstimmung wurde im Rahmen einer Diskussion zur InterCoder-Reliabilität geklärt und im Kategoriensystem entsprechend nachgebessert.

Im Zuge dieser Diskussion zeigte sich auch, dass unter der Hauptkategorie *Interesse und Lerngelegenheiten* die Subkategorien *Forschungsprozess* und *Allgemeines* nicht klar definiert bzw. abgegrenzt waren. Daher präzierte ich bei diesen beiden Subkategorien die Definitionen und ergänzte Abgrenzungsbeispiele. Im Anschluss berechnete ich die InterCoder-Reliabilität erneut. Die Übereinstimmung liegt nun bei 94 %.

Alle Änderungen, die im Rahmen der Diskussion zur InterCoder-Reliabilität diskutiert wurden, wurden in das Kategoriensystem eingearbeitet. Im Anschluss daran codierte ich den gesamten Datensatz erneut, um etwaige Änderungen einzufügen.

4.3.2 Entwicklung eines Kategoriensystems zur dritten Forschungsfrage

Für die Beantwortung der dritten Forschungsfrage „*Wie nützen Schüler*innen das entwickelte Unterrichtsmaterial, um das Löslichkeitsverhalten von Stoffen über Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen zu begründen?*“ wurde ein weiteres Kategoriensystem entwickelt. Die Entwicklung des Kategoriensystems erfolgte in gleicher Weise zum zuvor vorgestellten Kategoriensystem. Analoge Entwicklungsschritte werden daher lediglich genannt und mit Beispielen untermauert, allerdings nicht mehr im Detail erklärt und begründet.

Für die Beantwortung der Forschungsfrage wertete ich die Vierfelder- sowie die Feedbacktafeln, die Entwurfsprotokolle, die finalen Protokolle und die Stellungnahmen der Schüler*innen zum Concept Cartoon aus. Insgesamt wurden 157 Dokumente analysiert.

Die Entwicklung des Kategoriensystems begann im Zeitraum zwischen der zweiten und dritten Unterrichtsdurchführung. Zu diesem Zeitpunkt lagen 94 Dokumente vor. Davon verwendete ich 37 Dokumente für die erste Entwicklung eines Kategoriensystems. Diese Anzahl an Dokumenten entspricht etwa 40 % der gesamt zu analysierenden Daten. Bei der Auswahl dieser Dokumente achtete ich darauf, sowohl Dokumente zu wählen, welche im

Distance-Learning erstellt wurden, als auch jene, die im Präsenzunterricht entstanden. Ich wählte fünf Vierfeldertafeln, jeweils drei Protokollentwürfe und finale Protokolle und vier Stellungnahmen zum Concept Cartoon aus der ersten Unterrichtsdurchführung aus. Die zweite Unterrichtsdurchführung wurde durch jeweils sechs Vierfeldertafeln, Protokollentwürfe und finale Protokolle sowie vier Stellungnahmen zum Concept Cartoon repräsentiert.

Tabelle 12 führt einzelne Originalaussagen inklusive Paraphrasen und Generalisierungen exemplarisch an. Im Gegensatz zum ersten Kategoriensystem bestanden die Generalisierungen teilweise aus mehr als drei Wörtern.

Originalaussage	Paraphrase	Generalisierung
„Tippkarten haben wir jedoch gar nicht angewendet.“ (Protokoll Entwurf_2. Durchgang (1), Pos. 6)	Es wurden keine Tippkarten verwendet.	keine Tippkarten verwendet
„Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Strukturformel ebenfalls eine wichtige Rolle spielt. Nämlich lösen sich kurze Ketten besser als lange Ketten. Demnach ist ein Stoff besser in Wasser löslich, je kürzer dessen Kette ist.“ (Protokoll final_1. Durchgang (2), Pos. 7)	Die Strukturformel ist wichtig. Je kürzer die Kette, desto besser ist der Stoff in Wasser löslich.	KW-Kette beeinflusst Löslichkeit
„Ich finde die Aussage „Essig ist eine Säure und kann deshalb nicht mit Öl reagieren.“ glaubwürdiger als die anderen Aussagen.“ (CoCa 1. Durchgang (4), Pos. 1)	Die Aussage "Essig ist eine Säure und kann deshalb nicht mit Öl reagieren." ist glaubwürdiger.	Glaubwürdigkeit

Tabelle 12: Paraphrasierung und Generalisierung (eigene Darstellung)

Analog zur Vorgehensweise bei der Entwicklung des ersten Kategoriensystems sortierte ich in einem nächsten Schritt die Generalisierungen nach Gemeinsamkeiten und formulierte passende Oberbegriffe. Ein Auszug ist in Tabelle 13 dargestellt.

Oberbegriff	Generalisierungen
Teamarbeit und Kooperation	Teamarbeit und Kooperation, Gemeinsames Vergleichen; Aufteilung aufgrund fehlenden Materials
Gestufte Hilfen	Gestufte Hilfen; keine Tippkarten verwendet; Tippkarte 5 verwendet; Tippkarte 2 verwendet
Einfluss der Hydroxy-Gruppe auf die Löslichkeit	OH-Gruppe in Molekülstruktur; Einfluss der OH-Gruppe auf Löslichkeit; Anzahl OH-Gruppen beeinflusst Löslichkeit; OH-Gruppe beeinflusst Löslichkeit – Ausnahme Vitamin D; OH-Gruppe beeinflusst Löslichkeit; OH-Gruppe; Einfluss der OH-Gruppe überwiegt

Tabelle 13: Ordnung der Generalisierungen (eigene Darstellung)

Im Anschluss stellte ich die Zusammenhänge zwischen den Oberbegriffen über das Tool Creative Coding im Programm MAXQDA Plus dar. *Abbildung 30* zeigt eine grafische Darstellung der Hauptkategorie. Diese Hauptkategorien untergliedern sich in weitere Subkategorien. Eine detaillierte grafische Darstellung der Haupt- und Subkategorien ist dem Anhang zu entnehmen.

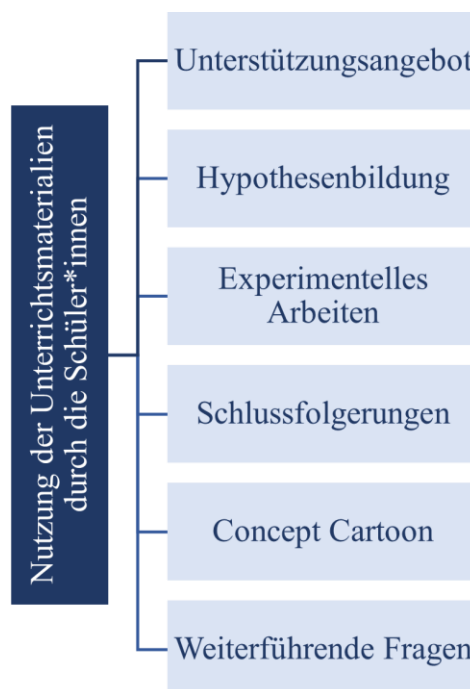


Abbildung 30: Übersicht Hauptkategorien des Kategoriensystems zur dritten Forschungsfrage (eigene Darstellung)

Die weitere Vorgehensweise erfolgte entsprechend der Entwicklung des ersten Kategoriensystems. Ich erstellte zunächst eine vorläufige Version eines Kategorienhandbuchs, mithilfe dessen alle Daten einmal codiert wurden. Im Rahmen nachfolgender Überarbeitungsschleifen wurden auf Basis der weiteren Daten Kategorien überarbeitet, zusammengefasst und neue Kategorien hinzugefügt.

Im Anschluss erfolgte eine Überprüfung der Inter-coder-Reliabilität. Diese wurde von derselben Person durchgeführt, welche bereits an der Überarbeitung des ersten Kategoriensystems beteiligt war. Grundlage für die Überprüfung der Inter-coder-Reliabilität waren zwölf Dokumente. Repräsentativ wurde zu jeder Art von Dokumenten und jedem Durchgang ein Dokument nachcodiert und überprüft. Damit wurden 7,8 % aller Daten auf Inter-coder-Reliabilität überprüft. Analog zum ersten Kategoriensystem wurde für die Codeüberlappung an Segmenten ein Minimum von 90 % eingestellt. Damit ergab sich eine Übereinstimmung von 83 %.

Im Rahmen einer Diskussion der beiden codierenden Personen wurden jene Textstellen genauer analysiert, an welchen Unstimmigkeiten auftraten. Mangelnde Übereinstimmung war beispielsweise bei jenen Textpassagen erkennbar, an welchen Schüler*innen nicht konsequent zwischen der Stoff- und der Teilchenebene unterschieden. Ein Beispiel dafür wäre die Aussage *„Das destillierte Wasser und das Glycerin lösen sich ineinander, da die Wechselwirkung zwischen ihnen stärker ist als die in den einzelnen Stoffen. (Protokoll final_2. Durchgang (12), Pos. 3)“*. Aufgrund der Unstimmigkeiten in Bezug auf die Zuordnung von Kategorien zur genannten Aussage erfolgte eine weitere Konkretisierung der Kategorie *Schlussfolgerungen / Ähnliches löst Ähnliches / Aussagen auf Stoffebene*. In der Kategoriendefinition wurde der Satz *„Sobald über zwischenmolekulare Wechselwirkungen argumentiert wird, werden Aussagen nicht mehr dieser Kategorie zugeordnet.“* ergänzt.

Im Anschluss an die Diskussion überarbeitete ich das entsprechende Kategorienhandbuch und berechnete die prozentuelle Übereinstimmung. Abschließend lag κ bei 98 %. Die Änderungen im Kategorienhandbuch führten zu einer finalen Recodierung aller Daten.

5 Datenauswertung und Beschreibung der Ergebnisse

5.1 Zweite Forschungsfrage - Rückmeldungen der Schüler*innen zum Forschenden Lernen

Dieses Kapitel beantwortet die zweite Forschungsfrage „*Wie nehmen Schüler*innen die zeitlichen und materiellen Rahmenbedingungen, die Sozialform sowie den Forschungsprozess im Zuge des Forschenden Lernens wahr?*“. Diese Forschungsfrage wird beantwortet, indem die Daten der schriftlichen Rückmeldungen der Schüler*innen ausgewertet und die daraus resultierenden Ergebnisse beschrieben werden.

5.1.1 Bedeutsame Kategorien zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage

Die Datenauswertung zeigt, dass ausgewählte Codes häufig verteilt und somit von wesentlichem Interesse sind. Unter der Hauptkategorie *Herausforderungen und Unklarheiten* sind insbesondere die Subkategorien *Anfangsschwierigkeiten*, *Schlussfolgerung* und *ausreichende Erklärung* mehrfach codiert. Eine mehrfache Nennung von Herausforderungen und Unklarheiten ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass den Schüler*innen beim Ausfüllen der Feedbacktafel die Fragen „*Was war dir unklar?*“ und „*Wo sind Probleme aufgetreten?*“ gestellt wurden.

Es zeigt sich weiters eine wiederholte Codierung der Subkategorien *Allgemeines* und *Forschungsprozess*. Diese beiden Subkategorien zählen zur Hauptkategorie *Interesse und Lerngelegenheiten*. Eine häufige Codierung ist darin begründet, dass den Schüler*innen die Fragen „*Was war besonders interessant?*“ und „*Was ist dir gut gelungen?*“ gestellt wurden.

Die Datenauswertung zeigt darüber hinaus auf, dass der *Zeitbedarf* häufig genannt wird. Auch diese häufige Codierung ist auf die explizite Frage „*Wie bist du mit der Zeit zurechtgekommen?*“ zurückzuführen.

Zusätzlich zeigt die Datenauswertung, dass Aussagen, in denen die Verwendung von *Unterstützungsmaterial* oder die *Teamarbeit* genannt werden, trotz einer geringeren Codierungshäufigkeit einen wesentlichen Beitrag zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage liefern. Für nähere Ausführungen sei auf das Kapitel 5.1.2 *Zusammenfassung und Beschreibung der Ergebnisse* verwiesen.

Abbildung 31 gibt einen Überblick zur Codierungshäufigkeit der einzelnen Kategorien. Im linken Bereich der Abbildung sind alle Kategorien des Kategoriensystems angeführt.

Subkategorien derselben Farbe gehören zur selben Hauptkategorie. Der rechte Bereich der Abbildung zeigt 15 Spalten. Diese 15 Spalten repräsentieren je fünf zufällig ausgewählte Feedbacktafeln pro Unterrichtsdurchführung, in welchen eine hohe Anzahl an Codes verteilt wurde. Ist eine Kategorie innerhalb eines Dokuments codiert, so ist in der entsprechenden Spalte ein Kästchen dargestellt. Je größer das Kästchen ist, desto häufiger tritt diese Kategorie innerhalb desselben Dokuments auf. Die zuvor beschriebenen bedeutsamen Kategorien sind in roter Farbe hervorgehoben.

Die anscheinend geringere Codierungshäufigkeit der Kategorien *Schlussfolgerung* und *Unterstützungsmaterial* ist darauf zurückzuführen, dass die Abbildung nur eine zufällige Stichprobe aller Dokumente widerspiegelt, um der Leser*innenschaft einen Einblick in den Auswertungsprozess zu ermöglichen. Im Rahmen der Datenauswertung wurden jedoch alle 46 Dokumente miteinander verglichen.

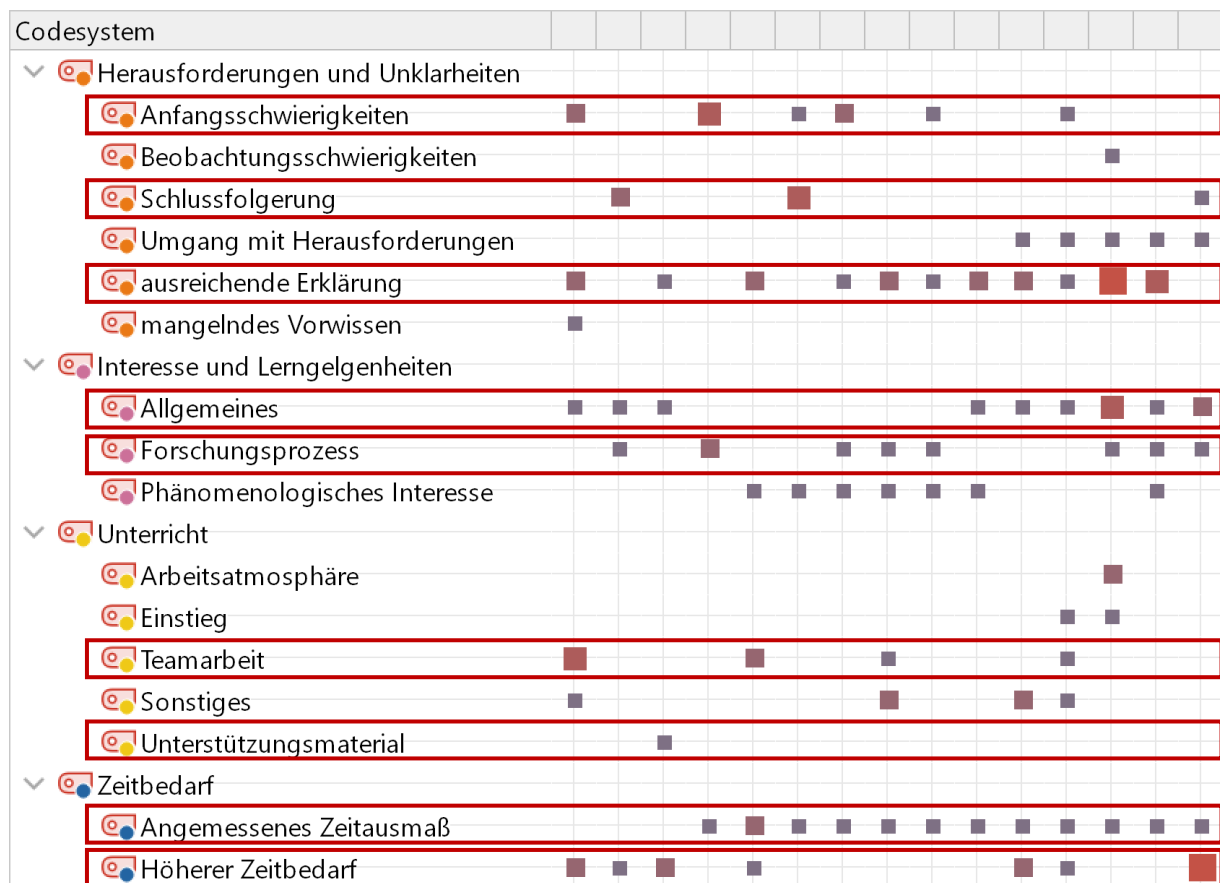


Abbildung 31: Codierungshäufigkeit zur zweiten Forschungsfrage in ausgewählten Dokumenten (eigene Darstellung erstellt über MAXQDA Plus)

5.1.2 Zusammenfassung und Beschreibung der Ergebnisse

Dieses Kapitel beschreibt wesentliche Ergebnisse der Datenauswertung, um die zweite Forschungsfrage *„Wie nehmen Schüler*innen die zeitlichen und materiellen Rahmenbedingungen, die Sozialform sowie den Forschungsprozess im Zuge des Forschenden Lernens wahr?“* zu beantworten. Das vorliegende Kapitel fasst wesentliche Ergebnisse zusammen, welche im Kapitel 5.1.3 *Beleg der Ergebnisse anhand von Schüler*innenaussagen* im Detail mit Aussagen der Schüler*innen belegt werden.

Die Rückmeldungen der Schüler*innen der ersten beiden Unterrichtsdurchführungen zeigen, dass das Forschende Lernen die Schüler*innen vor Herausforderungen stellt. Um diese Herausforderungen angemessen erheben und auswerten zu können, erweiterte ich die Feedbacktafel vor der dritten Unterrichtsdurchführung um die Fragen *„Wie bist du mit Herausforderungen umgegangen?“* und *„Was möchtest du noch sagen?“*.

Der Großteil der Aussagen zeigt einen konstruktiven Umgang der Lernenden mit Herausforderungen. Die Schüler*innen beschrieben die Arbeit und den Austausch im Team, die Planung und Durchführung experimenteller Untersuchungen sowie die Unterstützung durch die Lehrperson als wesentlich, um herausfordernde Situationen erfolgreich bewältigen zu können.

