MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Forschendes Lernen als Weg und Ziel eines selbstbestimmten Wissensaufbaus – Untersuchungen am Fach NaWi am Beispiel der Metallbindung

verfasst von | submitted by

Dominic Pree BEd

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

Master of Education (MEd)

Wien | Vienna, 2024

Studienkennzahl lt. Studienblatt | Degree programme code as it appears on the student record sheet:	UA 199 504 507 02
Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree programme as it appears on the student record sheet:	Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach Chemie Unterrichtsfach Englisch
Betreut von | Supervisor:	Univ.-Prof. Dr. Michael Alfred Anton

Abstract

Eine fundamentale Zielsetzung der Schulbildung ist das Erwerben eines Habitus für lebenslanges Lernen. Damit die Schüler*innen auch außerhalb der Bildungsstrukturen eigenständig ihre Forschungsinteressen verfolgen und Inhalte erarbeiten können, ist es sinnvoll dies zunächst ein einer geschützten Lernumgebung erproben zu können. Im Rahmen der naturwissenschaftlichen Unterrichtsgegenstände bietet sich dafür das forschende Lernen als effektiver Instruktionsansatz für das Erlernen selbstgesteuerter Wissensaneignung an. Diese Arbeit untersucht den Einfluss einer forschenden Lernumgebung auf den selbstbestimmten Wissensaufbau im Unterrichtsfach Naturwissenschaften. Darüber hinaus betrachtet sie, wie Selbstwirksamkeit und Lernmotivation, sowie die Wahrnehmung der Anwendung chemischer Inhalte durch forschendes Lernen verändert werden können. Aus einer vierstündigen Intervention zum Thema Metallbindung in zwei BHS-Aufbaulehrgängen konnte mittels eines Prätests und eines Posttests leichte Leistungssteigerungen in Bezug auf Faktenwissen und Wissenstransfer festgestellt werden. Der positive Einfluss erstreckte sich auch auf die Selbstwirksamkeit und Lernmotivation der Lernenden, sowie deren Einschätzung über Alltagsnützlichkeit chemischer Inhalte aus dem NaWi-Unterricht. Allerdings konnte für die letztgenannten drei Variablen keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden. Die Resultate deuten darauf hin, dass forschendes Lernen ein vielversprechender Zugang für den selbstbestimmten Wissensaufbau im naturwissenschaftlichen Unterricht darstellt, jedoch weitere Forschung essenziell ist, um repräsentativere Aussagen darüber treffen zu können.

A fundamental premise of school education is the acquisition of a habit of life-long learning. In order for students to be capable of pursuing their own research interests outside of school, they first need to learn scientific exploration in a protected environment. In natural science subjects inquiry-based learning is considered an effective teaching approach to train self-regulated knowledge acquisition. This thesis investigates how inquiry-based learning impacts self-regulated knowledge acquisition in the natural sciences. In addition, it inspects its influence on self-efficacy and learning motivation, as well as the perception of the applicableness of chemistry content. The pretest and posttest following a four-lesson long intervention on the topic of metallic bonding showed an increase in factual and applicable knowledge among two classes of BHS advanced training courses. Moreover, improved scores

on self-efficacy and learning motivation, as well as a more positive stance on the applicableness of chemical knowledge acquired in natural science classes were recorded. However, no statistically significant impact could be found in relation to any variables but the self-regulated knowledge acquisition. Therefore, while the results indicate inquiry-based learning to be a promising approach for promoting self-regulated learning within the natural science subjects, further research is required to make representative claims on its effectiveness.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle aus ungedruckten Quellen, gedruckter Literatur oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert, durch Fußnoten gekennzeichnet bzw. mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Wien, 2024 Pree Dominic

Vorwort

„Glauben Sie, explodiert das?“ – mit diesen Worten und einem von Neugier nur so strotzenden Gesicht wandte sich eine BHS-Schülerin während meiner Masterpraxis an mich, um mir das Experimentalkonzept ihrer Gruppe zu präsentierten. Dieses sah vor, eine wässrige Salz-Zucker-Lösung in einen Stromkreis einzukoppeln. Zugegebenermaßen, bei den möglichen Ingredienzien von Salz, Zucker, Maisstärke und Wasser in dieser Unterrichtseinheit hielt sich das Potenzial für filmreife Explosionen stark in Grenzen. Doch schon der Gedanke darüber, was bei einem Experiment alles passieren könnte und die spätere, für manche vielleicht ernüchternde, für andere wiederum überraschende, Erkenntnis ist eine Bereicherung für jeden Lernenden im naturwissenschaftlichen Unterricht. Denn wer das Unbekannte auf eigenen Wegen erforscht, der erfährt neben Irrtum und Bestätigung auch Selbstwirksamkeit und Selbstvertrauen. Ein Unterricht, der Schüler*innen[1] die Möglichkeit gibt, mit kindlicher Neugier ihre Lebenswelt eigenständig zu entdecken und daran zu wachsen, das ist ein Chemieunterricht, den ich in meiner Zukunft halten möchte. Aus diesem Grund entschloss ich mich meine Masterarbeit im Feld des forschenden Lernens im Unterrichtsfach Chemie zu verfassen und damit das Fundament dafür zu legen.