Einige Schüler*innen melden Anfangsschwierigkeiten rück. Die Schüler*innen der ersten beiden Unterrichtsdurchführungen nennen diese Anfangsschwierigkeiten vor allem in Bezug auf den experimentellen Einstieg in den Forschungsprozess. Diese Lernenden wünschen sich konkrete Anweisungen zur Planung und Durchführung einer Untersuchung, um die ihnen gestellte Forschungsfrage *„Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander löse?“* zu beantworten. Die Schüler*innen der dritten – im Präsenzunterricht gehaltenen - Unterrichtsdurchführung, äußern seltener den Wunsch nach einer explizit formulierten Anleitung. Stattdessen bezeichnen einzelne Schüler*innen die Formulierung von Hypothesen als herausfordernd.

Zugleich zeigen andere Rückmeldungen, dass das Bilden von Hypothesen gelingt und zu einem Erfolgserlebnis bei den Lernenden führt. Die Mehrheit der Schüler*innen gibt an, dass die Arbeitsanweisungen und Erklärungen ausreichend sind, um selbstständig arbeiten zu können. Einige dieser Schüler*innen heben auch das vielfältige Unterstützungsangebot hervor, um etwaige Herausforderungen erfolgreich bewältigen zu können.

In Bezug auf die Verwendung von Unterstützungsmaterial, welches im Kapitel 4.2.1 *Beschreibung des Unterrichtsmaterials* vorgestellt wird, beschreiben die Schüler*innen die Tabelle mit den Strukturformeln ausgewählter Inhaltsstoffe als positiv und interessant. Sie bezeichnen die Gestuften Hilfen als hilfreich. Diese sind für die Lernenden eine Unterstützung bezüglich des Einstiegs in den Forschungsprozess, sofern dieser für sie herausfordernd ist. Diese Gestuften Hilfen leisten zusätzlich einen wesentlichen Beitrag zur Differenzierung und ermöglichen es dem Großteil der Lernenden, die Aufgabe zeitgemäß abschließen zu können. Der Vergleich der Unterrichtsdurchführungen zeigt, dass die Lernenden, welche am Präsenzunterricht teilnahmen, die Gestuften Hilfen häufiger verwenden als jene Schüler*innen, die sich im Distance-Learning befanden. Diese melden rück, dass sie sich insbesondere für die Formulierung einer Schlussfolgerung Tipps wünschen würden. Aufgrund dieser Rückmeldungen und der Tatsache, dass manche Schüler*innen angeben, sie würden mehr Zeit für die Schlussfolgerung benötigen, wurden die Gestuften Hilfen nach der ersten Unterrichtsdurchführung um eine Tippkarte zur Schlussfolgerung ergänzt.

Die Datenauswertung zeigt, dass die Mehrheit der Lernenden ein positives Feedback bezüglich des Zeitmanagements gibt. In Aussagen, in welchen ein höherer Zeitbedarf formuliert ist, findet sich vermehrt die Forderung nach mehr Zeit für die Formulierung von neuen Hypothesen oder Schlussfolgerungen. Allerdings ist anzumerken, dass ein Großteil der Schüler*innen, welcher mehr Zeit fordert, dennoch mit der zur Verfügung stehenden Zeit zurechtkommt. Die Schüler*innen aller Unterrichtsdurchführungen nennen vor allem die Arbeit im Team und die Vielfalt an Unterstützungsmöglichkeiten als wesentlich, um in der vorgegebenen Zeit gewinnbringend arbeiten und forschen zu können.

Die Teamarbeit wird nicht nur betreffend des Zeitmanagements, sondern auch bezüglich der Arbeitsteilung, des Ideenaustauschs und des Umgangs mit Herausforderungen als positiv bezeichnet. Einige Lernende merken an, dass ihnen das Arbeiten im Team Freude bereitet.

Die Rückmeldungen zeigen, dass die Lernenden vielfältige Erfahrungen im Bereich einer naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung machen, wie im nachfolgenden Zitat verdeutlicht. Es beschreibt, dass ausgewählte Lernende insbesondere aufgrund ihrer Anfangsschwierigkeiten ihren persönlichen Forschungsprozess als bereichernd empfinden.

„Anfangs war uns nicht klar, wie wir an die Sache herangehen sollen, da man sein Experiment sehr selbstständig planen und durchführen musste. Das ist vermutlich auch der Sinn der Stunde gewesen, [...]. Genau wegen diesen Anfangsschwierigkeiten war es besonders interessant, unser eigenes „Experimentkonzept“ zu testen und auch die Ergebnisse auszuwerten.“ (Vierfeldertafel_1. Durchgang (9), Pos. 5-9)

Neben der Formulierung von Hypothesen, bezeichnet ein Großteil der Lernenden das selbstständige Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten als freudvoll und interessant. Das nachfolgende Zitat zeigt, dass einzelne Lernende anhand der Durchführung von unterschiedlichen Experimenten erkennen, dass Umwege Teil eines Forschungsprozesses sein können und einen wesentlichen Beitrag zur Erkenntnisgewinnung liefern können.

„Am Anfang haben wir Zeit mit „unnötigen“ Experimenten verschwendet, allerdings gehören diese auch zum Lösungsweg.“ (Vierfeldertafel_2. Durchgang (11), Pos. 5)

5.1.3 Beleg der Ergebnisse anhand von Schüler*innenaussagen

Dieses Kapitel belegt die Ergebnisse anhand beispielhaft ausgewählter Schüler*innenaussagen. Im Folgenden werden einzelne Aussagen exemplarisch angeführt, jedoch basiert die Datenauswertung in der Regel – wenn nicht anders angegeben – auf einer höheren Anzahl ähnlicher Aussagen.

Der positive Umgang der Schüler*innen mit Herausforderungen oder Unklarheiten zeigt sich durch die Antworten auf die Frage *„Wie bist du mit Herausforderungen umgegangen?“*.

„Gut, zuerst geplant, dann experimentiert, zwischendurch immer wieder Ergänzungsversuche gemacht.“ (Feedbacktafel_3. Durchgang (16), Pos. 7)

*„darüber selbst nachgedacht → mit Kollegen besprochen → Lehrer gefragt“
(Feedbacktafel_3. Durchgang (8), Pos. 7)*

Die nachfolgende Aussage zeigt Anfangsschwierigkeiten von Schüler*innen in den ersten beiden Unterrichtsdurchführungen, die sich insbesondere auf die selbstständige Planung und den experimentellen Einstieg in den Forschungsprozess beziehen.

„Anfangs war uns nicht klar, wie wir an die Sache herangehen sollen, da man sein Experiment sehr selbstständig planen und durchführen musste.“ (Vierfeldertafel_1. Durchgang (9), Pos. 5)

Der Begriff der Hypothese wird in den Rückmeldungen der Schüler*innen der ersten Unterrichtsdurchführung nicht erwähnt. Vereinzelt ist in den Aussagen der späteren Unterrichtsdurchführungen zu lesen, dass die Formulierung von Hypothesen als herausfordernd wahrgenommen wird.

„Wir haben uns schwergetan, eine Hypothese zu formulieren.“ (Feedbacktafel_3. Durchgang (10), Pos. 5)

Zugleich zeigen andere Rückmeldungen eine erfolgreiche Hypothesenbildung der Lernenden.

„Beide meine Hypothesen haben sich bestätigt, das ist mir glaube ich ganz gut gelungen.“ (Vierfeldertafel_2. Durchgang (6), Pos. 9)

Im Gegensatz zu den eben angeführten Anfangsschwierigkeiten wird in der Mehrheit der Rückmeldungen ein ausreichendes Maß an Erklärung betont. Dieses ausreichende Maß an Erklärung bezieht sich einerseits auf die Aufbereitung der Aufgabenstellung und andererseits auf die Unterstützung durch die Lehrperson, sofern eine Unterstützung notwendig ist. Beispielhafte Aussagen sind im Folgenden angeführt.

„Ich hätte nirgends Unterstützung gebrauchen können, weil man die Möglichkeit hatte, die Lehrerin zu fragen oder die Tipps zu benutzen.“ (Vierfeldertafel_1. Durchgang (5), Pos. 4)

„Es war ausreichend erklärt, somit hat man gewusst, was zu tun ist, und die Tabelle mit den Strukturformeln war auch sehr hilfreich.“ (Vierfeldertafel_2. Durchgang (1), Pos. 7)

In Bezug auf die Verwendung von Unterstützungsmaterial heben einzelne Schüler*innen die Tabelle mit den Strukturformeln ausgewählter Inhaltsstoffe als positiv hervor. Eine solche positive Rückmeldung zeigt sich beispielsweise in der anschließend angeführten Aussage.

„Ich fand es interessant zu sehen, wie man die Tabelle mit den Strukturformeln analysieren konnte und das dann mit den Versuchen zu bestätigen.“ (Vierfeldertafel_2. Durchgang (16), Pos. 9).

Die Lernenden nennen auch die Gestuften Hilfen als ein wesentliches Unterstützungsmaterial. Ein Beispiel dafür ist die nachfolgende Bemerkung.

„Die Tippkarten haben sehr geholfen!!!“ (Feedbacktafel_3. Durchgang (18), Pos. 11)

Die im Anschluss angeführte Rückmeldung ist eine exemplarisch ausgewählte Antwort auf die Frage „Was hättest du noch gebraucht?“.

„Tipps für die Schlussfolgerungen“ (Vierfeldertafel_1. Durchgang (6), Pos. 7)

An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Mehrheit der Schüler*innen keine weitere Unterstützung für die Schlussfolgerung fordert und es sich hier um den Wunsch einzelner Schüler*innen handelt. Im Sinne der Differenzierung erweiterte ich die Gestuften Hilfen dennoch um eine Tippkarte zur Schlussfolgerung.

Der Unterschied in der Verwendungshäufigkeit der Gestuften Hilfen zwischen den Schüler*innen im Distance-Learning und den Lernenden im Präsenzunterricht könnte

88

einerseits daran liegen, dass den Schüler*innen im Präsenzunterricht keine zusätzlichen Recherchemittel zur Verfügung standen. Die Schüler*innen im Distance-Learning hingegen durften das Internet verwenden. Ein anderer möglicher Grund für diese unterschiedliche Nutzungshäufigkeit der Gestuften Hilfen könnte sein, dass die Schüler*innen im Präsenzunterricht in direktem Austausch mit mir als Lehrperson standen. Bei Fragen oder Unklarheiten wies ich die Lernenden explizit auf die Verwendung der Gestuften Hilfen hin.

Die Datenauswertung zeigt, dass die Kategorie *ausreichendes Zeitausmaß* in etwa doppelt so oft codiert wurde wie die Kategorie *höherer Zeitbedarf*. Die beiden nachfolgenden Aussagen sind Beispiele für die Kategorie *höherer Zeitbedarf*. Die erste Aussage zeigt, dass die Schüler*innen ein höheres Zeitausmaß als angenehm empfinden würden, sie dennoch mit der Zeit zurechtkommen. Diese Rückmeldung zeigt auch, dass ein höherer Zeitbedarf auch aus dem persönlichen Arbeitsverhalten der Schüler*innen resultieren kann. Die zweite Bemerkung ist ein Beispiel für den Wunsch nach mehr Zeit, um neue Hypothesen überprüfen oder weitere Untersuchungen durchführen zu können.

„Es ging einigermaßen klar. Zum Schluss war es etwas stressig, allerdings haben wir auch gemütlich gearbeitet.“ (Feedbacktafel_3. Durchgang (13), Pos. 3)

„Bei der Organisation während des Experimentierens traten neue Hypothesen auf. → schnelles Umsetzen → stressig in der vorgegebenen Zeitspanne“ (Feedbacktafel_3. Durchgang (16), Pos. 5)

Die Mehrheit der Schüler*innen meldet rück, dass die Zeit ausreichend ist. Einige Lernende bezeichnen die Teamarbeit als wesentlich, um das Forschende Lernen in der vorgegebenen Zeit durchzuführen. Exemplarische Aussagen sind nachfolgend angeführt.

„Die Zeiteinteilung hat sehr gut gepasst und eine produktive jedoch nicht stressige Arbeitsatmosphäre erzeugt.“ (Vierfeldertafel_2. Durchgang (11), Pos. 3)

„Zeitlich war der Arbeitsauftrag gut innerhalb dieser Doppelstunde durchzuführen. Jedoch würde ich es definitiv weiterempfehlen den Arbeitsauftrag als Gruppenarbeit zu erledigen. Allein wäre es knapp geworden.“ (Vierfeldertafel_2. Durchgang (9), Pos. 3-4)

Allgemeines Interesse der Schüler*innen sowie die Bedeutung des Alltagsbezugs spiegelt sich in den im Anschluss angeführten Rückmeldungen wider.

„Das Experimentieren hat viel Spaß gemacht und auch im Distance-Learning erstaunlich gut funktioniert.“ (Vierfeldertafel_1. Durchgang (8), Pos. 9)

„Realitätsbezogen, kommt im Alltag öfters vor.“ (Feedbacktafel_3. Durchgang (16), Pos. 11)

Die Lernenden melden rück, dass sie insbesondere aufgrund der freien Arbeitsgestaltung und auch aufgrund eventueller Anfangsschwierigkeiten die erfolgreiche Bewältigung des Forschungsprozesses als bereichernd empfinden. Die nachfolgenden Aussagen zeigen exemplarisch, dass die Lernenden im Rahmen des Forschenden Lernens vielfältige Erfahrungen im Bereich der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung sammeln können.

„Ich finde es gut, dass wir die Versuche selbst entwerfen konnten.“ (Feedbacktafel_3. Durchgang (6), Pos. 13)

„Ich fand es interessant zu sehen, wie man die Tabelle mit den Strukturformeln analysieren konnte und das dann mit den Versuchen zu bestätigen.“ (Vierfeldertafel_2. Durchgang (16), Pos. 9)

„Ich habe gelernt, dass es fast immer eine Kombination aus Faktoren ist, die ein bestimmtes Ergebnis verursacht. Oft gibt es einfach mehrere Möglichkeiten.“ (Reflexion_1. Durchgang (11), Pos. 2)

5.2 Dritte Forschungsfrage – Nutzung des Unterrichtsmaterials durch die Schüler*innen

Dieses Kapitel beantwortet die dritte Forschungsfrage *„Wie nützen Schüler*innen das entwickelte Unterrichtsmaterial, um das Löslichkeitsverhalten von Stoffen über Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen zu begründen?“*. Die Beantwortung der Forschungsfrage erfolgt, indem die Daten der schriftlichen Rückmeldungen der Schüler*innen ausgewertet und die daraus resultierenden Ergebnisse beschrieben werden.

5.2.1 Beschreibung eines Fallbeispiels

Dieses Kapitel stellt ein exemplarisch ausgewähltes Fallbeispiel vor. Dieses Fallbeispiel zeigt, wie eine Schülerin bzw. ein Schüler, im Folgenden mit A. bezeichnet, das Unterrichtsmaterial nützt, um das Löslichkeitsverhalten von Stoffen über Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen zu begründen. Die Beschreibung dieses Fallbeispiels basiert auf den Daten aus dem Protokollentwurf, dem finalen Protokoll sowie den schriftlichen Stellungnahmen zum Concept Cartoon.

Zu Beginn des Forschenden Lernens wurde den Lernenden die Forschungsfrage *„Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander lösen?“* gestellt. *Abbildung 32* zeigt die von A. formulierte Hypothese zu dieser Forschungsfrage.



Hypothese

(Was vermuten wir?)

Moleküle mit OH-Gruppen (→ freie Elektronenpaare) sind leichter löslich.

Abbildung 32 : Hypothese eines Fallbeispiels (Protokoll Entwurf_3. Durchgang (5), Pos. 6)

Auffällig ist, dass A. den Einfluss von Hydroxy-Gruppen in der Molekülstruktur sowie das Vorkommen freier Elektronenpaare als bedeutsam erkennt, um Aussagen über die Löslichkeit von Stoffen zu treffen. Die Unterscheidung zwischen Stoff- und Teilchenebene gelingt in dieser Hypothese nicht. Diese mangelnde Unterscheidung zeigt sich in der Formulierung, es würden sich Moleküle – anstatt Stoffe – lösen.

A. nützt die zur Verfügung stehenden Materialien und Chemikalien, um unterschiedliche Löslichkeitsversuche durchzuführen. Diese Löslichkeitsversuche dienen zur Überprüfung der Hypothese. *Abbildung 33* zeigt einen kurzen Ausschnitt dieser Versuchsplanung sowie der tatsächlichen Durchführung. Im Original beschreibt A. zusätzlich die zur Untersuchung zugehörigen Beobachtungen, woraus A. schlussfolgert, welche Stoffe sich ineinander lösen.



Versuchsaufbau und geplante Versuchsdurchführung

(Wie können wir unsere Hypothese überprüfen?)

Wir mischen die Stoffe mit Wasser und untereinander.



Tatsächliche Versuchsdurchführung

(Wie haben wir gearbeitet? Wo sind wir von der Planung/den Materialien abgewichen? Sind Probleme aufgetreten? Wenn ja, welche?)

Wir füllen deionisiertes Wasser in 6 verschiedene Epröuvetten. Anschließend färbt man dieses mit der Lebensmittelfarbe. Nun kann man jeweils in eine Epröuvette Glycerin, Trisiloxan, Propan-2-ol, Ethanol, Zitronensäure und Limonen geben. Wenn nötig, haben wir die Epröuvetten mit Stöpseln verschlossen, und das Gemisch gemischt. Schließlich Propanol mit Glycerin mischen.

Abbildung 33: Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung eines Fallbeispiels (Protokoll Entwurf_3. Durchgang (5), Pos. 6)

Nach der ersten Doppelstunde formulierte A. eine erste vorläufige Schlussfolgerung. Diese ist in *Abbildung 34* dargestellt.



Schlussfolgerung

(Wurde die Forschungsfrage beantwortet? Wenn ja, wie? Wenn nein, was müsst ihr an eurer Versuchsdurchführung verändern? Wurde eure Hypothese bestätigt? Gebt eure Quellen an, wenn ihr etwas recherchiert habt!)

Die Hypothese hat sich bestätigt, indem sich alle Stoffe mit OH-Gruppen im Wasser bzw. ineinander gelöst haben und die Stoffe ohne OH-Gruppen haben sich nicht gelöst. → Trisiloxan und Limonen

Das liegt daran, dass die freien Elektronenpaare der OH-Gruppen sich nicht in Wasser lösen und sich mit den Wassermolekülen verbinden.