[1] Diese Arbeit wurde geschlechterinklusiv nach den Empfehlungen der Universität Wien verfasst: https://personalwesen.univie.ac.at/organisationskultur-gleichstellung/im-ueberblick/geschlechterinklusive-sprache/ (01.10.2024)

Danksagungen

Mein Dank gilt Univ. Prof. Dr. Michael Anton, welcher durch seine großartige Betreuung und seine Begeisterung für mein Thema mir die besten Rahmenbedingungen ermöglichte, um diese Arbeit zu verfassen. In den gemeinsamen Seminaren vermittelte er mir durch sein Wissen über den Chemieunterricht und seine Hingabe für das Fach die Wichtigkeit meiner Rolle als angehender Chemielehrer in einer Zeit, in welcher das Berufsfeld von Politik und Elternschaft weniger denn je wertgeschätzt wird.

Mein Dank gilt meiner Mentorin aus der Masterpraxis, welche mir ihre Klassen für meine Untersuchungen überlassen hat und sich für die Beobachtung der Unterrichtssequenzen und einem anschließenden Interview bereitgestellt hat.

Mein Dank gilt meiner Partnerin, die mich während des intensiven Arbeitsprozesses immer wieder aufgefangen und mir neue Energie geschenkt hat, um motiviert zu meiner Forschung zurückzukehren und diese zu verschriftlichen.

Mein Dank gilt meiner Mutter, welche mir in schwierigen Momenten meiner Ausbildung mit ihren Zeichen Kraft gegeben hat, wenn ich sie am meisten gebraucht habe. Die eine oder andere knappe Prüfung in diesem Studium wäre nicht ohne sie gut ausgegangen.

Abschließend möchte ich mich noch bei meinem Vater bedanken, der mich durch meinen langen Studienweg mit geduldigem Zuhören, gutem Zuspruch und der Liebe für zwei Elternteile unterstützt hat. Meine Mutter wäre stolz auf uns beide gewesen.

Wien, 2024 Pree Dominic

Inhaltsverzeichnis

Abstract 2
Vorwort 5
Danksagungen 6
1. Theoretischer Rahmen 9
1.1. Aktueller Forschungsstand 9
1.2. Forschungsziele und Fragestellungen 13
1.3. Gliederung der Arbeit 15
2. Terminologische Bestimmungen 17
2.1. Forschendes Lernen 17
2.2. Inquiry 19
2.3. Entdeckendes Lernen 20
2.4. Selbstgesteuertes Lernen 20
3. Theoretische Fundierung 22
3.1. Wissensaufbau im naturwissenschaftlichen Unterricht 22
3.2. Das Schüler*innen-Experiment im Zentrum der explorativen Lernumgebung 25
3.2.1. Präexperimentelle Phase 27
3.2.2. Experimentelle Phase 28
3.2.3. Postexperimentelle Phase 28
3.3. Ziele des forschenden Lernens 29
3.4. Merkmale forschenden Lernens 31
3.5. Beschreibung und Aufbau von forschendem Lernen 32
3.6. Inquiry-levels im forschenden Lernen 35
3.7. Erstellung einer förderlichen Lernumgebung für das forschende Lernen 37
3.8. Prinzipien forschenden Lernens 39
3.9. Organisation forschenden Lernens durch die Lehrperson 40
3.10. Grenzen und Herausforderungen von forschendem Lernen 42
3.11. Forschendes Lernen in Bezug auf Kompetenzmodelle und Curricula 44
4. Fachliche Klärung 48
4.1. Inhaltliche Dimension 48
4.1.1. Elektronengasmodell 48
4.1.2. Energiebändertheorie 50
4.2. Präkonzepte der Schüler*innen zu Metallen und Metallbindung 53
4.3. Forschendes Lernen in Schulbüchern zum Thema Metallbindung 54
5. Empirischer Rahmen 56
5.1. Ethischer Hintergrund zu den Untersuchungen 56