Daraus kann man schließen, dass Moleküle mit OH-Gruppen leicht löslich sind, solange sie nicht Teil von langen Ketten sind, da sich Olivenöl nicht in Wasser löst.

Abbildung 34: Schlussfolgerung eines Fallbeispiels (Protokoll Entwurf_3. Durchgang (5), Pos. 7)

In dieser Schlussfolgerung ist erkennbar, dass eine Unterscheidung zwischen Stoff- und Teilchenebene – wie bereits bei der Hypothese beschrieben – nicht durchgehend gelingt. Eine mangelnde Unterscheidung zwischen Stoff- und Teilchenebene zeigt sich beispielsweise in der Aussage „Stoffe mit OH-Gruppen“ (Protokoll Entwurf_3. Durchgang (5), Pos. 7).

Des Weiteren zeigt sich in dieser Schlussfolgerung das Präkonzept, es handle sich beim Lösevorgang um eine chemische Reaktion. Dieses Präkonzept ist beispielsweise in der Aussage „[...] und sich mit den Wassermolekülen verbinden“ (Protokoll Entwurf_3. Durchgang (5), Pos. 7) am Begriff *verbinden* erkennbar.

Es zeigt sich weiters die unangemessene Vorstellung, nicht-bindende Elektronenpaare würden sich im Wasser (auf)lösen. Dennoch ist positiv hervorzuheben, dass A. nicht-bindende Elektronenpaare als ein bedeutsames Strukturmerkmal erkennt, bevor im Unterricht die Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen, insbesondere jene von Wasserstoffbrücken, besprochen wurde.

A. erkennt in der Schlussfolgerung - im Vergleich zur Hypothese -, dass nicht einzig das Vorkommen einer Hydroxy-Gruppe in der Molekülstruktur ausschlaggebend dafür ist, ob sich ein Stoff gut in Wasser löst. A. beschreibt in der Schlussfolgerung, dass neben dem Vorkommen von Hydroxy-Gruppen auch die Länge der Kohlenwasserstoffkette in einem Molekül beachtet werden muss, um Aussagen über das Löslichkeitsverhalten von Stoffen in Wasser zu treffen. Dieser Schluss basiert auf den Beobachtungen zum Löslichkeitsversuch von Olivenöl in Wasser. Interessanterweise wird hier ein angemessener Schluss gezogen,

obwohl die Annahme, Triglyceride des Olivenöls würden Hydroxy-Gruppen in der Molekülstruktur aufweisen, unangemessen ist.

Die Aussage „Daraus kann man schließen, dass Moleküle mit OH-Gruppen leicht löslich sind, solange sie nicht Teil von langen Ketten sind, da sich Olivenöl nicht in Wasser löst.“ (Protokoll Entwurf_3. Durchgang (5), Pos. 7) zeigt außerdem den Versuch der Formulierung von Struktur-Eigenschafts Beziehungen. Auch in dieser Aussage treten sprachliche Ungenauigkeiten in der Unterscheidung zwischen Stoff- und Teilchenebene auf. Dennoch zeigt sich, dass A. versucht, die Löslichkeit von Olivenöl in Wasser anhand der zugehörigen Molekülstrukturen zu begründen.

Aus dem Protokollentwurf geht hervor, dass die Lernumgebung A. anregt, eine neue, weiterführende Frage zu stellen. Diese weiterführende Frage ist in *Abbildung 35* dargestellt.



Weiterführende Fragestellungen

(Haben sich neue Fragen ergeben? Wenn ja, welche?)

Wieso wird das Gemisch mit der Zitronensäure ein helleres Grün?

Abbildung 35: Weiterführende Frage eines Fallbeispiels (Protokoll Entwurf_3. Durchgang (5), Pos. 7)

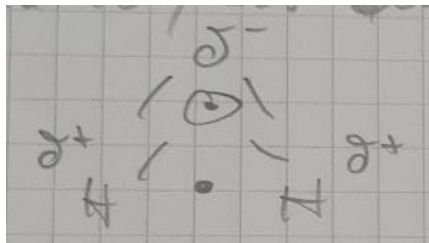
Im finalen Protokoll wurde die Schlussfolgerung ergänzt und überarbeitet. Diese überarbeitete Schlussfolgerung ist in *Abbildung 36* angeführt.



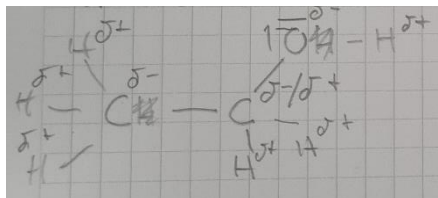
Neue Schlussfolgerung:

Wieso lösen sich manche Moleküle in Wasser und manche nicht?

Wassermoleküle sind polare Stoffe. Das erkennt man daran, dass die EN-Differenz [Elektronegativitätsdifferenz] größer als 0,4 ist zwischen dem Wasserstoff- und dem Sauerstoffatom. Durch die gewinkelte Struktur liegen die Schwerpunkte der Teilladungen nicht aufeinander, was eben eine polare Eigenschaft ist.



In unserem Versuch war ein Stoff, den wir untersucht haben, Ethanol.



Hier ist zwar die Kohlenstoffkette unpolar, die OH-Gruppe aber polar, weshalb das ganze Molekül polar ist. In der Chemie spricht man bei solchen Fällen von „Gleiches löst sich in Gleichem“. Beide Moleküle sind polar, weshalb sie sich ineinander lösen. Hierfür nimmt sich der negative Teil des Wassermoleküls die positiven H-Atome und der positive Teil anderer Wassermoleküle die negativen C-Atome bzw. O-Atome.

Abbildung 36: Schlussfolgerung des finalen Protokolls eines Fallbeispiels (Protokoll Entwurf_3. Durchgang (5), Pos. 7)

Die überarbeitete Schlussfolgerung zeigt, dass A. auch am Ende der Unterrichtsdurchführung nicht adäquat zwischen Stoff- und Teilchenebene unterscheidet. Allerdings ist anzumerken, dass diese Unterscheidung nicht im Fokus der Lernumgebung steht. Die mangelnde Unterscheidungsfähigkeit ist bereits in der von A. selbst formulierten Frage „Wieso lösen sich manche Moleküle in Wasser und manche nicht?“ (Protokoll final_3. Durchgang (5), Pos. 7) erkennbar.

Im Vergleich zur vorläufigen Schlussfolgerung führt A. nun den Begriff der Polarität an. A. bezeichnet sowohl die Elektronegativitätsdifferenz zwischen zwei Atomen für die Ausbildung einer polaren Bindung als auch die Molekülgeometrie als bedeutsam, um die Polarität eines Moleküls zu bestimmen. Im Anschluss ermittelt A. die Polarität eines Wasser- sowie eines Ethanolmoleküls. A. nennt in der vorläufigen Schlussfolgerung das Verhältnis zwischen der Anzahl an Hydroxy-Gruppen und der Länge der Kohlenwasserstoffkette in einem Molekül als

bedeutsam, um die Löslichkeit von Stoffen in Wasser zu erklären. Diese Aussage wird in der finalen Schlussfolgerung durch eine Begründung über die Polarität ergänzt.

Der letzte Satz „Hierfür nimmt sich der negative Teil des Wassermoleküls die positiven H-Atome und der positive Teil anderer Wassermoleküle die negativen C-Atome bzw. O-Atome.“ (Protokoll final_3. Durchgang (5), Pos. 7) enthält einen Anthropomorphismus. Zusätzlich unterscheidet A. nicht adäquat zwischen einem negativen Teil – einer negativen Ladung – und einem partial negativ geladenen Bereich – einer negativen Partialladung. Auffällig ist, dass A. die Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen nicht explizit nennt, obwohl diese im Rahmen der Unterrichtsdurchführung thematisiert wurde. Wenn auch nicht explizit genannt, so ist die Idee der Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen dennoch erkennbar.

Am Ende der Unterrichtsdurchführung formuliert A. Stellungnahmen zu dem in *Abbildung 37* dargestellten Concept Cartoon.



Abbildung 37: Concept Cartoon (in Anlehnung an Steininger (o.J., unveröffentlicht))

A. bezeichnet Milos Aussage als „nicht geeignet, weil Van-der-Waals-Kräfte immer ausgebildet werden und er aber sagt, dass sich keine Kräfte ausbilden können.“ (CoCa 3. Durchgang (5), Pos. 1). Diese Stellungnahme ist angemessen und stellt die Löslichkeit von Essig in Öl auf Stoffebene in Beziehung mit der Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen auf Teilchenebene.

Laut A. ist Lenas Aussage „*nicht geeignet, weil sie von Reaktionen spricht, aber es bei Wechselwirkungen nie zu Reaktionen kommt. Außerdem können sich zwischen Molekülen mit unterschiedlicher Polarität auch Wechselwirkungen ausbilden.*“ (CoCa 3. Durchgang (5), Pos. 2). A. führt an, dass es beim Löslichkeitsversuch von Essig in Öl zu keiner chemischen Reaktion kommt. In dieser Stellungnahme zeigt sich ein wesentlicher Lernfortschritt. Während in der eigenen vorläufigen Schlussfolgerung das Präkonzept, es würde sich beim Lösevorgang um eine chemische Reaktion handeln, formuliert wurde, argumentiert A. nun fachlich korrekt gegen diese Vorstellung.

A. empfindet Annas Aussage als „*geeignet, weil Öl hydrophob ist und Essig wässrig ist und es sich deshalb abstößt.*“ (CoCa 3. Durchgang (5), Pos. 3). Eine tiefergehende Begründung auf Teilchenebene, die Struktur-Eigenschafts Beziehungen aufzeigen könnte, erfolgt nicht.

Alex Aussage ist laut A. „*nicht geeignet, weil er davon spricht, dass sich die OH-Gruppe auflöst, aber es lösen sich keine Atome auf.*“ (CoCa 3. Durchgang (5), Pos. 4). Diese Stellungnahme zeigt einen entscheidenden Lernzuwachs auf. Im Rahmen des Forschenden Lernens schrieb A. im Protokollentwurf, dass sich Elektronenpaare lösen würden, und es zeigte sich das Präkonzept des Verschwindens. Genau gegen dieses Präkonzept argumentiert A. nun am Ende der Unterrichtsdurchführung fachlich korrekt.

5.2.2 Bedeutsame Kategorien zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage

Die bedeutsamen Kategorien zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage ergeben sich aus der Codierungshäufigkeit eben dieser Kategorien im Rahmen der Datenauswertung der Feedbacktafeln, der Protokollentwürfe und der finalen Protokolle aller drei Unterrichtsdurchführungen. Der Codierungsprozess erfolgte mithilfe des im Kapitel 4.3.2 *Entwicklung eines Kategoriensystems zur dritten Forschungsfrage* vorgestellten Kategoriensystems. *Abbildung 38* zeigt eine Übersicht der Hauptkategorien dieses Kategoriensystems. Die Hauptkategorie *Concept Cartoons* ist in dieser Darstellung nicht abgebildet, da die dazugehörige Datenauswertung erst im nachfolgenden Kapitel 5.2.3 *Zusammenfassung und Beschreibung der Ergebnisse* beschrieben wird. Die Kategorie *Concept Cartoons* wird im vorliegenden Kapitel nicht berücksichtigt, da der Concept Cartoon zwischen jeder Unterrichtsdurchführung weiterentwickelt wurde und ein Vergleich der Codierungshäufigkeit daher nicht aussagekräftig ist. Eine grafische Darstellung des vollständigen Kategoriensystems inklusive der Subkategorien ist dem Anhang beigelegt.

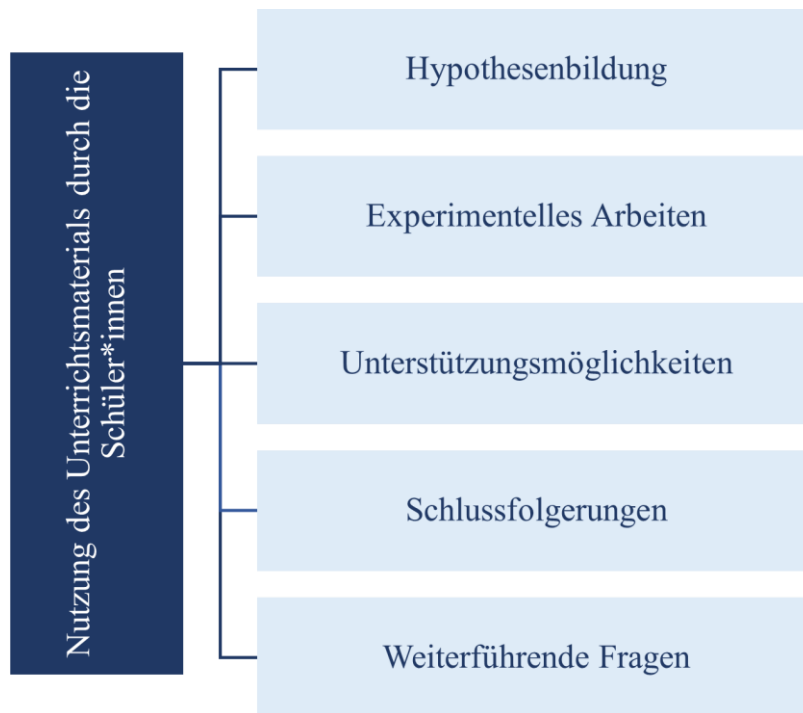


Abbildung 38: Hauptkategorien des Kategoriensystems zur dritten Forschungsfrage (eigene Darstellung)

Im Bereich der Hypothesenbildung wurde die Kategorie *Struktur-Eigenschafts Beziehungen* besonders häufig in den Protokollentwürfen codiert. Diese Häufigkeit ist in *Abbildung 39* veranschaulicht. Im linken Teil der Abbildung sind die unterschiedlichen Subkategorien zur Hypothesenbildung zeilenweise angeführt. Jede Spalte im rechten Teil der Abbildung repräsentiert einen Protokollentwurf. Wurde eine Kategorie in einem Protokollentwurf codiert, so findet sich in der entsprechenden Zeile und Spalte ein Kästchen. Je größer dieses Kästchen dargestellt ist, desto häufiger wurde die entsprechende Kategorie innerhalb eines Protokollentwurfs codiert.

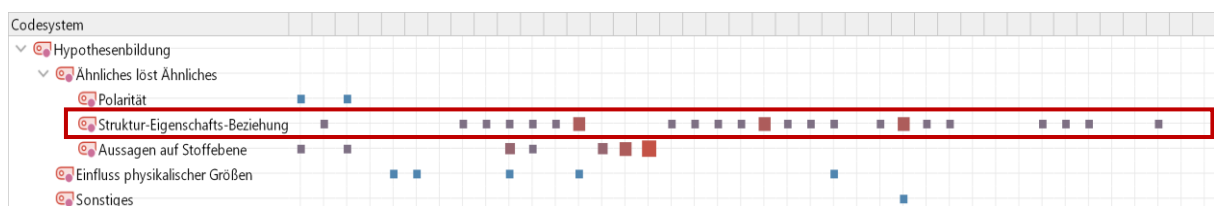


Abbildung 39: Codierungshäufigkeit zur dritten Forschungsfrage - Hypothesenbildung (eigene Darstellung erstellt über MAXQDA Plus)

Ein Großteil der analysierten Dokumente enthält Aussagen zur Kategorie *Experimentelles Arbeiten* sowie zu unterschiedlichen Subkategorien des *Unterstützungsangebotes*.

Die Datenauswertung der Protokollentwürfe zeigt, dass einzelne Schüler*innen die *Polarität* bereits in ihrer vorläufigen Schlussfolgerung erwähnen. Diese Erwähnung ist interessant, da

sie bereits vor der fachlichen Vertiefung zur Polarität und der Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen im Unterricht erfolgt. *Abbildung 40* veranschaulicht, dass bei der Codierung der vorläufigen Schlussfolgerungen in den Protokollentwürfen – repräsentiert durch die Spalten im rechten Teil der Abbildung - die Codes *Einfluss der Hydroxy-Gruppe* sowie *Molekülstruktur* besonders häufig verteilt wurden.

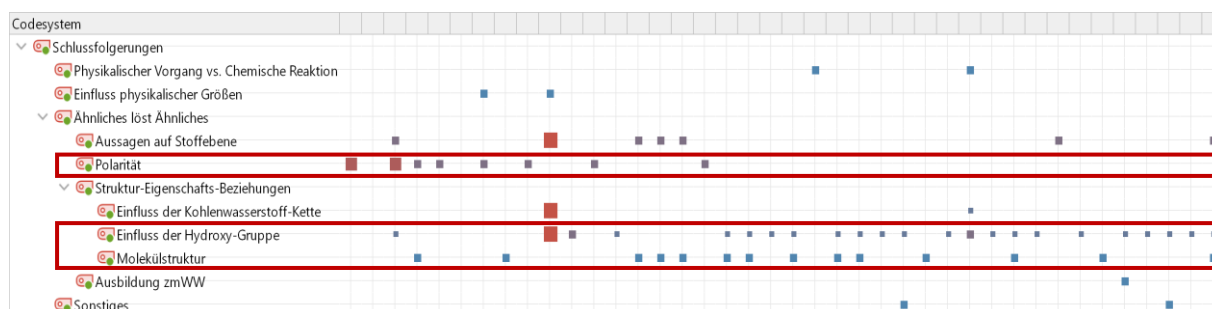


Abbildung 40: Codierungshäufigkeit zur dritten Forschungsfrage - vorläufige Schlussfolgerung (eigene Darstellung erstellt über MAXQDA Plus)

Während die Kategorie *Polarität* in 8 von 40 vorläufigen Schlussfolgerungen in den Protokollentwürfen codiert wurde, zeigt sich diese Kategorie bereits in 15 von 29 überarbeiteten Schlussfolgerungen der finalen Protokolle. Im Vergleich zu den vorläufigen Schlussfolgerungen wurde die Kategorie *Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen* in den überarbeiteten Schlussfolgerungen in der Mehrheit der finalen Protokolle codiert. *Abbildung 41* gibt einen Überblick zur Codierungshäufigkeit der Schlussfolgerungen innerhalb der finalen Protokolle. Diese finalen Protokolle werden durch die Spalten im rechten Teil der Abbildung repräsentiert. Es zeigt sich, dass die Schüler*innen in den finalen Protokollen weniger häufig über den Einfluss der Hydroxy-Gruppen argumentieren, als es in den vorläufigen Schlussfolgerungen der Fall war. Stattdessen nimmt die Anzahl an Argumentationen, welche den Einfluss der Kohlenwasserstoffkette berücksichtigen, leicht zu.

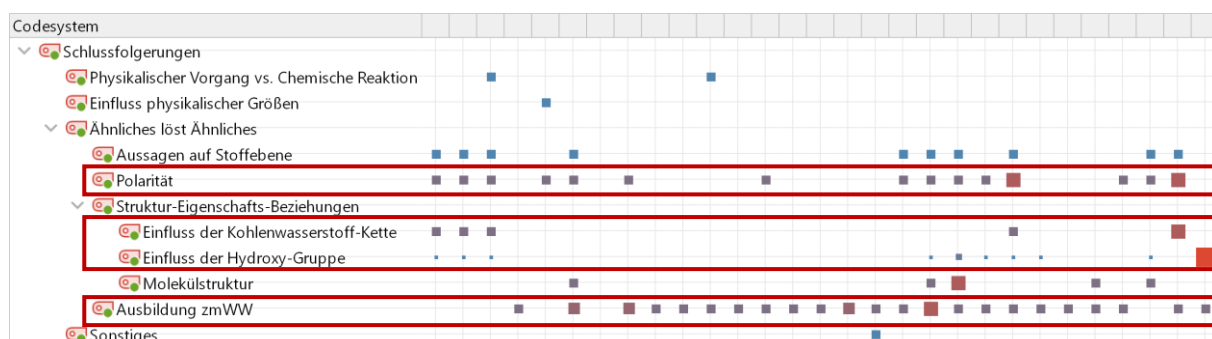


Abbildung 41: Codierungshäufigkeit zur dritten Forschungsfrage - überarbeitete Schlussfolgerung (eigene Darstellung erstellt über MAXQDA Plus)

In etwa ein Viertel aller Lernenden formuliert in den Protokollentwürfen oder in den finalen Protokollen *weiterführende Fragen*, welche im Rahmen des Forschungsprozesses auftraten.

5.2.3 Zusammenfassung und Beschreibung der Ergebnisse

Dieses Kapitel stellt wesentliche Ergebnisse der Datenauswertung dar, um die dritte Forschungsfrage „*Wie nützen Schüler*innen das entwickelte Unterrichtsmaterial, um das Löslichkeitsverhalten von Stoffen über Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen zu begründen?*“ zu beantworten. Die Zusammenfassung und Beschreibung dieser Ergebnisse basieren auf der Datenauswertung der Feedbacktafeln, der Protokollentwürfe, der finalen Protokolle sowie der Stellungnahmen zu den Concept Cartoons. Die Ergebnisse beruhen – wenn nicht anders angegeben – auf der Mehrheit der Schüler*innenaussagen. Im Kapitel 5.2.4 *Beleg der Ergebnisse anhand von Schüler*innenaussagen* werden diese Ergebnisse anhand exemplarisch ausgewählter Schüler*innenaussagen untermauert.

Die Datenauswertung zeigt, dass die Schüler*innen das entwickelte Unterrichtsmaterial gewinnbringend nützen, um Hypothesen zu bilden, Untersuchungen zu planen und durchzuführen und aus ihren Beobachtungen Schlüsse zu ziehen, um die ihnen gestellte Forschungsfrage „*Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander lösen?*“ zu beantworten.

Die Hypothesen der Schüler*innen zeigen mehrfach die Formulierung von Struktur-Eigenschafts Beziehungen. Diese Struktur-Eigenschafts Beziehungen treten auf, wenn die Schüler*innen die Löslichkeit eines Stoffes in Wasser über die Molekülstruktur bzw. konkret über das Vorkommen von Hydroxy-Gruppen innerhalb eines Moleküls begründen. Bei diesen Begründungen ist erkennbar, dass ein Teil der Lernenden nicht adäquat zwischen einem Atom, einer funktionellen Gruppe und einem Molekül unterscheidet. Diese mangelnde Unterscheidung führe ich nicht auf das Material zurück, da diese nicht im Fokus der Unterrichtsdurchführungen steht und bereits aus dem Unterricht bekannt sein sollte.

Einzelne Schüler*innen beschreiben in ihrer Formulierung von Struktur-Eigenschafts Beziehungen eine CH₃-Gruppe als wesentliches Strukturmerkmal, um die Löslichkeit ausgewählter Inhaltsstoffe der flüssigen Haarkur in Wasser zu erklären. Diese Beschreibung einer CH₃-Gruppe als Strukturmerkmal ist meiner Ansicht nach auf die gewählte Darstellung der Molekülstruktur in der Tabelle des Unterrichtsmaterials

zurückzuführen. *Abbildung 42* zeigt einen Auszug dieser Tabelle der ersten beiden Unterrichtsdurchführungen und der darin angeführten Darstellung einer beispielhaften Molekülstruktur eines Triglycerids. In dieser Tabelle sind Kohlenwasserstoffketten mithilfe von Skelettformeln dargestellt, das Ende jeder Kohlenwasserstoffkette ist jedoch in der Halbstrukturschreibweise angegeben. Aus dieser Darstellung könnte die Vorstellung der einzelnen CH₃-Gruppe resultieren.

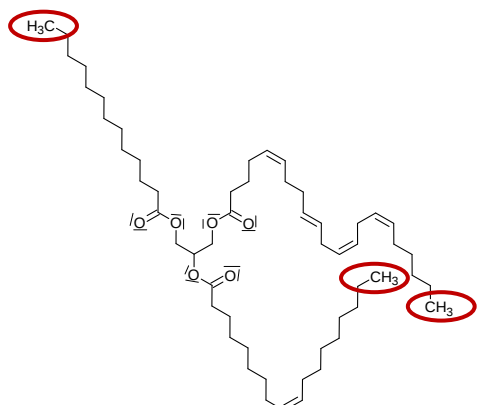
Speiseöl allgemeine chemische Struktur von Triglyceriden, wie sie in Ölen zu finden sind	
---	--

Abbildung 42: Darstellung der Molekülstruktur eines Triglycerids in der Tabelle (eigene Darstellung)

Ich überarbeitete die Darstellungen der Molekülstrukturen in der Tabelle zwischen der zweiten und dritten Unterrichtsdurchführung, um durch das Unterrichtsmaterial implizierte Irritationen bei den Schüler*innen zu vermeiden. Die Tabelle der dritten Unterrichtsdurchführung stellt die Molekülstrukturen in Skelettschreibweise dar. In den Dokumenten der dritten Unterrichtsdurchführung wird eine CH₃-Gruppe nicht erwähnt. Daraus schließe ich, dass die Weiterentwicklung der Tabelle für die Schüler*innen gewinnbringend war und dazu beiträgt, die Entwicklung unangemessener Vorstellungen zu reduzieren.

Die Schüler*innen nutzen neben der Tabelle auch die zur Verfügung stehenden Materialien und Chemikalien, um experimentelle Untersuchungen zur Löslichkeit ausgewählter Stoffe zu planen und durchzuführen. Beispielsweise ermitteln die Lernenden, dass sich R-Limonen kaum in Wasser löst, indem sie beide Stoffe mischen und die Bildung zweier Phasen beobachten.

Insbesondere die Verwendung der Gestuften Hilfen sowie der Austausch mit mir als Lehrperson ist für die Lernenden eine Unterstützung, um das Löslichkeitsverhalten unterschiedlicher Stoffe über Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekulare

Wechselwirkungen zu begründen. Für eine detaillierte Ausführung zur Nutzung des Unterstützungsangebotes durch die Lernenden sei auf das Kapitel 5.1 *Zweite Forschungsfrage - Rückmeldungen der Schüler*innen zum Forschenden Lernen* verwiesen.

Die vorläufigen Schlussfolgerungen der Schüler*innen, in welchen über die Polarität argumentiert wird, wurden ausschließlich von Schüler*innen verfasst, welche zu Hause experimentierten. Diesen Schüler*innen stand das Internet zur Recherche zur Verfügung. In einigen Aussagen wird auch angeführt, dass die Idee, das Löslichkeitsverhalten ausgewählter Stoffe könnte im Zusammenhang mit der Polarität der entsprechenden Moleküle stehen, einer Recherche entstammt. Da im Gegensatz dazu die Protokollentwürfe der Lernenden des Präsenzunterrichts den Begriff der Polarität nicht aufweisen, ziehe ich den Schluss, dass vorläufige Schlussfolgerungen zur Polarität nicht durch die Lernumgebung initiiert wurden.

In den überarbeiteten Schlussfolgerungen der finalen Protokolle wird das Löslichkeitsverhalten ausgewählter Inhaltsstoffe der flüssigen Haarkur deutlich öfter über die Polarität der entsprechenden Moleküle erklärt als in den vorläufigen Schlussfolgerungen der Protokollentwürfe. Diese Tatsache kann dadurch begründet werden, dass die Polarität während des Unterrichts im Rahmen der Extend-Phase thematisiert wurde.

Im Großteil aller Schüler*innenaussagen zur Polarität zeigt sich, dass die Unterscheidung zwischen der Polarität als Teilcheneigenschaft und der Hydrophilie als Stoffeigenschaft für die Schüler*innen eine Herausforderung darstellt. Diese mangelnde Unterscheidung könnte zum einen auf das Unterrichtsmaterial zurückzuführen sein, da im Informationsmaterial für die ersten beiden Unterrichtsdurchführungen ebenfalls nicht zwischen Polarität und Hydrophilie unterschieden wurde. Ich überarbeitete das Informationsmaterial vor der dritten Unterrichtsdurchführung in Bezug auf diese Aspekte, eine mangelnde Unterscheidungsfähigkeit der Lernenden zeigt sich allerdings auch in den Daten der dritten Unterrichtsdurchführung. Zum anderen könnte eine mangelnde Unterscheidung der Schüler*innen zwischen Polarität und Hydrophilie auch auf das Schulbuch *EL-MO Elemente-Moleküle* zurückzuführen sein, da dieses nicht zwischen den beiden Begriffen unterscheidet (vgl. Magyar et al., 2015, S. 31 ff).

Die vorläufigen Schlussfolgerungen der Lernenden zeigen vermehrt die Formulierung von Struktur-Eigenschafts Beziehungen. Diese Struktur-Eigenschafts Beziehungen werden einerseits dadurch begründet, dass die Moleküle von sich ineinander lösenden Stoffen eine ähnliche Molekülstruktur aufweisen. Solche Schlussfolgerungen sind stark an die

Forschungsfrage „*Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander lösen?*“ angelehnt. Andererseits wird allerdings in einer Vielzahl der vorläufigen Schlussfolgerungen angeführt, dass das Vorkommen von Hydroxy-Gruppen innerhalb eines Moleküls für die Löslichkeit eines Stoffes in Wasser verantwortlich sei.

Die Bedeutung einer Hydroxy-Gruppe innerhalb eines Moleküls für die Löslichkeit des zugehörigen Stoffes in Wasser wird in den überarbeiteten Schlussfolgerungen der finalen Protokolle seltener angeführt. Positiv anzumerken ist, dass die Schüler*innen die vereinfachende Annahme, diese Löslichkeit würde einzig durch das Vorkommen von Hydroxy-Gruppen in der Molekülstruktur begründet sein, weiterentwickelten. Die Schüler*innen bezeichnen in den finalen Schlussfolgerungen die Länge der Kohlenwasserstoffkette und damit das Verhältnis zwischen polaren und kaum polaren Bereichen innerhalb eines Moleküls als bedeutsam.

Eine Argumentation über zwischenmolekulare Wechselwirkungen findet sich in den vorläufigen Schlussfolgerungen der Protokollentwürfe nicht. Eine Art Vorläufer-Idee zur Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen ist aber dennoch in der nachfolgenden Aussage vertreten.

Vermutlich lösen sich Moleküle mit OH-Gruppen so leicht, weil diese zwei nichtbindende e⁻-Paare [Elektronenpaare] haben, an welche sich die Wassermoleküle anhängen/verbinden.“ (Protokoll Entwurf_3. Durchgang (12), Pos. 3)

Zwar handelt es sich nur um eine einzelne Aussage, diese ist allerdings bemerkenswert, da sie vor einer fachlichen Aufarbeitung und Klärung in der Explain-Phase formuliert wurde. Auch, wenn der Begriff *verbinden* das Präkonzept, es würde sich bei einem Lösevorgang um eine chemische Reaktion handeln, suggeriert, erkennt die Person dennoch die Bedeutung nicht-bindender Elektronenpaare. Ich ziehe daraus den Schluss, dass das Unterrichtsmaterial, speziell die Darstellung von Molekülstrukturen in der Tabelle, Lernende dazu anregen kann, erste Ideen bezüglich der Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen zu entwickeln.

In den finalen Protokollen beantwortet die Mehrheit der Schüler*innen die ihnen gestellte Forschungsfrage über die Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen. Die Lernenden erkennen, dass die Art und Stärke der Wechselwirkungen von der Molekülstruktur und der Polarität abhängt und dadurch einen Einfluss auf das Löslichkeitsverhalten der entsprechenden Stoffe hat.

Etwa ein Viertel der Schüler*innen formuliert im Rahmen des Forschenden Lernens weiterführende Fragen. Diese weiterführenden Fragen zeigen, dass die Lernumgebung die Neugierde bzw. das Interesse der Schüler*innen an der Beschäftigung mit neuen Themen weckt.

Am Ende der Unterrichtsdurchführung formulierten die Schüler*innen Stellungnahmen zu einem Concept Cartoon als formatives Assessment. Die Sprechblasen in diesem Concept Cartoon, zu welchen die Lernenden Stellung beziehen sollten, wurden zwischen jeder Unterrichtsdurchführung basierend auf Schüler*innenaussagen der vorherigen Unterrichtsdurchführung weiterentwickelt. Aus diesem Grund ist ein direkter Vergleich der Stellungnahmen unterschiedlicher Unterrichtsdurchführungen nicht möglich. Im Folgenden werden daher zentrale Schüler*innenvorstellungen und deren Weiterentwicklung im Laufe der Unterrichtsdurchführungen beschrieben. Diese zentralen Schüler*innenvorstellungen sind in *Abbildung 43* in Stichworten angeführt.



*Abbildung 43: Zentrale Schüler*innenvorstellungen in den Stellungnahmen zu den Concept Cartoons (eigene Darstellung)*

In der Mehrheit der Stellungnahmen aus allen Unterrichtsdurchführungen zeigt sich, dass die Schüler*innen die Polarität von Molekülen als wesentlich erachten, um die Löslichkeit eines Stoffes in einem Lösemittel zu erklären. Daraus schließe ich, dass die Schüler*innen das entwickelte Unterrichtsmaterial gewinnbringend nutzen können, um das Löslichkeitsverhalten eines Stoffes über Struktur-Eigenschafts Beziehungen zu begründen.

Allerdings zeigt das formative Assessment auch, dass eine Unterscheidung zwischen der Polarität als Teilcheneigenschaft und der Hydrophilie auch am Ende der Unterrichtsdurchführung nicht gelingt.

Die Stellungnahmen der ersten Unterrichtsdurchführung enthalten einzelne Aussagen, in welchen die Lernenden die Löslichkeit eines Stoffes in einem Lösemittel nur über die Anzahl an Hydroxy-Gruppen innerhalb des entsprechenden Moleküls erklären. Eine solche vereinfachende Erklärung findet sich in den Stellungnahmen der dritten Unterrichtsdurchführung nicht mehr. Hingegen zeigt sich, dass die Lernenden das Unterrichtsmaterial nützen können, um die Löslichkeit eines Stoffes in einem Lösemittel über Struktur-Eigenschafts Beziehungen zu begründen. Die Lernenden der dritten Unterrichtsdurchführung betrachten in ihren Stellungnahmen die gesamte Molekülstruktur, nicht mehr nur einzelne funktionelle Gruppen.

In einzelnen Stellungnahmen wurde formuliert, dass sich zwischen den Molekülen im Essig und im Öl keine zwischenmolekularen Wechselwirkungen ausbilden würden. Um zu überprüfen, ob es sich dabei um Vorstellungen einzelner Schüler*innen handelt, oder ob diese auf die Mehrheit der Lernenden zutreffen, formulierte ich eine entsprechende Aussage für eine Sprechblase des Concept Cartoons der dritten Unterrichtsdurchführung. Es zeigte sich, dass die Mehrheit der Schüler*innen die Aussage insofern richtigstellt, dass argumentiert wird, dass sich zumindest Van-der-Waals-Kräfte immer ausbilden würden. Ich schlussfolgerte daraus, dass die Weiterentwicklung der Lernumgebung einen positiven Einfluss auf die Aneignung von Fachwissen durch die Lernenden hat.

In einem Teil der Stellungnahmen ist das Präkonzept, es würde sich beim Lösevorgang um eine chemische Reaktion handeln, erkennbar. Es ist positiv hervorzuheben, dass dieses Präkonzept mit fortschreitender Unterrichtsdurchführung seltener auftritt. Allerdings muss auch angemerkt werden, dass die Begriffe *Bindung* und *Verbindung*, vor allem im Zusammenhang mit Wasserstoffbrücken, auch in den Stellungnahmen der letzten Unterrichtsdurchführung auftreten. Es ist nicht klar nachvollziehbar, woher diese Vorstellung kommt. Im Unterrichtsmaterial sowie während der Unterrichtsdurchführung achtete ich auf die Unterscheidung zwischen einer chemischen Bindung und einer Wechselwirkung. Da im Schulbuch *EL-MO Elemente-Moleküle* der Begriff der *Wasserstoffbrückenbindung* verwendet wird, könnte eine solche Vorstellung durch das Schulbuch hervorgerufen werden (vgl. Magyar et al., 2015, S. 31 ff).

In einzelnen Stellungnahmen der ersten Unterrichtsdurchführung zeigt sich das Präkonzept des Verschwindens. Dieses Präkonzept zeigt sich mit jeder Unterrichtsdurchführung seltener.

Die Schüler*innen stellen dieses in späteren Stellungnahmen zum Teil sogar aktiv richtig, weshalb ich schlussfolgere, dass sie das Unterrichtsmaterial gewinnbringend nutzen können.

Ich möchte anmerken, dass sich auch in den Protokollentwürfen und finalen Protokollen in einzelnen Schüler*innenaussagen solche Präkonzepte der chemischen Reaktion oder des Verschwindens finden. Da die Analyse von Aussagen und Vorstellungen einzelner Schüler*innen den Rahmen dieser Arbeit allerdings überschreiten würde, sei an dieser Stelle exemplarisch auf das Kapitel 5.2.1 *Beschreibung eines Fallbeispiels* verwiesen.