5.2. Methodik ... 56
5.3. Beschreibung der Partizipanten ... 58
5.4. Hintergründe zu den Fragestellungen im Fragebogen ... 59
5.4.1. Fragestellungen im allgemeinen Teil ... 59
5.4.2. Fragestellungen im Fachteil ... 62
5.5. Hintergründe zum Design des Beobachtungsbogens ... 64
5.6. Hintergründe zum Leitfrageninterview ... 66
5.7. Didaktische und fachliche Überlegungen zu den Unterrichtsplänen und Unterrichtsmaterialien ... 67
5.7.1. Erste Doppelstunde ... 70
5.7.2. Zweite Doppelstunde ... 74
5.7.3. Komplikationen während der Durchführung ... 76
6. Resultate ... 78
6.1. Leistungen im allgemeinen Teil des Fragebogens ... 78
6.1.1. Erster Aussagenblock ... 78
6.1.2. Zweiter Aussagenblock ... 83
6.2. Ergebnisse im fachlichen Teil des Fragebogens ... 86
6.3. Auswertung der Protokolle und Poster ... 91
6.4. Resultate aus den Beobachtungsbögen ... 93
7. Diskussion ... 96
7.1. Interpretation der Resultate aus dem allgemeinen Teil des Fragebogens ... 96
7.2. Interpretation der Resultate aus dem fachlichen Teil des Fragebogens ... 100
7.3. Interpretation der Beobachtungen seitens anderer Lehrpersonen ... 106
7.4. Limitationen der Studie und Empfehlung für weitere Forschung ... 107
8. Conclusio ... 110
9. Bibliografie ... 113
10. Abbildungsverzeichnis ... 121
11. Tabellenverzeichnis ... 122
12. Appendix ... 123
12.1. Vorlage der Fragebögen ... 123
12.2. Vorlage des Beobachtungsbogens ... 127
12.3. Interviewtranskription ... 128

1. Theoretischer Rahmen

1.1. Aktueller Forschungsstand

Die Unterrichtsfächer Chemie und Naturwissenschaften erleben unter Schüler*innen für gewöhnlich nur unzureichende Beliebtheit. Viel zu unanschaulich und lebensfern scheint dieses chemische Wissen, obwohl es doch eigentlich dazu dient, unsere Lebensrealität näher zu beschreiben und zu verstehen. Es ist die fehlende Orientierung des Unterrichts an den Erfahrungen der Lernenden, welche Schüler*innen den Eindruck gewinnen lässt, dass ihr Wissen nicht transferierbar ist. Dieser Konflikt betrifft den Chemieunterricht besonders, in welchem zumeist schwer visualisierbare Inhalte von wahrnehmbaren Phänomenen abstrahiert werden und sich dadurch nur limitiert mit den Erfahrungen der Lernenden verbinden lassen (Neber 2007: 1). Bereits Whitehead (1929: 1) bezeichnete das daraus resultierende, nicht anwendbare Wissen als „inert ideas“. Um diese Inhalte effektiver zu verankern und ihren Transfer in die Lebenswelt zu ermöglichen, sieht Neber die Notwendigkeit eines problemorientieren Unterrichts. Dabei soll das Wissen durch bewusstes Beobachten, sowie Wahrnehmen lebensnaher Phänomene und konkreter Erlebnisse aktiviert und im autonomen Denkprozess in abstraktes Wissen übergeführt werden (Neber 2007: 2). Ein Instruktionsansatz, um die Erlebnisse im naturwissenschaftlichen Unterricht in lösbare Problemstellungen zu transformieren ist das **Forschende Lernen**.

Forschendes Lernen als didaktischer Zugang im Chemieunterricht erfuhr insbesondere in den letzten Jahren einen Anstieg an wissenschaftlicher Aufmerksamkeit. Ein wesentlicher Erfolgsgarant für das forschende Lernen ist die Erstellung einer gewinnbringenden Lernumgebung. Dachauer (2022) untersuchte die Gestaltung der Lernumgebung zur Förderung forschenden Lernens anhand der Thematik des Löslichkeitsverhaltens von Stoffen. Dabei entwickelte sie ein Unterrichtskonzept und Unterrichtsmaterialien mit denen Schüler*innen der 11. Schulstufe einer AHS im Rahmen forschenden Lernens das Löslichkeitsverhalten von Stoffen und die zugrundeliegenden zwischenmolekularen Kräfte sich eigenständig erarbeiten konnten. Die Datenauswertung belegte, dass eine forschungsorientierte Lernumgebung sich positiv auf die Fähigkeiten, einen Forschungsprozess zu planen, durchzuführen und darüber zu reflektieren, auswirkt. Das forschende Lernen führte zu einer Weiterentwicklung individueller Kompetenzen, welche nach dem Kompetenzmodell für die Chemie-Matura als Ziele des naturwissenschaftlichen

Unterrichts der AHS-Oberstufe vorgesehen sind (vgl. Abels et al. 2012). Auch ein Erwerb an fachlichen Kompetenzen konnte nachgewiesen werden.