Im gesamten Datenmaterial zeigt sich, dass die Schüler*innen in ihren sprachlichen Formulierungen nicht adäquat zwischen Stoff- und Teilchenebene unterscheiden. Diese mangelnde Unterscheidung reicht von der Hypothesenbildung zu Beginn der Unterrichtsdurchführung bis zu den abschließenden Stellungnahmen zum Concept Cartoon. Daraus schließe ich, dass die Lernumgebung die Schüler*innen nicht ausreichend unterstützt, um adäquat zwischen Stoff- und Teilchenebene zu unterscheiden. Allerdings sei angemerkt, dass eine solche Unterscheidung nicht im Fokus der entwickelten Lernumgebung steht.

5.2.4 Beleg der Ergebnisse anhand von Schüler*innenaussagen

Dieses Kapitel belegt anhand exemplarisch ausgewählter Schüler*innenaussagen die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Ergebnisse. Im Folgenden werden nur einzelne Aussagen angeführt, die repräsentativ für eine Vielzahl ähnlicher Aussagen stehen.

Die Formulierung von Struktur-Eigenschafts Beziehungen im Rahmen der Hypothesenbildung zeigt sich in der nachfolgend angeführten Aussage. Diese Aussage ist ein Beispiel für eine Hypothese, in welcher der Einfluss der Hydroxy-Gruppe innerhalb eines Moleküls auf die Löslichkeit des entsprechenden Stoffes in Wasser beschrieben wird. Außerdem verdeutlicht diese Aussage die mangelnde Unterscheidungsfähigkeit der Lernenden zwischen einer funktionellen Gruppe und einem Molekül.

„Wenn man sich diese Hypothese auf Teilchenebene anschaut, vermute ich, dass alle Stoffe, die ein OH-Molekül besitzen, in Wasser gut löslich sind. Jene Stoffe, die ein CH₃-Molekül besitzen, sind vermutlich gar nicht in Wasser löslich.“ (Protokoll Entwurf_2. Durchgang (1), Pos. 6)

Das vorangegangene Zitat ist zusätzlich ein Beispiel für eine Aussage, in der eine CH₃-Gruppe - beschrieben als CH₃-Molekül – als Strukturmerkmal erwähnt wird. Meine Vermutung, dass die ursprüngliche Tabelle bei einzelnen Schüler*innen zu Irritationen führte, basiert beispielsweise auf der im Anschluss angeführten Aussage.

„Aufgrund der Analyse der angehängten Tabelle haben wir geschlossen, dass Stoffe, welche ein CH₃-Molekül besitzen, nicht in Wasser (unter Normalbedingungen) lösbar sind.“

(Protokoll Entwurf_2. Durchgang (1), Pos. 7)

Die Tabelle unterstützt die Lernenden bei der Planung sowie Auswertung ihrer Untersuchungen. Die beiden nachfolgenden Aussagen zeigen, dass die Lernenden die Tabelle für ihre experimentelle Arbeitsweise unterschiedlich einsetzen. In der ersten Aussage wird beschrieben, dass die Tabelle einen ersten Ansatz liefert, zwischen welchen Stoffen Löslichkeitsversuche durchgeführt werden sollen. Die zweite Aussage verdeutlicht, dass die Tabelle als Auswertungsinstrument verwendet wird, um aus den Beobachtungen zur Untersuchung eine Schlussfolgerung zu ziehen.

„Durch Hilfe von den Strukturformeln ist es mir gut gelungen, dass ich wusste, welche Stoffe ich mischen musste.“ (Vierfeldertafel_2. Durchgang (14), Pos. 11)

„Die Ergebnisse werden wir uns notieren und nach Ähnlichkeiten im Molekülaufbau suchen.“

(Protokoll Entwurf_2. Durchgang (1), Pos. 6)

Die experimentelle Vorgehensweise der Lernenden ist exemplarisch in der anschließenden Aussage angeführt.

„Um die Ähnlichkeiten der Moleküle von sich ineinander lösenden Stoffen zu untersuchen, beschlossen wir, als ersten Schritt mehrere uns zur Verfügung stehende Kosmetik- und Hygieneprodukte auf ihre Löslichkeit ineinander zu überprüfen. Hierbei verglichen wir insgesamt zehn Stoffpaare.“ (Protokoll Entwurf_1.Durchgang (5), Pos. 22)

In den vorläufigen Schlussfolgerungen der Schüler*innen, welche von zu Hause aus am Unterricht teilnahmen, zeigt sich häufig die Verwendung des Begriffs der Polarität im Zusammenhang mit einer zusätzlichen Recherche. Im Folgenden ist eine exemplarisch ausgewählte Aussage angeführt, die aufzeigt, dass die Schüler*innen für ihre Schlussfolgerung recherchierten.

„Nach herausfordernder Recherche zur Forschungsfrage und Analyse unserer Versuchsergebnisse sind wir zum Schluss gekommen, dass die Löslichkeit von der Polarität der Moleküle abhängt. Polare Moleküle lassen sich mit polaren Molekülen gut lösen, unpolare mit unpolaren. Bei Butter und Haaröl sind die wichtigsten Inhaltsstoffe unpolar. Sie lassen sich in dem ebenfalls unpolaren Öl lösen. Lebensmittelfarbe, Zucker und Essig haben polare Moleküle. Sie lassen sich im ebenfalls polaren Wasser lösen.“ (Protokoll Entwurf_2. Durchgang (6), Pos. 7)

Das vorangegangene sowie das nachfolgende Zitat sind Beispiele dafür, dass die Polarität und die Hydrophilie anscheinend synonym als Teilchen- und Stoffeigenschaften angesehen werden.

„Weiters lösen sich kurzkettige Stoffe besser als langkettige Stoffe im Wasser, weil mit zunehmender Kettenlänge der hydrophobe Teil des Stoffes immer mehr wächst und sich der Stoff dadurch nicht mehr im Wasser lösen kann.“ (Protokoll final_1. Durchgang (3), Pos. 12)

Ein Beispiel für eine vorläufige Schlussfolgerung, in welcher Struktur-Eigenschafts Beziehungen anhand der Molekülstruktur oder des Vorkommens von Hydroxy-Gruppen innerhalb eines Moleküls beschrieben werden, ist im Folgenden angeführt.

„Es lösen sich jene Stoffe ineinander, welche eine ähnliche Strukturformel bzw. eine OH-Gruppe haben.“ (Protokoll Entwurf_2. Durchgang (11), Pos. 15)

Die Schüler*innen erkennen in den finalen Schlussfolgerungen, dass das Vorkommen von Hydroxy-Gruppen innerhalb eines Moleküls nicht allein entscheidend dafür ist, ob sich der entsprechende Stoff gut in Wasser löst. Die Lernenden entwickeln ihre Schlussfolgerung weiter und verallgemeinern diese. Ein Beispiel ist im Folgenden angeführt.

„Unsere Schlussfolgerung ist, dass das Vermischen von Flüssigkeiten nicht nur von den OH-Gruppen und O-Gruppen abhängt, sondern auch von der Elektronegativität, Polarität und der räumlichen Struktur.“ (Protokoll final_3. Durchgang (13), Pos. 7)

Ein Beispiel für eine finale Schlussfolgerung über zwischenmolekulare Wechselwirkungen ist im Anschluss angeführt.

„Trisiloxan und Limonen lösen sich ineinander, weil zwischen ihnen eine Dipol-Dipol-Wechselwirkung vorherrscht, die stärker ist als die Wechselwirkungen zwischen den Molekülen mit ihresgleichen. Bei Limonen wirken beispielsweise nur Van-der-Waals-Kräfte. Zwischen Ethanol und Glycerin bilden sich mit den OH-Gruppen Wasserstoffbrücken. Da sie selbst auch Wasserstoffbrücken bilden, ist es für die Moleküle egal, ob sie sich mit ihresgleichen oder dem anderen Molekül verbinden. Durch das Schütteln werden die Moleküle vermischt und lösen sich ineinander. Ethanol und Trisiloxan lösen sich nicht ineinander, sondern bilden zwei Phasen, weil die Wasserstoffbrücken zwischen den Ethanolmolekülen stärker sind als die zwischenmolekulare Wechselwirkung zwischen Ethanol und Trisiloxan.“ (Protokoll final_3. Durchgang (6), Pos. 18)

In dieser Aussage zeigen sich sprachliche und fachliche Ungenauigkeiten sowie unterschiedliche Präkonzepte. Ein Beispiel für eine fachliche Ungenauigkeit wäre, dass sich zwischen Trisiloxanmolekülen und R-Limonenmolekülen Dipol-Dipol-Wechselwirkungen ausbilden würden. Diese Dipol-Dipol-Wechselwirkungen wären sogar stärker als die Wechselwirkungen, die sich zwischen den Molekülen derselben Art ausbilden. In der Aussage *„[...] ist es für die Moleküle egal, ob sie sich mit ihresgleichen oder dem anderen Molekül verbinden.“ (Protokoll final_3. Durchgang (6), Pos. 18)* ist sowohl ein Anthropomorphismus

als auch das Präkonzept einer chemischen Reaktion enthalten, um nur wenige Beispiele zu nennen.

Diese knappe Analyse des vorangegangenen Zitats verdeutlicht exemplarisch, dass sich im Zuge der Nennung zwischenmolekularer Wechselwirkungen auch sprachliche bzw. fachliche Ungenauigkeiten sowie Präkonzepte von Schüler*innen zeigen.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass unterschiedliche sprachliche bzw. fachliche Ungenauigkeiten oder Präkonzepte in vielen Schüler*innenaussagen auftreten. Diese werden im Kapitel 5.2.3 *Zusammenfassung und Beschreibung der Ergebnisse* näher beschrieben, sofern sie in der Mehrheit der Aussagen enthalten sind.

Das Interesse an der Beantwortung weiterführender Fragen zeigt sich beispielsweise in der im Anschluss angeführten Frage.

*„Gibt es auch einen Zusammenhang zwischen Löslichkeit und Mehrfachbindungen?“
(Protokoll Entwurf_2. Durchgang (6), Pos. 7)*

Im Folgenden sind Aussagen aus Stellungnahmen unterschiedlicher Unterrichtsdurchführungen zu den Concept Cartoons angeführt. Das folgende Beispiel zeigt, dass die Schüler*innen die Polarität der Moleküle als wesentlich erachten, um die mangelnde Löslichkeit von Essig in Öl zu erklären. Dabei wird auch verdeutlicht, dass die Lernenden nicht adäquat zwischen der Polarität als Teilcheneigenschaft und der Hydrophilie als Stoffeigenschaft unterscheiden.

*„Essig → polar (wegen COOH-Gruppe) → hydrophil
Öl → unpolar, weil langkettig → hydrophob → mischen sich nicht“
(CoCa 3. Durchgang (15), Pos. 1-2)*

In den nachfolgenden beiden Schüler*innenaussagen zeigt sich, dass die Lernenden mit fortschreitender Unterrichtsdurchführung nicht mehr nur Hydroxy-Gruppen innerhalb eines Moleküls, sondern das gesamte Molekül betrachten, um Aussagen über die Löslichkeit von Essig in Öl zu treffen.

„[...] je mehr Hydroxy-Gruppen ein Molekül hat, desto leichter lässt es sich im Wasser lösen.“ (CoCa 1. Durchgang (9), Pos. 1)

*„Die Aussage ist unangemessen, denn obwohl Öle tatsächlich keine OH-Gruppen haben, ist das nicht der Grund, dass sie sich nicht lösen, sondern, weil sie großteils unpolar sind.“
(CoCa 3. Durchgang (15), Pos. 4)*

Im Anschluss sind Stellungnahmen der Schüler*innen angeführt, die Argumentationen über zwischenmolekulare Wechselwirkungen beinhalten. Die folgende Aussage ist ein Beispiel dafür, dass die Schüler*innen der letzten Unterrichtsdurchführung korrekt argumentieren, dass sich zwischen allen Molekülen Van-der-Waals-Kräfte ausbilden können.

*„Die Aussage ist falsch, da sich immer Van-der-Waals-Kräfte zwischen den Molekülen bilden. Zwar hängt es von der Größe ab, wie stark sie sind, aber sie sind immer vorhanden.“
(CoCa 3. Durchgang (16), Pos. 1)*

Im Folgenden ist ein Beispiel angeführt, in dem sich das Präkonzept, es würde beim Lösevorgang zu einer chemischen Reaktion kommen, zeigt. In diesem Beispiel zeigt sich die Verwendung des Begriffs *Bindung*.

„[...], weil die Löslichkeit von zwei Stoffen nicht durch eine OH-Gruppe definiert ist, sondern durch Bindungen zwischen ihnen.“ (CoCa_2. Durchgang (6), Pos. 2)

Im Gegensatz zu dieser Aussage wird im nachfolgenden Zitat deutlich, dass die Schüler*innen der letzten Unterrichtsdurchführung aktiv gegen das Präkonzept der chemischen Reaktion argumentieren.

„Unangemessene Aussage, da es sich bei zwischenmolekularen Wechselwirkungen nicht um Reaktionen handelt. Jedoch stimmt es, dass die Moleküle im Essig und im Öl nicht die gleiche Polarität haben.“ (CoCa 3. Durchgang (11), Pos. 5)

Die anschließend angeführten Aussagen zeigen Beispiele dafür, dass in Aussagen der ersten Unterrichtsdurchführung das Präkonzept des Verschwindens auftritt. Hingegen argumentieren Lernende der dritten Unterrichtsdurchführung aktiv dagegen.

„[...], somit sollten sich die OH-Gruppen auflösen. Da Öl keine OH-Gruppen hat, löst es sich nicht auf.“ (CoCa 1. Durchgang (10), Pos. 1)

„Seine Aussage ist falsch, weil sich die OH-Gruppe nicht auflösen kann.“ (CoCa 3. Durchgang (10), Pos. 3)

Die in diesem Kapitel angeführten Schüler*innenaussagen verdeutlichen vermehrt eine unzureichende Unterscheidung der Lernenden zwischen Stoff- und Teilchenebene. Deshalb werden an dieser Stelle keine weiteren Aussagen angeführt.

6 Diskussion

Im Fokus dieser Arbeit stehen die Entwicklung, Erprobung und Weiterentwicklung einer Lernumgebung. Mithilfe dieser Lernumgebung erklären die Schüler*innen das Löslichkeitsverhalten ausgewählter Inhaltsstoffe einer flüssigen Haarkur über Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen. Die Schüler*innen erarbeiten diese fachlichen Aspekte über Forschendes Lernen.

Die Erprobung dieser Lernumgebung erfolgte aufgrund der Covid-19-Pandemie für alle drei Unterrichtsdurchführungen in drei unterschiedlichen Modi. Die Lernumgebung wurde im Distance-Learning, im Hybrid-Unterricht sowie im Präsenzunterricht eingesetzt. Aufgrund dieser unterschiedlichen Rahmenbedingungen sind die einzelnen Unterrichtsdurchführungen schwerer vergleichbar als es in durchgehendem Präsenzunterricht der Fall gewesen wäre. Allerdings ist, insbesondere weil die Unterrichtsdurchführungen in verschiedenen Modi durchgeführt wurden, hervorzuheben, dass die Lernumgebung auf vielfältige Weise einsetzbar und gewinnbringend ist.

Ich selbst habe die Lernumgebung theoriebasiert entwickelt, praktisch erprobt und auf Basis der erhobenen und ausgewerteten Daten weiterentwickelt. Somit habe ich die Rolle der Forscherin und der Lehrperson eingenommen. Obwohl argumentiert werden kann, dass mein persönliches Handeln die Unterrichtsdurchführung beeinflusst hat, kann diese persönliche Teilhabe auch als vorteilhaft angesehen werden, um, unter dem Gesichtspunkt der Forschung, ein umfassendes Bild zur Unterrichtsdurchführung zu gewinnen.

Die Analyse der Daten erfolgte anhand zweier Kategoriensysteme. Diese wurden über die Methode der zusammenfassend strukturierenden Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) entwickelt. Bei der Entwicklung dieser Kategoriensysteme wurde darauf geachtet, dass die Ergebnisse reliabel sind, weshalb eine Intercoder-Reliabilität durchgeführt wurde.

Die Datenauswertung sowie die Beschreibung der Ergebnisse zeigen, dass diese Lernumgebung die Schüler*innen unterstützt, vielfältige Erfahrungen im Zusammenhang mit der Planung, Durchführung und Reflexion eines Forschungsprozesses sammeln zu können. Die Schüler*innen nützen das entwickelte Unterrichtsmaterial gewinnbringend, um Hypothesen zu bilden, Untersuchungen zu planen, durchzuführen und zu protokollieren sowie aus ihren Beobachtungen Schlüsse zu ziehen.

Es zeigt sich, dass die Lernenden einen authentischen Forschungsprozess erleben, wie er in Anlehnung an Pedaste et al. (2015, S. 51 ff) im Kapitel 1.2 *Der Forschungsprozess im Zuge Forschenden Lernens* beschrieben wird. Die Phase der *Orientierung* wird durch die Beobachtungen, welche die Schüler*innen im Zuge der Auseinandersetzung mit der Phasenbildung innerhalb der flüssigen Haarkur machen, initiiert. In der Phase der *Konzeptualisierung* bilden die Schüler*innen Hypothesen zur Forschungsfrage "Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander lösen?". An diese Phase reihen sich die Phasen der *Untersuchung* und *Schlussfolgerung*, gefolgt von jener der *Diskussion*.

Ein Teil der Schüler*innen nützt die Lernumgebung zur Formulierung weiterführender Fragen. Basierend auf diesen Fragen könnte ein weiterer Forschungsprozess auf Level 3 initiiert werden, wie auch im Kapitel 1.3 *Level Forschenden Lernens* in Anlehnung an Abels und Lembens (2015, S. 5) beschrieben. Die Formulierung weiterführender Fragen zeigt außerdem, dass es sich beim Forschungsprozess nicht um eine lineare Abfolge von Phasen, sondern um ein Forschungsnetz, wie es von Koliander und Steininger (2018, S. 11) bezeichnet wird, handelt. Aufgrund der zeitlichen Rahmenbedingungen der Unterrichtsdurchführung kann eine weitere Vertiefung in den Forschungsprozess allerdings nicht erfolgen.

Die Vorgehensweise der Lernenden während des Forschungsprozesses zeigt, dass das Forschende Lernen einen Anlass zur Weiterentwicklung eigener Kompetenzen liefert. Diese Kompetenzentwicklung bezieht sich insbesondere auf die Deskriptoren EO1, EO3, EO6 und KO5 der Handlungsdimension des Kompetenzmodells für die AHS Oberstufe (vgl. Abels et al., 2012, S. 7 f). Es zeigt sich, dass die im Kapitel 2.4 *Kompetenzorientierung* beschriebene Kompetenzorientierung gegeben ist. Die Lernumgebung deckt damit den im Kapitel 1.1 *Besonderheiten Forschenden Lernens* beschriebenen Aspekt *Learning to do Science* ab (vgl. Lederman, 2006, S. 310; vgl. NRC et al., 2000, S. 18).

Die Rückmeldungen der Schüler*innen zum Forschenden Lernen verdeutlichen, dass ein Teil der Lernenden den Einstieg in das Forschendes Lernen, insbesondere die Formulierung von Hypothesen oder die Planung einer passenden Untersuchung, als herausfordernd empfindet. Die Mehrheit der Lernenden hingegen beschreibt das Unterrichtsmaterial als ausreichend erklärt, um selbstständig arbeiten zu können. Es zeigt sich, dass das Unterstützungsangebot einen wesentlichen Beitrag zur Differenzierung leistet, wodurch es den Schüler*innen gelingt,

das Forschende Lernen erfolgreich und zeitgemäß bewältigen zu können. Diese Differenzierung wird insbesondere durch den Einsatz der Gestuften Hilfen ermöglicht, wodurch das Forschende Lernen bis zu Level 0 vereinfacht werden kann. Der erfolgreiche Einsatz Gestufter Hilfen als Differenzierungsmöglichkeit deckt sich mit den Ausführungen von Hänze et al. (2010, S. 64 f) sowie Goldman und Leisen (2003, S. 1), welche im Kapitel *1.4.1 Prinzipien für die Planung Forschenden Lernens durch die Lehrperson* näher erläutert werden.

Die Datenauswertung belegt, dass die Schüler*innen das Unterrichtsmaterial gewinnbringend nützen, um Fachwissen zu erwerben und dadurch die Forschungsfrage „*Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander lösen?*“ beantworten zu können.

Die Schüler*innen begründen die Löslichkeit ausgewählter Stoffe in Wasser mehrheitlich über Struktur-Eigenschafts Beziehungen sowie über die Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen. Während die Lernenden diese Löslichkeit zu Beginn einer Unterrichtsdurchführung hauptsächlich über das Vorkommen einer Hydroxy-Gruppe innerhalb eines Moleküls begründen, beinhalten die finalen Schlussfolgerungen detailliertere Erklärungen und allgemeingültigere Aussagen. Damit entspricht die Lernumgebung dem Aspekt *Learning Science*, welcher im Kapitel *1.1 Besonderheiten Forschenden Lernens* als wesentlicher Aspekt Forschenden Lernens beschrieben wird (vgl. Lederman, 2006, S. 310; vgl. NRC et al., 2000, S. 18).

In den Schüler*innenaussagen treten auch unterschiedliche unangemessene Präkonzepte auf. Auffällig sind vor allem jene Präkonzepte, in welchen der Lösevorgang als eine chemische Reaktion oder als ein Prozess des Verschwindens beschrieben wird. Diese Präkonzepte decken sich mit jenen, welche in etlichen Studien (z.B.: vgl. Calyk et al., 2005, S. 29 ff; vgl. Grüß-Niehaus & Schanze, 2011, S. 19 ff) beschrieben und in dieser Arbeit im Kapitel *3.4 Ausgewählte Präkonzepte von Schüler*innen zum Lösevorgang* erläutert werden.

Da diese Präkonzepte allerdings nur in einzelnen Protokollen formuliert wurden, kann im Rahmen dieser Arbeit aufgrund des Umfangs nicht detailliert darauf eingegangen werden. Um einen möglichst ausführlichen Einblick in das Datenmaterial zu gewähren, wird im Kapitel *5.2.1 Beschreibung eines Fallbeispiels* ein Fallbeispiel vorgestellt, in welchem die Aussagen einer Person im Detail analysiert und interpretiert werden.

Ausgewählte Aussagen von Lernenden, welche wiederholt auftretende Präkonzepte enthalten, wurden für die Sprechblasen des Concept Cartoons der jeweils folgenden Unterrichtsdurchführung verwendet. Dadurch wurde über ein formatives Assessment erhoben, inwiefern sich die Präkonzepte durch das Unterrichtsmaterial und die Unterrichtsgestaltung (un-)angemessen entwickeln. Es ist positiv hervorzuheben, dass die Schüler*innenaussagen mit jeder weiteren Unterrichtsdurchführung weniger Präkonzepte enthalten. Ein Teil der Lernenden argumentiert sogar aktiv gegen die Präkonzepte, die in den Sprechblasen angeführt sind. Diese Reduzierung unangemessener Präkonzepte unterstreicht die Bedeutung des Einsatzes dieser Lernumgebung.

Das formative Assessment zeigt auch, dass fachlich und sprachlich korrekte Erklärungen sowie Schlussfolgerungen für die Schüler*innen eine große Herausforderung darstellen. Die Lernumgebung bietet den Lernenden eine Übungsmöglichkeit für eine solche fachlich korrekte Argumentation. Sie unterstützt damit die Kompetenzentwicklung der Schüler*innen, insbesondere in Bezug auf die Deskriptoren WO3 und EO4 – wie auch im Kapitel *2.4 Kompetenzorientierung* angeführt (vgl. Abels et al., 2012, S. 7 f).

Die Datenauswertung und die Beschreibung der Ergebnisse zeigen weiters, dass eine korrekte Unterscheidung zwischen Stoff- und Teilchenebene nicht gelingt. Insbesondere in diesem Zusammenhang erweist sich auch die Formulierung von fachlich und sprachlich korrekten Erklärungen als anspruchsvoll für die Schüler*innen. Die Lernumgebung allein reicht nicht aus, um die Fähigkeit, fachlich und sprachlich korrekte Erklärungen zu formulieren, angemessen weiterzuentwickeln. Es ist daher wesentlich, den Lernenden auch zukünftig Möglichkeiten der eigenständigen Auseinandersetzung sowie der Formulierung von Erklärungen zu naturwissenschaftlichen Themen zu bieten. Diese Möglichkeiten sind vor allem in Bezug auf den Deskriptor WO3 der Handlungsdimension des Kompetenzmodells der AHS Oberstufe wesentlich (vgl. Abels et al., 2012, S. 7 f).

In Hinblick auf weitere zukünftige Forschungsinteressen möchte ich anmerken, dass das im Rahmen dieser Arbeit erhobene Datenmaterial großes Potential besitzt, um weitere Forschungsfragen bezüglich der Unterscheidung zwischen Stoff- und Teilchenebene in Schüler*innenaussagen zu untersuchen.

Die vorliegende Arbeit zeigt, wie eine Lernumgebung gewinnbringend gestaltet werden kann, um das Prinzip *Ähnliches löst Ähnliches* mit Schüler*innen der Sekundarstufe II zu erarbeiten. Da sich zeigt, wie bereichernd diese Lernumgebung für das Lernen der Schüler*innen ist,

empfiehlt sich ihr Einsatz im Unterricht. Lehrpersonen wird es dadurch ermöglicht, regelmäßig die Präkonzepte ihrer Schüler*innen sowie ihren Lernfortschritt zu evaluieren.

Die Ergebnisse belegen, dass die Lernumgebung einen Anlass bietet, um das Interesse, den inneren Antrieb und die Neugierde der Schüler*innen zu wecken. Sie regt die Schüler*innen dazu an, neue Wege zu beschreiten und auf vielfältige Weise zu lernen.

Literaturverzeichnis

- Abels, S., Becker, R., Kern, G., Kerschbaumer, M., Koliander, B., Langer, E., Lembens, A., Puddu, S., & Steininger, R. (2012). *Die kompetenzorientierte Reifeprüfung Chemie. Richtlinien und Beispiel für Themenpool und Prüfungsaufgaben*. Bundesministerium für Bildung und Frauen.
- Abels, S., & Lembens, A. (2015). Mysteries als Einstieg ins Forschendes Lernen im Chemieunterricht. *Chemie & Schule*, 30(1b), 3–5.
- Abraham, M. R., Williamson, V. M., & Westbrook, S. L. (1994). A cross-age study of the understanding of five chemistry concepts. *Journal of research in science teaching*, 31(2), 147–165.
- Abrams, E. D., Southerland, S. A., & Evans, C. A. (2008). Introduction: Inquiry in the Classroom: Identifying Necessary Components of a Useful Definition. In E. D. Abrams, S. A. Southerland, & P. Silva (Hrsg.), *Inquiry in the classroom: Realities and opportunities* (S. xi–xlii). IAP.
- Atkins, P. W., & De Paula, J. (2006). *Physikalische Chemie*. (4. Auflage). Wiley-VCH.
- Aulia, E. V., Poedjiastoeti, S., & Agustini, R. (2018). The Effectiveness of Guided Inquiry-based Learning Material on Students' Science Literacy Skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 947, 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/947/1/012049>
- Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S., & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt*. (3. Auflage). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56492-9>
- 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. <https://doi.org/10.1002/sce.20390>
- BMBWF. (2018). *Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne—Allgemeinbildende höhere Schulen*. Bundesministerium Bildung, Wissenschaft und Forschung. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568>
- Bildungsstandards im Schulwesen, (2009). <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/II/2009/1>

- Bybee, R. W. (2006). Scientific Inquiry and Science Teaching. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education* (S. 1–14). Springer.
- Bybee, R. W. (2014). The BSCS 5E Instructional Model: Personal Reflections and Contemporary Implications. *Science and Children*, 51(8), 10–13. Biological Science Collection; Social Science Premium Collection.
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Carlson Powell, J., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). The BSCS 5E Instructional Model: Origins, Effectiveness, and Applications. BSCS. <https://bscs.org/bscs-5e-instructional-model/>
- Calyk, M., Ayas, A., & Ebenezer, J. V. (2005). A Review of Solution Chemistry Studies: Insights into Students' Conceptions. *Journal of Science Education and Technology*, 14(1), 29–50. <https://doi.org/10.1007/s10956-005-2732-3>
- Chin, C., & Teou, L. (2009). Using Concept Cartoons in Formative Assessment: Scaffolding students' argumentation. *International Journal of Science Education*, 31(10), 1307–1332. <https://doi.org/10.1080/09500690801953179>
- Colburn, A. (2000). An Inquiry Primer. *Science Scope*, 23(6), 42–44. JSTOR.
- Demuth, R., Ralle, B., & Parchmann, I. (2005). Basiskonzepte—Eine Herausforderung an den Chemieunterricht. *CHEMKON*, 12(2), 55–60. <https://doi.org/10.1002/ckon.200510021>
- Duschl, R. A., & Bybee, R. W. (2014). Planning and carrying out investigations: An entry to learning and to teacher professional development around NGSS science and engineering practices. *International Journal of STEM Education*, 1(12), 9. <https://doi.org/10.1186/s40594-014-0012-6>
- Ebenezer, J. V. (2001). A hypermedia environment to explore and negotiate students' conceptions: Animation of the solution process of table salt. *Journal of Science Education and Technology*, 10(1), 73–92.
- Flick, L. B., & Lederman, N. G. (2006). Introduction. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education*. (S. ix–xviii). Springer.

- Goldmann, J., & Leisen, J. (2003). *Abgestufte Lernhilfen*. Friedrich Verlag.
www.josefleisen.de/downloads/methodenwerkzeuge/54%20Abgestufte%20Lernhilfen%20NiU%202003.pdf
- Grüß-Niehaus, T., & Schanze, S. (2009). *Das Salz gibt die Farbe ab: Zur Einführung eines tragfähigen Löslichkeitskonzepts*. na.
- Grüß-Niehaus, T., & Schanze, S. (2010). Lernervorstellungen zum Dichte-Begriff. *Chemkon*, 2(17), 71–74.
- Grüß-Niehaus, T., & Schanze, S. (2011). Eine kategoriegestützte Übersicht von Lernervorstellungen zum Löslichkeitsbegriff. *CHEMKON*, 18(1), 19–26.
<https://doi.org/10.1002/ckon.201010141>
- Hänze, M., Schmidt-Weigand, F., & Stäudel, L. (2010). Gestufte Lernhilfen. „*Gestufte Lernhilfen*.“ *Individuelle Förderung durch Innere Differenzierung. Ein Praxishandbuch für Lehrerinnen und Lehrer der Sekundarstufe II.*, 63–73.
- Hopf, M., Kapelari, S., & Lembens, A. (2017). Naturwissenschaftliche Grundbildung—Welchen Beitrag kann kompetenzorientierter Unterricht dazu leisten? *Plus Lucis*, 1, 4–10.
- Kabapinar, F., Leach, J., & Scott, P. (2004). The design and evaluation of a teaching–learning sequence addressing the solubility concept with Turkish secondary school students. *International Journal of Science Education*, 26(5), 635–652.
<https://doi.org/10.1080/09500690310001614000>
- Keogh, B., & Naylor, S. (1999). Concept cartoons, teaching and learning in science: An evaluation. *International Journal of Science Education*, 21(4), 431–446.
<https://doi.org/10.1080/095006999290642>
- Kern, G., Koliander, B., & Lembens, A. (2017). Wissen und Können erwerben, anwenden und sichtbar machen—Kompetenzmodelle in den naturwissenschaftlichen Fächern. *Plus Lucis*, 1, 19–23.
- Koliander, B., & Steininger, R. (2018). Forschendes Lernen auf Level 2: Schülerinnen und Schüler planen selbstständig die Durchführung von Versuchen. *Chemie & Schule*, 33(1), 11–12.

- Latscha, H. P., Klein, H. A., & Mutz, M. (2011). *Allgemeine Chemie*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17523-7>
- Lederman, N. G. (2006). Syntax of Nature of Science within Inquiry and Science Instruction. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education*. (S. 301–317). Springer.
- Lembens, A., & Abels, S. (2015). Forschendes Lernen nach dem 5E-Modell und Showmanship. *Chemie & Schule*, 30(1b), 6–7.
- Lembens, A., & Rehm, M. (2010). Chemie und Demokratielernen—Zwei unvereinbare Welten? In H. Ammerer, R. Krammer, & U. Tanzer (Hrsg.), *Politisches Lernen. Der Beitrag der Unterrichtsfächer zur politischen Bildung* (S. 281–302). StudienVerlag.
- Lembens, A., Weiglhofer, H., & Stadler, H. (2009). PISA 2006 Naturwissenschaft: Das Konzept aus fachdidaktischer Sicht. *Leykam*, 1–8.
- Lorimer, J. W., & Cohen-Adad, R. (2003). Thermodynamics of Solubility. In *The Experimental Determination of Solubility*. (S. 19–76). J. Wiley & Sons.
- Magyar, R., Liebhart, W., & Jelinek, G. (2015). *EL-MO Elemente-Moleküle*. (1. Auflage). Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse*. (12. Aufl.). Beltz Verlagsgruppe. <https://content-select.com/de/portal/media/view/552557d1-12fc-4367-a17f-4cc3b0dd2d03>
- Mortimer, C. E., & Müller, U. (2019). *Chemie: Das Basiswissen der Chemie* (13., Auflage.). <https://doi.org/10.1055/b-006-163279>
- National Research Council. (1996). *National Science Education Standards: Observe, Interact, Change, Learn*. National Academies Press; eBook Collection (EBSCOhost). <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1091&site=ehost-live>
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- National Research Council, Mathematics, and Engineering Education Center for Science, & Committee on Development of an Addendum to the National Science Education

- Standards on Scientific Inquiry. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. <https://doi.org/10.17226/9596>
- Nentwig, P. M., Demuth, R., Parchmann, I., Ralle, B., & Gräsel, C. (2007). Chemie im Kontext: Situating Learning in Relevant Contexts while Systematically Developing Basic Chemical Concepts. *Journal of Chemical Education*, 84(9), 1439–1444. <https://doi.org/10.1021/ed084p1439>
- OECD. (2018). *PISA for Development Assessment and Analytical Framework: Reading, Mathematics and Science*. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264305274-en>
- Parchmann, I., Scheffel, L., & Stäudel, L. (2010). Struktur-Eigenschafts-Prinzipien. *Unterricht Chemie*, 21(115), 8–11.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., Jong, T. de, Riesen, S. A. N. van, Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Reitinger, J. (2013). *Forschendes Lernen: Theorie, Evaluation und Praxis in naturwissenschaftlichen Lernarrangements*. Prolog-Verl.
- Riedel, E. (2019). *Allgemeine und Anorganische Chemie*. De Gruyter,. <https://doi.org/10.1515/9783110583953>
- Roberts, D. A. (2007). Scientific Literacy/ Science Literacy. In *Handbook of Research on Science Education: Bd. Volume I* (1. Auflage, S. 729–780). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- RÖMPP-Redaktion. (2002). *Solvatation*. (F. Böckler, B. Dill, U. Dingerdissen, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-19-02934>
- Scheffel, L., Beckhaus, R., & Parchmann, I. (2010). Struktur & Eigenschaften im Chemieunterricht. *Unterricht Chemie*, 21(115), 2–7.
- Schmidt, P. (2019). *Allgemeine Chemie*. (1st ed. 2019.). Springer Berlin Heidelberg Imprint: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57846-9>

- Schmidt, S., Rebentisch, D., & Parchmann, I. (2003). *Chemie im Kontext auch für die Sekundarstufe I: Cola und Ketchup im Anfangsunterricht*. 10(1), 6–16.
- Selley, N. J. (2000). Students' spontaneous use of a particulate model for dissolution. *Research in Science Education*, 30(4), 389–402.
- Sieve, B. (2021). Fallen und Stolpersteine in der Verwendung der chemischen Fachsprache—Ideen für die Aus- und Fortbildung von Chemielehrkräften. *Chemie & Schule*, 36(1), 17–21.
- Sitzmann, H. (2006). *Hydratation*. (F. Böckler, B. Dill, U. Dingerdissen, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-08-02120>
- Steininger, R. (2017). *Concept Cartoons als Stimuli für Kleingruppendiskussionen im Chemieunterricht: Beschreibung und Analyse einer komplexen Lerngelegenheit (Dissertation)*. Logos Verlag Berlin GmbH.
- Steininger, R. (o.J.). *Warum löst sich das Öl nicht im Essig der Salatmarinade?* unveröffentlichtes Concept Cartoon.
- The Design-Based Research Collective. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>
- Tien, L. T., Teichert, M. A., & Rickey, D. (2007). Effectiveness of a MORE laboratory module in prompting students to revise their molecular-level ideas about solutions. *Journal of Chemical Education*, 84(1), 175.
- Wacker Chemie. (2020, Juni 30). *Schulversuchskoffer CHEM2DO®—Intermolekulare Wechselwirkungen*. <https://www.youtube.com/watch?v=5NWZQ4To5Ug&t=436s>
- Yore, L. D., Henriques, L., Crawford, B., Smith, L., Gomez-Zwiep, S., & Tillotson, J. (2008). Selecting and Using Inquiry Approaches to Teach Science: The Influence of Context in Elementary, Middle, and Secondary Schools. In E. Abrams, S. A. Southerland, & P. Silva (Hrsg.), *Inquiry in the classroom: Realities and opportunities* (S. 39–87). IAP.