Iryani et al. (2021) legten ihr Augenmerk auf den Wissenszuwachs beim forschenden Lernen anhand der Thematik der chemischen Bindung. Im Vergleich zur Kontrollgruppe erzielten Lernende, welche ihren Wissensgewinn via forschendes Lernen erlangten, signifikant bessere Ergebnisse als Kommiliton*innen, welche mit konventionellen Methoden unterrichtet wurden.

Wagner (2019) versuchte herauszufinden, inwiefern mittels forschenden Lernens das konzeptuelle Verständnis von Säuren und Basen unter Schülern der 9. und 10. Schulstufe AHS, sowie einer 9. Schulstufe BHS gefördert werden kann. Hierfür ließ sie die Schüler*innen Concept-Maps sowohl vor als auch nach der Intervention erstellen und wertete diese quantitativ aus. Die Analyse der Concept-Maps verdeutlichte, dass forschendes Lernen zu einem konzeptuellen Wissenszuwachs führt und Lernende dadurch besser in der Lage sind, fachliche Termini miteinander richtig in Verbindung zu setzen und ihr Wissen in bereits vorhandene Konzepte zu integrieren.

Pesendorfer (2022) testete mit einer 7. Schulstufe einer AHS die digitale Lernumgebung INQUIRYsteps, ein gemeinsames Projekt der Pädagogischen Hochschule Niederösterreich, Pädagogischen Hochschule Wien, Universität Wien und Universität Graz zur Förderung forschenden Lernens. Diese Plattform bietet angeleitete Lernsequenzen zu Lernschachteln, mit welchen naturwissenschaftliche Fragestellungen in eigener Forschung untersucht werden können. Dabei unterstützt sie die Schüler*innen mittels „Scaffolding“, einer Methode zur Differenzierung von Leistungsniveaus, um auch leistungsschwächeren Schüler*innen den Zugang zum forschenden Lernen zu ermöglichen. Pesendorfers Untersuchung zum Thema Redoxreaktionen ergab, dass bei der Mehrheit der Schüler*innen, welche zuvor an Fehlvorstellungen zur Zementationsreaktion festhielt, ein Konzeptwandel stattfand und diese eine fachlich angemessene Aussage zum Redoxprozess treffen konnten. Jedoch zeigte sich aus der Studie auch, dass die persönliche Hilfestellung durch die Lehrperson trotz einem breiten Spektrum an digitalen Hilfestellungen einen unabkömmlichen Teil zum forschenden Lernen beiträgt. Weitere vergleichbare Studien zum forschenden Lernen mit Lernschachteln wurden von Schäfer (2023), Schüttengruber (2021), sowie Reischauer (2022) durchgeführt, welche Lernschachteln zur Säure-Base-Thematik und zur Forensik für die Sekundarstufe I analog zu

den Modellschachteln in INQUIRYsteps entwarfen und didaktisch kommentierten; zu diesen fehlen jedoch noch praktische Studien.

Hönigsperger (2015) fokussierte sich hingegen auf die Erfahrung, welche Schüler*innen während ihres Forschungsprozesses im Unterricht machen. Dabei beobachtete sie für ihre Studie Lernende in einer auf dem forschenden Lernen basierenden Unterrichtseinheit an einer annähernd homogenen AHS-Oberstufe und einer heterogenen BHS und evaluierte qualitativ deren Wahrnehmung zur Effektivität des Unterrichts in Bezug auf Teamarbeit, Wissenszuwachs und Interesse am Unterricht. Die Ergebnisse deuteten eine Förderung des sozialen Umgangs unter den Schülern in beiden Schultypen an. Im Kontrast dazu wurde der Lernertrag von den Schüler*innen der AHS zu einem beträchtlichen Anteil stärker wahrgenommen, als er von diesen in der BHS festgestellt wurde. Insgesamt gaben die Partizipanten aus beiden Klassen jedoch an, dass forschendes Lernen im Chemieunterricht ihnen mehr Freude als andere Unterrichtsformen bereiteten und ihre Motivation und ihr Interesse förderten. Hönigsperger zeigte damit, dass forschendes Lernen zwar eine individuelle Erfahrung mit jeder einzelnen Gruppe von Kindern ist, jedoch unabhängig vom sozio-ökonomischen und muttersprachlichen Hintergrund die Selbstwirksamkeit aller Lernenden profitieren kann. Reitinger (2012a) kam in seiner Studie zum AuRELIA-Konzept (Authentic Reflective Exploratory Learning and Interaction Arrangement), ein von ihm selbst entwickeltes Unterrichtskonzept, welches Autonomieorientierung und strukturiertes Explorieren im forschenden Lernen ins Zentrum stellt, zu vergleichbaren Ergebnissen. Es konnte nachgewiesen werden, dass forschendes Lernen zu einer signifikanten Steigerung der allgemeinen sowie der speziellen Selbstwirksamkeitserwartung, bezogen auf forschende Lernaktivitäten und dem grundsätzlichen Verständnis von Forschung in leistungsheterogenen Gruppen, führt.