Abkürzungsverzeichnis

5E	Engage, Explore, Explain, Extend, Evaluate
AECC Chemie	Austrian Educational Competence Centre Chemistry
AHS	Allgemeinbildende Höhere Schule
BMBWF	Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung
CoCa	Concept Cartoon
EO	Erkenntnisse gewinnen
IBL	Inquiry Based Learning
KO	Konsequenzen ziehen
NRC	National Research Council
NSES	National Science Education Standards
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
VSEPR	Valence Shell Electron Pair Repulsion
WO	Wissen organisieren
zmWW	Zwischenmolekulare Wechselwirkungen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prozess Forschenden Lernens (eigene Darstellung in Anlehnung an Pedaste et al. (2015, S. 51 ff)).....	3
Abbildung 2: Prinzipien Forschenden Lernens (eigene Darstellung in Anlehnung an Reitingner (2013, S. 46)).....	8
Abbildung 3: 5E-Modell (eigene Darstellung in Anlehnung an Bybee et al. (2006, S. 41) sowie Lembens und Abels (2015, S. 6)).....	9
Abbildung 4: Übersicht Kompetenzmodell (eigene Darstellung in Anlehnung an Kern et al. (2017, S. 20)).....	19
Abbildung 5: Molekülgeometrie nach dem VSEPR-Modell (eigene Darstellung erstellt über www.geogebra.org in Anlehnung an Riedel (2019, S. 95)).....	32
Abbildung 6: Ausbildung einer Solvationssphäre (eigene Darstellung).....	34
Abbildung 7: Ausbildung von Wasserstoffbrücken (eigene Darstellung)	37
Abbildung 8: Übersicht zu Schüler*innenvorstellungen zum Lösevorgang (eigene Darstellung in inhaltlicher Anlehnung an Calyk et al. (2005) und Grüß-Niehaus & Schanze (2011)).....	38
Abbildung 9: Feedbacktafel (eigene Darstellung)	42
Abbildung 10: Überblick über das Unterrichtsmaterial (eigene Darstellung).....	45
Abbildung 11: Aufgabenstellung im Arbeitsmaterial (eigene Darstellung).....	46
Abbildung 12: Planungsraster (eigene Darstellung)	47
Abbildung 13: Tabelle mit Strukturformeln (eigene Darstellung)	48
Abbildung 14: Vorstufe Tabelle mit Strukturformeln (eigene Darstellung)	49
Abbildung 15: Gestufte Hilfen Tipp 2 (eigene Darstellung)	50
Abbildung 16: Gestufte Hilfen Tipp 5 (eigene Darstellung)	51
Abbildung 17: Protokollleitfaden (eigene Darstellung).....	52
Abbildung 18: Animation zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen (eigene Darstellung)	53
Abbildung 19: Kurzübersicht zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen (eigene Darstellung in inhaltlicher Anlehnung an Magyar et al. (2015, S. 32) und Riedel (2019, S. 138))	54

<i>Abbildung 20: Anwendungsbeispiel Hexan-1-ol (eigene Darstellung).....</i>	<i>55</i>
<i>Abbildung 21: Concept Cartoon (in Anlehnung an Steininger (o.J., unveröffentlicht)).....</i>	<i>56</i>
<i>Abbildung 22: Ideensammlung erste Unterrichtsdurchführung (eigene Darstellung erstellt über www.Padlet.com)</i>	<i>63</i>
<i>Abbildung 23: Sammlung erster Schlussfolgerungen erste Unterrichtsdurchführung (erstellt über www.padlet.com).....</i>	<i>64</i>
<i>Abbildung 24: Beispielfrage aus dem Quiz zu zwischenmolekularen Wechselwirkungen (eigene Darstellung).....</i>	<i>65</i>
<i>Abbildung 25: Exemplarisches Flipchart zweite Unterrichtsdurchführung Gruppe A (eigene Fotografie)</i>	<i>67</i>
<i>Abbildung 26: Sammlung erster Schlussfolgerungen zweite Unterrichtsdurchführung Gruppe B (eigene Darstellung)</i>	<i>68</i>
<i>Abbildung 27: Exemplarische Flipcharts, dritte Unterrichtsdurchführung (eigene Fotografie)</i>	<i>70</i>
<i>Abbildung 28: Entwicklung des Kategoriensystems zu den Rückmeldungen der Schüler*innen (eigene Darstellung).....</i>	<i>73</i>
<i>Abbildung 29: Grafische Darstellung des finalen Kategoriensystems zur zweiten Forschungsfrage (eigene Darstellung erstellt über MAXQDA Plus)</i>	<i>78</i>
<i>Abbildung 30: Übersicht Hauptkategorien des Kategoriensystems zur dritten Forschungsfrage (eigene Darstellung)</i>	<i>81</i>
<i>Abbildung 31: Codierungshäufigkeit zur zweiten Forschungsfrage in ausgewählten Dokumenten (eigene Darstellung erstellt über MAXQDA Plus)</i>	<i>84</i>
<i>Abbildung 32 : Hypothese eines Fallbeispiels (Protokoll Entwurf_3. Durchgang (5), Pos. 6)</i>	<i>91</i>
<i>Abbildung 33: Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung eines Fallbeispiels (Protokoll Entwurf_3. Durchgang (5), Pos. 6).....</i>	<i>91</i>
<i>Abbildung 34: Schlussfolgerung eines Fallbeispiels (Protokoll Entwurf_3. Durchgang (5), Pos. 7).....</i>	<i>92</i>

<i>Abbildung 35: Weiterführende Frage eines Fallbeispiels (Protokoll Entwurf_3. Durchgang (5), Pos. 7).....</i>	<i>93</i>
<i>Abbildung 36: Schlussfolgerung des finalen Protokolls eines Fallbeispiels (Protokoll Entwurf_3. Durchgang (5), Pos. 7).....</i>	<i>94</i>
<i>Abbildung 37: Concept Cartoon (in Anlehnung an Steininger (o.J., unveröffentlicht)).....</i>	<i>95</i>
<i>Abbildung 38: Hauptkategorien des Kategoriensystems zur dritten Forschungsfrage (eigene Darstellung)</i>	<i>97</i>
<i>Abbildung 39: Codierungshäufigkeit zur dritten Forschungsfrage - Hypothesenbildung (eigene Darstellung erstellt über MAXQDA Plus).....</i>	<i>97</i>
<i>Abbildung 40: Codierungshäufigkeit zur dritten Forschungsfrage - vorläufige Schlussfolgerung (eigene Darstellung erstellt über MAXQDA Plus)</i>	<i>98</i>
<i>Abbildung 41: Codierungshäufigkeit zur dritten Forschungsfrage - überarbeitete Schlussfolgerung (eigene Darstellung erstellt über MAXQDA Plus)</i>	<i>98</i>
<i>Abbildung 42: Darstellung der Molekülstruktur eines Triglycerids in der Tabelle (eigene Darstellung)</i>	<i>100</i>
<i>Abbildung 43: Zentrale Schüler*innenvorstellungen in den Stellungnahmen zu den Concept Cartoons (eigene Darstellung).....</i>	<i>103</i>
<i>Abbildung 44: Titelblatt des Planungsrasters (eigene Darstellung und Fotografie)</i>	<i>132</i>
<i>Abbildung 45: Planungsraster (eigene Darstellung)</i>	<i>133</i>
<i>Abbildung 46: Protokollleitfaden (eigene Darstellung).....</i>	<i>134</i>
<i>Abbildung 47: Tabelle mit Strukturformeln (eigene Darstellung)</i>	<i>135</i>
<i>Abbildung 48: Einführungstext zur Verwendung Gestufter Hilfen (eigene Darstellung).....</i>	<i>136</i>
<i>Abbildung 49: Tippkarte 1 (eigene Darstellung)</i>	<i>136</i>
<i>Abbildung 50: Tippkarte 2 (eigene Darstellung)</i>	<i>137</i>
<i>Abbildung 51: Tippkarte 3 (eigene Darstellung)</i>	<i>137</i>
<i>Abbildung 52: Tippkarte 4 (eigene Darstellung)</i>	<i>138</i>
<i>Abbildung 53: Tippkarte 5 (eigene Darstellung)</i>	<i>138</i>

<i>Abbildung 54: Concept Cartoon erste Unterrichtsdurchführung (in Anlehnung an Steininger (o.J., unveröffentlicht))</i>	139
<i>Abbildung 55: Concept Cartoon zweite Unterrichtsdurchführung (In Anlehnung an Steininger (o.J., unveröffentlicht))</i>	140
<i>Abbildung 56: Concept Cartoon dritte Unterrichtsdurchführung (in Anlehnung an Steininger (o.J., unveröffentlicht))</i>	141
<i>Abbildung 57: Kategoriensystem zur zweiten Forschungsfrage (eigene Darstellung über MAXQDA Plus)</i>	142
<i>Abbildung 58: Kategoriensystem zur dritten Forschungsfrage (eigene Darstellung über MAXQDA Plus)</i>	143

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Level Forschenden Lernens (übersetzt und erweitert nach Abrams et al. (2008, S.xx), Blanchard et al. (2010, S. 581) und Colburn (2000, S. 42))</i>	6
<i>Tabelle 2: Auszug aus der Handlungsdimension des Kompetenzmodell (Auszüge wörtlich übernommen nach Abels et al. (2012, S. 7 ff))</i>	20
<i>Tabelle 3: Überblick zur Engage-Phase (eigene Darstellung)</i>	22
<i>Tabelle 4: Übersicht zur Explore-Phase (eigene Darstellung)</i>	23
<i>Tabelle 5: Überblick zur Explain-Phase (eigene Darstellung)</i>	24
<i>Tabelle 6: Übersicht zur Extend-Phase (eigene Darstellung)</i>	25
<i>Tabelle 7: Forschungsfeld (eigene Darstellung)</i>	41
<i>Tabelle 8: Übersicht aller drei Unterrichtsdurchführungen (eigene Darstellung)</i>	60
<i>Tabelle 9: Paraphrasierung und Generalisierung (eigene Darstellung)</i>	74
<i>Tabelle 10: Ordnung der Generalisierungen (eigene Darstellungen)</i>	75
<i>Tabelle 11: Kategoriensystem (eigene Darstellung)</i>	77
<i>Tabelle 12: Paraphrasierung und Generalisierung (eigene Darstellung)</i>	80
<i>Tabelle 13: Ordnung der Generalisierungen (eigene Darstellung)</i>	81

Anhang

Abstract (deutsch)

Die vorliegende Arbeit beschreibt Forschendes Lernen als Lehr- und Lernmethode (vgl. Lederman, 2006, S. 310; vgl. NRC et al., 2000, S. xv). Unter dem Aspekt Forschenden Lernens als Lehrmethode werden anhand des 5E-Modells nach Bybee (2006, S. 41) sowie den Prinzipien Forschenden Lernens nach Reitinger (2013, S. 46 ff) Möglichkeiten zur Planung Forschenden Lernens durch die Lehrperson vorgestellt. In Bezug auf Forschendes Lernen als Lernmethode wird in Anlehnung an Pedaste et al. (2015, S. 51 ff) beschrieben, welche Phasen Schüler*innen innerhalb eines Forschungsprozesses durchlaufen und in welche unterschiedlichen Level dieser nach Schwab (1962 zitiert nach Abrams et al., 2008, S. xx f) gegliedert werden kann.

Diese Arbeit stellt den Einsatz, die Erprobung sowie die Weiterentwicklung einer Lernumgebung zum Forschenden Lernen auf Level 2 vor. Im Fokus der Lernumgebung steht ein Alltagsphänomen – die Phasenbildung innerhalb einer flüssigen Haarkur. Im Rahmen dieser Lernumgebung bilden die Schüler*innen Hypothesen, planen Untersuchungen und führen diese durch. Sie ziehen aus ihren Beobachtungen Schlüsse und beantworten dadurch die ihnen gestellte Forschungsfrage „*Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander lösen?*“. Im Rahmen der (Weiter-)Entwicklung dieser Lernumgebung werden die folgenden drei Forschungsfragen beantwortet.

- *Forschungsfrage 1:* „Wie kann eine Lernumgebung gewinnbringend gestaltet werden, um das Prinzip „Ähnliches löst Ähnliches“ anhand von Alltagsprodukten im Zuge Forschenden Lernens mit Schüler*innen der Sekundarstufe II zu erarbeiten?“
- *Forschungsfrage 2:* „Wie nehmen Schüler*innen die zeitlichen und materiellen Rahmenbedingungen, die Sozialform sowie den Forschungsprozess im Zuge des Forschenden Lernens wahr?“
- *Forschungsfrage 3:* „Wie nützen Schüler*innen das entwickelte Unterrichtsmaterial, um das Löslichkeitsverhalten von Stoffen über Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen zu begründen?“

Die Lernumgebung wurde im Rahmen von drei Unterrichtsdurchführungen erprobt, evaluiert und im Sinne der Design-Based Research-Methode in Anlehnung an The Design-Based Research Collective (2003, S. 5 ff) zwischen jeder Unterrichtsdurchführung kontinuierlich weiterentwickelt.

Die Datenerhebung erfolgte in schriftlicher Form durch Schüler*innenaussagen. Anhand dieser Daten wurden zwei Kategorienhandbücher über die zusammenfassend strukturierende Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) entwickelt. Die Datenauswertung erfolgte mithilfe dieser Kategorienhandbücher.

Die Datenauswertung zeigt, dass die Schüler*innen die entwickelte Lernumgebung gewinnbringend nutzen können, um das Prinzip *Ähnliches löst Ähnliches* zu erarbeiten.

Die Rückmeldungen der Schüler*innen zum Forschenden Lernen legen dar, dass die Mehrheit der Schüler*innen den zeitlichen Rahmen sowie das Ausmaß an Erklärungen als angemessen empfindet. Auch jene Lernende, welche die Bildung von Hypothesen, das Planen von Untersuchungen oder die Formulierung von Schlussfolgerungen als herausfordernd wahrnehmen, können das Forschendes Lernen unter Zuhilfenahme des Unterstützungsangebotes positiv bewältigen.

Es zeigt sich, dass die Lernumgebung die Lernenden dabei unterstützt, das Löslichkeitsverhalten von Stoffen über Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekulare Wechselwirkungen zu begründen. Dabei ist die Unterscheidung zwischen Stoff- und Teilchenebene herausfordernd. Zu Beginn der Unterrichtsdurchführungen bezeichnet ein Teil der Lernenden das Vorkommen von Hydroxy-Gruppen innerhalb eines Moleküls als bedeutsames Strukturmerkmal zur Erklärung der Löslichkeit entsprechender Stoffe in Wasser. Am Ende der Unterrichtsdurchführungen gelingt es dem Großteil der Lernenden diese Löslichkeit anhand der gesamten Molekülstruktur, der Polarität bzw. der Ausbildung zwischenmolekularer Wechselwirkungen zu erklären. Vereinzelt zeigen sich Präkonzepte, in welchen der Lösevorgang als chemische Reaktion oder als Prozess des Verschwindens aufgefasst wird. Mit fortschreitender Unterrichtsdurchführung nimmt die Anzahl solcher Präkonzepte ab.

Abstract (englisch)

This paper describes Inquiry-Based Learning as a method of teaching and learning (cf. Lederman, 2006, p. 310; cf. NRC et al., 2000, p. xv). Regarding Inquiry-Based Learning as a method of teaching, possibilities for the planning of Inquiry-Based Learning by the teacher will be introduced based on Bybee's (2006, p. 41) 5E-Model as well as principles of Inquiry-Based Learning by Reitingger (2013, p. 46 ff). In relation to Inquiry-Based Learning as a method for learning, a description will be given based on Pedaste et al (2015, p. 51 ff) on which phases the students will encounter within the research process and into which different levels these can be divided, according to Schwab (1962 as cited in Abrams et al., 2008, p. xx f).

This paper introduces the application, the evaluation as well as the further development of a learning environment for Inquiry-Based Learning on Level 2. An everyday phenomenon is the focus of the learning environment – the phase formation within a hair conditioner. In the context of this learning environment the students form hypotheses as well as plan and carry out investigations. They draw conclusions from their observations and are then able to answer the research question *“Which similarities do molecules of substances have that dissolve into each other?”*. The following three research questions will be answered as part of the (further) development of this learning environment.

- *Research question 1:* “How can a learning environment be made productive in order to work on the principle “like dissolves like” with the help of everyday products in the course of Inquiry-Based Learning with upper secondary school students?”
- *Research question 2:* “How do students perceive the temporal and material framework conditions, the social form and the inquiry process in the course of Inquiry-Based learning?”
- *Research question 3:* “How do students use the developed learning materials to explain the solubility behaviour of substances via structure-property-relationships and intermolecular interactions?”

The learning environment was tested and evaluated using a series of lessons in line with the Design-Based Research Method based on The Design-Based Research Collective (2003, p. 5 ff) and was continuously further developed between each series of lessons.

Data collection was based on statements written by the students. Based on this data two category systems were developed via the summarizing structuring content analysis according to Mayring (2015). Data evaluation was carried out with the help of these category handbooks.

Data evaluation shows that the students were able to benefit from the developed learning environment to work out the principle *like dissolves like*.

The students' feedback regarding Inquiry-Based Learning shows that the majority of the students find the time frames and extent of the explanations appropriate. Even those learners, who find the formulation of hypotheses, planning of examinations or the formulation of conclusions challenging can overcome this with the support available for Inquiry-Based Learning.