Einem similären Fokus widmeten sich auch Neber und Anton (2008), welche die präexperimentelle Phase (siehe Kapitel 3.2.1.) von Forschungszyklen in zwei Studien mit Lernenden des 10. Jahrgangs im Unterrichtsfach Chemie untersuchten. Die Experimentalgruppe und Kontrollgruppe wurden in der ersten Studie im Rahmen der Intervention von zwei Doppelstunden einem Prä- und Posttest unterzogen, welcher die Selbstwirksamkeit und den intrinsischen Wert in Bezug auf das Experimentieren eruierte. Zusätzlich wurde auch die Präferenz für offenes Experimentieren überprüft und die

Fragengenese zu einem vorgegebenen chemischen Phänomen quantitativ und qualitativ exploriert. Die Resultate dieser Studie deuteten jedoch auf eine Verminderung der untersuchten Variablen Selbstwirksamkeit, intrinsischer Wert und Präferenz für offenes Experimentieren sowohl in der Experimentalgruppe als auch Kontrollgruppe hin. Ebenso führte auch die Intervention zu keinem signifikanten Unterschied in der Qualität der Fragenentwicklung zwischen den beiden Gruppen. In der Folgestudie wurde die Intervention in der Experimentalgruppe wiederholt, jedoch diese zuerst einem informierten Training unterzogen, welches die Kompetenz zum Fragenstellen behandelte. Des Weiteren wurden in der Interventionsphase zur Verbesserung der Transparenz für die Lernenden die Fragengenerierung von der Selektion der Frage für das zu planende Experiment strikt separiert. Auf die Durchführung des Experiments wurde im Gegensatz zur ersten Studie verzichtet, um die kognitive Komplexität der Aktivität zu vermindern. Zusätzlich wurde als extrinsischer Anreiz in Ausschau gestellt, dass die Experimentalpläne beurteilt und die drei besten Abgaben im Unterricht durch die Lehrperson exemplarisch vorgestellt werden. Im Kontrast zur vorherigen Studie wurden keine negativen Effekte auf die Selbstwirksamkeit, den intrinsischen Wert und die Präferenz zum offenen Experimentieren festgestellt. Während die motivationsbedingten Variablen im Vergleich zum Initialwert unverändert verblieben, deuteten die Daten auf leicht positiven Effekt der Intervention auf die Präferenz der Schüler*innen zum freien Experimentieren hin. Die Chemierelevanz der formulierten Fragen verblieb unverändert, nichtsdestotrotz konnte ebenfalls ein schwach signifikanter Effekt zu Gunsten der Quantität kausaler Fragen durch die Adaptionen festgestellt werden. Aus den Resultaten der beiden Studien lässt sich vorsichtig entnehmen, dass forschende Lernerfahrungen zum Bewusstsein über die immens hohen Anforderungen von Forschungssituationen bei den Schüler*innen führen. Darüber hinaus suggerieren die Ergebnisse, dass für die eigenständige Genese komplexerer Fragestellungen, eine Vorstrukturierung und langfristiges Training imperativ zu sein scheint.

Heumann-Rupprecht (2004) widmete ihre Aufmerksamkeit ebenfalls der präexperimentellen Phase eines forschenden und entdeckenden Lernprozesses und untersuchte an zwei bayrischen Gymnasien in drei Klassen der 9. Schulstufe die Auswirkungen von Strukturierungshilfen für die Planung und Lernaufgaben auf den Wissens- und Lernstrategienerwerb von Schüler*innen. Die Studie zeigte, dass Strukturierungshilfen die Anwendung allgemeiner und spezifischer Lernstrategien bei Klassifikationsaufgaben

begünstigt, jedoch bei Erklärungsaufgaben tendenziell zu non-intentionalem Vorgehen führt. Unterstützung in der präexperimentalen Phase ergab auch einen signifikant höheren Grad an Aneignung von funktionalem Wissen. Heumann-Rupprecht verdeutlichte dadurch die Bedeutung des in Betracht Ziehens von kognitiven Voraussetzungen der individuellen Lernenden, um eine Überforderung zu verhindern.