It shows that the learning environment supports the learners to explain the solubility behaviour of substances via structure-property-relationships and intermolecular interactions. Yet, it is challenging to differentiate between macroscopic and submicroscopic levels. At the beginning of the series of lessons some of the learners describe the occurrence of hydroxy groups within a molecule as a significant structural characteristic to explain the solubility of corresponding substances in water. At the end of the series of lessons the majority of learners succeed in explaining this solubility based on the entire molecular structure, the polarity or rather the formation of intermolecular interactions. Occasionally, preconceptions are shown in which the dissolving process is interpreted as a chemical reaction or as a process of disappearance. As the lesson series progresses the number of such preconceptions decreases.

Planungsraster und Protokollleitfaden

Die Haarkur

Ihr kennt wahrscheinlich selbst solche Kosmetikprodukte: Manche Haarkuren (oder Gesichtereinigungsmittel) bestehen aus zwei verschiedenen Phasen, die sich praktisch kaum ineinander lösen. Um die Haarkur richtig zu verwenden, muss diese geschüttelt werden – na klar, jetzt haben sich die beiden Phasen vermischt...

...aber nach einiger Zeit TRENNEN sich die Phasen wieder!

Forschungsfrage:

Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander lösen?

Aufgabenstellung:

Seht euch die Inhaltsstoffe der Haarkur auf dem Etikett an. Einige davon sind am Materialtisch verfügbar.

Erforscht, welche Stoffe sich in der einen Phase lösen und welche in der anderen Phase, bzw. welche Stoffe sich nicht ineinander lösen!

Wie sind die Moleküle dieser Stoffe aufgebaut, lassen sich hier Regeln erkennen?

Protokolliert eure Hypothese, Planung, Durchführung, Beobachtungen und Schlussfolgerungen.

Arbeitet im Team!

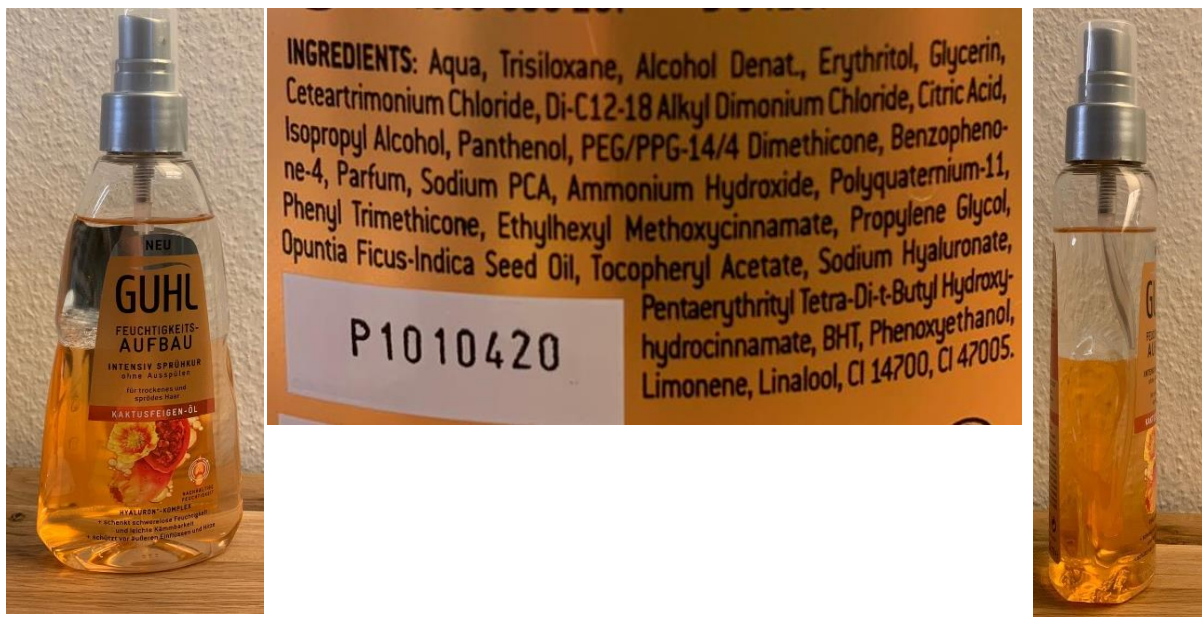


Abbildung 44: Titelblatt des Planungsrasters (eigene Darstellung und Fotografie)

Planungsraster

	Forschungsfrage (<i>Was wollen wir erforschen?</i>) Welche Ähnlichkeiten weisen Moleküle von Stoffen auf, die sich ineinander lösen?
	Hypothese (<i>Was vermuten wir?</i>)
	Versuchsaufbau und geplante Versuchsdurchführung (<i>Wie können wir unsere Hypothese überprüfen?</i>)
	Materialliste (<i>Welche Chemikalien/Materialien brauchen wir?</i>)
	Unterstützung (<i>Wobei brauchen wir Unterstützung? Welche Tippkarten haben wir verwendet?</i>)

Abbildung 45: Planungsraster (eigene Darstellung)

Protokoll



Tatsächliche Versuchsdurchführung (*Wie haben wir gearbeitet? Wo sind wir von der Planung/den Materialien abgewichen? Sind Probleme aufgetreten? Wenn ja, welche?*)



Beobachtungen (*Notiert eure Beobachtungen während der Versuchsdurchführung.*)



Schlussfolgerung (*Wurde die Forschungsfrage beantwortet? Wenn ja, wie? Wenn nein, was müsst ihr an eurer Versuchsdurchführung verändern? Wurde eure Hypothese bestätigt? Gebt eure Quellen an, wenn ihr etwas recherchiert habt!*)



Weiterführende Fragestellungen (*Haben sich neue Fragen ergeben? Wenn ja, welche?*)

Abbildung 46: Protokollleitfaden (eigene Darstellung)

Tabelle

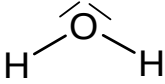
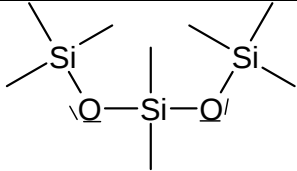
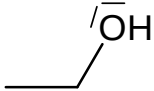
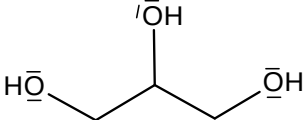
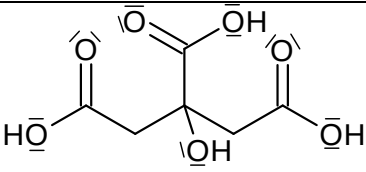
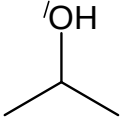
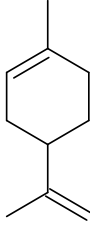
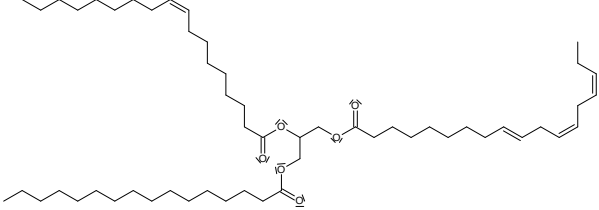
Tabelle mit Strukturformeln	
Name des Inhaltsstoffes	Strukturformel (Molekülstruktur)
Wasser	
Trisiloxan (Silikonöl)	
Ethanol	
Glycerin (IUPAC: Propan-1,2,3-triol)	
Zitronensäure (IUPAC: 2-Hydroxypropan-1,2,3-tricarbonsäure)	
Propan-2-ol (laut Etikett: Isopropyl Alkohol)	
Limonen (IUPAC: 1-Methyl-4-prop-1-en-2-yl-cyclohexen)	
Olea Europaea Fruit Oil (Olivenöl) <i>Beispielhafte Molekülstruktur</i>	

Abbildung 47: Tabelle mit Strukturformeln (eigene Darstellung)

Gestufte Hilfen

Gestufte Hilfen Forschendes Lernen
So funktioniert's: Gestufte Hilfen sind eine besondere Art von Tippkarten. Du kannst sie verwenden, wenn du Unterstützung brauchst - musst sie aber nicht verwenden. Zuerst siehst du Nummer und Thema des Tipps. Je höher die Nummer ist, desto konkreter ist der Tipp (1 ist sehr allgemein – 5 ist sehr konkret). Auf der Karte danach siehst du eine mögliche Idee, die dir helfen könnte. Auf der Karte danach siehst du eine konkrete Umsetzungsmöglichkeit. Je weiter du also blätterst, umso mehr Unterstützung bekommst du!

Abbildung 48: Einführungstext zur Verwendung Gestufter Hilfen (eigene Darstellung)

Tipp 1 Aufgabenstellung

Formuliert die Aufgabenstellung in eigenen Worten!
Seht euch die Inhaltsstoffe auf dem Etikett der Haarkur und die zur Verfügung stehenden Stoffe an. Plant ein Experiment, um herauszufinden, warum sich in der Haarkur zwei Phasen ausbilden.

Abbildung 49: Tippkarte 1 (eigene Darstellung)

Tipp 2 Versuchsplanung 
Überlegt euch eine Methode, um zu dokumentieren, welche Stoffe sich ineinander lösen und welche nicht.
Es wäre eine Möglichkeit, jeweils zwei Stoffe miteinander zu vergleichen, indem überprüft wird, ob sich beim Mischen zwei Phasen ausbilden.

Abbildung 50: Tippkarte 2 (eigene Darstellung)

Tipp 3 Farblose Stoffe 
Überlegt euch, ob ihr etwas zu Hilfe nehmen könntet, um zu erkennen, ob sich zwei farblose Stoffe ineinander lösen.
Es wäre eine Möglichkeit, einen der beiden Stoffe mit Farbe einzufärben, bevor ihr mit eurem Experiment beginnt. Eine andere Möglichkeit wäre es, einen geeigneten Hintergrund hinter die Experimentiergefäße zu halten.

Abbildung 51: Tippkarte 3 (eigene Darstellung)

Tipp 4 Versuchsauswertung 
Überlegt euch, welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede die Moleküle der Stoffe aufweisen. Was könntet ihr dabei zu Hilfe nehmen?
Ihr könntet die Strukturformeln aus der Tabelle zu Hilfe nehmen. Ihr werdet dabei besonders eine charakteristische Gruppe entdecken.

Abbildung 52: Tippkarte 4 (eigene Darstellung)

Tipp 5 Schlussfolgerung 
Welche Schlüsse könnt ihr aus euren Beobachtungen und der Versuchsauswertung ziehen? Ihr könnt auch Tipp 4 verwenden.
Die Löslichkeit von Stoffen hängt mit der Struktur ihrer Moleküle zusammen. Es gilt: „Ähnliches löst Ähnliches“. Die Moleküle der untersuchten Stoffe, die sich in der wässrigen Phase lösen, weisen zumindest eine OH-Gruppe auf. Die Moleküle der Stoffe, die sich in Silikonöl lösen, weisen keine OH-Gruppe auf.

Abbildung 53: Tippkarte 5 (eigene Darstellung)

Concept Cartoon der ersten Unterrichtsdurchführung

Warum löst sich das Öl nicht im Essig der Salatmarinade?



Abbildung 54: Concept Cartoon erste Unterrichtsdurchführung (in Anlehnung an Steininger (o.J., unveröffentlicht))

Concept Cartoon der zweiten Unterrichtsdurchführung

Warum löst sich das Öl nicht im Essig der Salatmarinade?



Abbildung 55: Concept Cartoon zweite Unterrichtsdurchführung (In Anlehnung an Steininger (o.J., unveröffentlicht))

Concept Cartoon der dritten Unterrichtsdurchführung

Warum löst sich das Öl nicht im Essig der Salatmarinade?



Abbildung 56: Concept Cartoon dritte Unterrichtsdurchführung (in Anlehnung an Steininger (o.J., unveröffentlicht))

Grafische Darstellung des Kategoriensystems zur zweiten Forschungsfrage

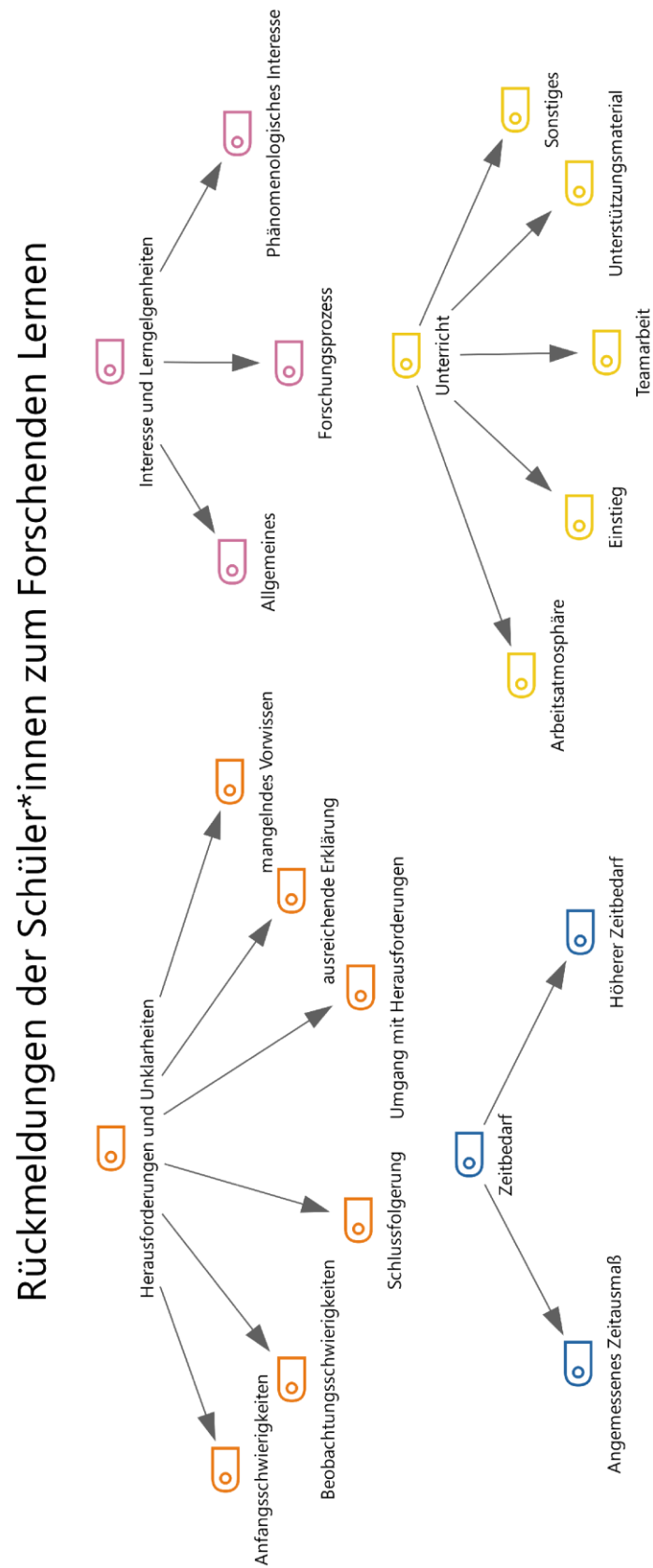


Abbildung 57: Kategoriensystem zur zweiten Forschungsfrage (eigene Darstellung über MAXQDA Plus)

Grafische Darstellung des Kategoriensystems zur dritten Forschungsfrage

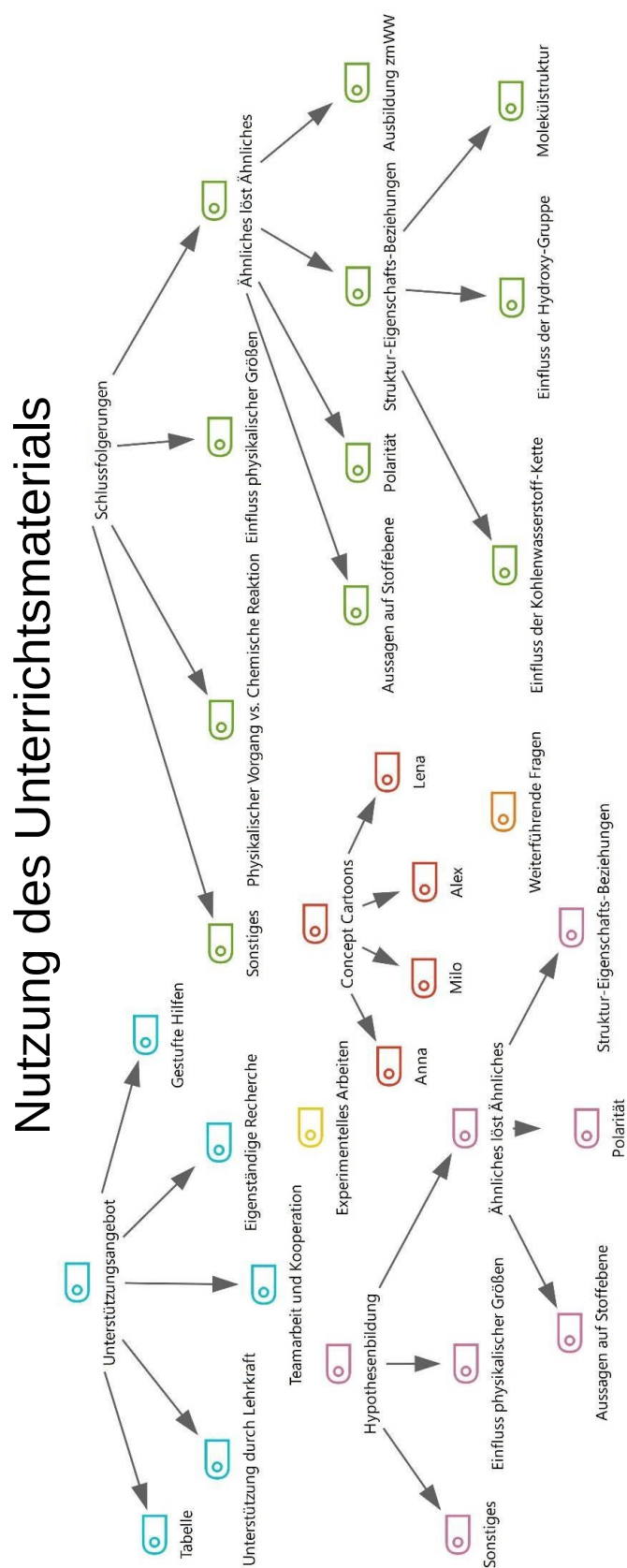


Abbildung 58: Kategoriensystem zur dritten Forschungsfrage (eigene Darstellung über MAXQDA Plus)