Insgesamt suggeriert die aktuelle Forschungslage einen überwiegend positiven Effekt auf den Kompetenzzuwachs und die Selbstwahrnehmung von heterogenen Lernendengruppen in Relation zur Unterrichtsmethode des forschenden Lernens im Unterrichtsfach Chemie. Die aktuellen Untersuchungen in Österreich zum forschenden Lernen legten bisher ihren primären Fokus jedoch überwiegend auf den Gegenstand Chemie und verabsäumten infolgedessen den chemischen Unterricht im Unterrichtsfach Naturwissenschaften näher unter die Lupe zu nehmen. Diese Kurzsicht ist jedoch für Untersuchungen in der Sekundarstufe II abträglich, da die Anzahl der berufsbildenden mittleren und höheren Schulen um fast 200 Standorte höher ist als die der allgemeinbildenden höheren Schulen (Statista 2023). Da das Unterrichtsfach NaWi, welches vorwiegend in BHS und BMS unterrichtet wird, Inhalte aus der Biologie, Physik und Chemie abdecken muss, bleibt für gewöhnlich weniger Zeit im Schuljahr, um für chemieorientiertes forschendes Lernen essenzielle Grundlagen zu verinnerlichen. Aufgrund dieser speziellen Voraussetzungen im Unterrichtsfach Naturwissenschaften ist es daher imperativ, sich gesondert mit der Thematik auseinanderzusetzen.

1.2. Forschungsziele und Fragestellungen

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit der Implementation von forschendem Lernen im Unterrichtsfach Naturwissenschaften und ihrer Auswirkung auf den selbstbestimmten Wissensaufbau, der Selbstwirksamkeit und der Wahrnehmung über die Anwendbarkeit chemischer Inhalte in der realen Lebenswelt. Hierfür wurde eine Untersuchung in zwei Klassen eines Aufbaulehrgangs einer Wiener BHS/BMS im Unterrichtsfach NaWi aufgestellt, in welcher Schüler*innen im Zuge des forschenden Lernens Forschungserfahrungen anhand des Themas der Metallbindung sammeln konnten. Die Lernumgebung wurde, angelehnt an das reformpädagogische Modell des freien Arbeitens, bewusst mit einem hohen Offenheitsgrad gestaltet, um den Untersuchungsfokus der Selbstbestimmung beim Wissensaufbau ins Zentrum zu rücken.

In Vorbereitung auf die Durchführung der Studie wurden folgende Forschungsfragen aufgestellt:

1. Wie wirkt sich forschendes Lernen im NaWi-Unterricht anhand der Thematik der Metallbindung auf den **selbstbestimmten Wissensaufbau** der Schüler*innen der Sekundarstufe II aus?

2. Wie wirkt sich der durch das forschende Lernen induzierte erhöhte Grad von Autonomie auf die **Lernmotivation** und **Selbstwahrnehmung** im Unterrichtsfach NaWi der Schüler*innen der Sekundarstufe II aus?

3. Welchen Einfluss hat das forschende Lernen auf die Wahrnehmung der Schüler*innen der Sekundarstufe II über die **Anwendbarkeit** chemiebezogener curricularer Inhalte des NaWi-Unterrichts auf die reale Lebenswelt?

Ausgehend von der bisherigen Datenlage zur Effektivität forschenden Lernens im Chemieunterricht wird antizipiert, dass auch Lernende im Unterrichtsfach NaWi von einem problemorientierten Unterricht, welcher den selbstbestimmten Wissenserwerb fördert, profitieren können und einen deutlichen Wissenszuwachs erleben.

Darüber hinaus wird erwartet, dass eine erlebte Autonomie im naturwissenschaftlichen Unterricht sich förderlich auf die Lernmotivation und Selbstwirksamkeit der Schüler*innen auswirkt, wenn sie die Möglichkeit bekommen, ihren Interessen nach Wissen zu erarbeiten und eigenständig aufzubauen.

Final wird davon ausgegangen, dass die Problemorientierung des forschenden Lernens der Entwicklung von inertem Wissen entgegenwirkt und in Konsequenz zu einer positiveren Wahrnehmung über den Transfer chemiebezogener curricularer Inhalte auf die reale Lebenswelt führt.

Zur Bearbeitung dieser Fragen wurden jeweils vier Unterrichtsstunden, welche in beiden Klassen in zwei Doppelstunden über den Verlauf von zwei Wochen gehalten wurden, geplant und durchgeführt. In diesen Sequenzen wurde das selbstbestimmte Arbeiten in Gruppen zum Thema Metallbindung fokussiert, sodass Lernende an allen Stellen des Inquiry Cycles (siehe Kapitel 3.5.) mitwirken konnten. Zusätzlich zur Datensammlung der Lernprodukte (Protokolle

und Präsentationsposter), wurde ein Prätest und ein Posttest mit beiden Klassen durchgeführt, um den Einfluss der Intervention auf den Lernertrag, der Selbstwirksamkeit und der Wahrnehmung von chemiebezogenen Inhalten im NaWi-Unterricht seitens der Schüler*innen feststellen zu können. Ergänzt wurden diese Daten durch Beobachtungsbögen und einem Interview mit der eigentlichen Klassenlehrperson der beiden Aufbaulehrgänge, welche auch in den acht Unterrichtsstunden hospitiert hat.

1.3. Gliederung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit besteht aus einem theoretischen und einem empirischen Abschnitt. Zunächst werden im theoretischen Passus terminologische Bestimmungen zum forschenden Lernen näher ausgeführt. Darauffolgend werden die wesentlichen theoretischen Grundlagen zum naturwissenschaftlichen Wissenserwerb und der Erarbeitung dieses Wissens durch das chemische Experiment im Kapitel der theoretischen Fundierung näher erläutert, um aufzuschlüsseln, wie forschendes Lernen zum selbstbestimmten Wissensaufbau beitragen kann.

Infolgedessen wird das forschende Lernen in ausführlicher Weise vorgestellt. Die Erläuterung der Ziele, Merkmale und Prinzipien forschender Lernarrangements sollen dabei helfen, die Gestaltung problemorientierten Unterrichts für die Praxis effektiv zu illustrieren und für die Komplexität des Instruktionsformats Bewusstsein zu schaffen. Anhand erprobter Modelle wie dem Forschungsnetz (Koliander & Steininger 2018), den Inquiry-Levels (Abrams et al. 2008) und dem OPeRA-Modell (Reitinger 2013a) wird der Aufbau, die Durchführung, die Nachbereitung und die daraus resultierenden Herausforderungen und Grenzen des forschenden Lernens im naturwissenschaftlichen Unterricht dekomponiert. Ergänzend dazu wird forschendes Lernen mit den österreichischen Chemie- und NaWi-Curricula sowie Kompetenzmodellen für naturwissenschaftlichen Unterricht in Relation gesetzt und aufgezeigt, weshalb forschendes Lernen eine attraktive Möglichkeit für den Chemie- und NaWi-Unterricht darstellt. Es folgt abschließend eine fachliche Abhandlung der Thematik der Metallbindung, welche auch Bezug auf Schüler*innen-Präkonzepte und explorativer Umsetzungen in aktuellen österreichischen Chemie- und NaWi-Lehrbüchern nimmt.

Im empirischen Abschnitt dieser Arbeit werden der schulische Kontext der Untersuchungen erörtert und die Partizipanten der Untersuchung unter Wahrung ihrer Anonymität näher bestimmt. Im weiteren Verlauf wird die methodische Aufbereitung der Studie präsentiert, die

dabei verwendeten Instrumente zur Datenermittlung vorgestellt und etwaige Entscheidungen bezüglich ihres Designs fundiert. Ex aequo wird auf die Entwicklung der Unterrichtspläne für die Intervention eingegangen und deren Ablauf didaktisch begründet.

Im Zentrum des empirischen Kapitels steht die Datenauswertung und Analyse von einem Prätest und einem Posttest, welche vier Kernaspekte dieser Forschung abdecken:

1. Zugang zum Unterrichtsfach Naturwissenschaften
2. Beziehung zum freien Arbeiten im Kontext des forschenden Lernens
3. Beschreibung der Lernmotivation sowie Selbstwahrnehmung im Fach NaWi in Verbindung mit dem freien Arbeiten
4. Einschätzung der Anwendbarkeit chemischen Wissens aus dem Curriculum, welches durch forschendes Lernen erarbeitet wurde

Der Evaluierung und Auswertung der Daten folgt der abschließende Abschnitt der Diskussion, in welcher Suggestionen zur Deutung der ermittelten Ergebnisse hervorgebracht und mit den erfassten Beobachtungen aus zwei Beobachtungsbögen und den Informationen aus einem Leitfrageninterview mit der Klassenlehrperson ergänzt werden. Ebenso werden auch subjektive Erfahrungen der Lehrperson aus den Unterrichtsstunden einbezogen, mit den Resultaten verglichen und gegebenenfalls auf diese indiziert.

Alles in Allem verfolgt diese Arbeit das Ziel, ein forschendes Lernarrangement vorzustellen, welches den selbstbestimmenden Wissenserwerb im naturwissenschaftlichen Unterricht ermöglicht und den Einfluss dieser Lernumgebung zu untersuchen. Es soll dabei herausgefunden werden, wie sich der Instruktionsansatz auf die eigenständige Wissensaneignung chemischer Inhalte im Kontext des Faches Naturwissenschaften auswirkt. Zusätzliches Forschungsinteresse gebührt auch dem Einfluss auf Lernmotivation und Selbstwahrnehmung, welche durch die autonomer gestaltenden Lernverhältnisse tangiert werden. Abschließend verfolgt die vorliegende Arbeit auch die Wahrnehmung der Lernenden über die Transferbarkeit chemischer, curricularer Inhalte auf die reale Lebenswelt. Die Ergebnisse dieser Studie wollen dazu beitragen, den Forschungsstand zum forschenden Lernen zu ergänzen, um forschendes Lernen als attraktiven Zugang für einen lernförderlichen naturwissenschaftlichen Unterricht zu etablieren.

2. Terminologische Bestimmungen

In diesem Kapitel werden essenzielle Termini, welche im Zentrum der Thematik dieser Arbeit stehen, vorgestellt und deren Bedeutung näher erläutert. Sie bilden die Grundlage für das inhaltliche Verständnis der theoretischen Fundierung im dritten Kapitel.

2.1. Forschendes Lernen

Forschendes Lernen (inquiry-based learning) ist in Bezug auf die Terminologie und konzeptionelle Ausrichtung ein stark umstrittener Begriff unter Didaktikern (Hofer & Puddu: 58). In der Literatur werden unzählige Bezeichnungen (z.B. forschend-entdeckendes Lernen, forschungsorientiertes Lernen, forschungsbasiertes Lernen) verwendet, um auf eine spezifische Lernform, dafür entsprechend entwickeltes Unterrichtsmaterial und einem Hyperonym für verschiedenste Ausprägungen eines Ansatzes zur Instruktion hinzuweisen (vgl. e.g., Abrams et al. 2008; Baur & Emden 2020; Blanchard et al. 2010). Innerhalb des Forschungsdiskurses scheint das forschende Lernen unter Gelehrten zahlreiche unterschiedliche Bedeutungen zu tragen (Anderson 2002: 3). Doch trotz Uneinigkeiten bezüglich einer präzisen Formulierung über das forschende Lernen kann davon ausgegangen werden, dass es sich nicht auf ein bestimmtes Unterrichtskonzept (e.g., entdeckendes Lernen, selbstgesteuertes Lernen, siehe Kapitel 2.3 & 2.4), ein didaktisches Prinzip (e.g., Handlungsorientierung, Kommunikationsfähigkeit) oder eine methodische Umsetzung (e.g., Stationenbetrieb, Gruppenarbeit) limitiert, sondern je nach Ausprägung eine Kombination dieser darstellt (Hofer & Puddu 2020: 58-59).

Im Rahmen dieser Arbeit wird forschendes Lernen in folgender Weise behandelt: Forschendes Lernen beschreibt ein weitreichendes Lehr- und Lernkonzept im naturwissenschaftlichen Unterricht, welches abzielt, dass Lernende im Zuge strukturierter selbstbestimmter Untersuchungen sich mit den für das wissenschaftliche Arbeiten charakteristischen systematischen Prozessen vertraut machen und neues methodisches wie auch fachliches Wissen konstruieren (e.g., Baur et al. 2022: 36; Reitinger 2013a: 45; Abrams et al. 2008: xiv). Die Lernenden übernehmen Verantwortung für elementare erkenntnisgenerierende Prozesse naturwissenschaftlicher Forschung, wie beispielsweise (Hofer & Lembens 2021: 4):

- Formulieren einer Hypothese
- Planen und Durchführen von Untersuchungen
- Analysieren und Interpretieren von Daten

- Entwickeln von Modellen
- Argumentieren auf Basis von gesammelten Evidenzen
- Beziehen, Evaluieren und Kommunizieren von Informationen

Diese Kompetenzen müssen nicht allesamt gleichzeitig im Rahmen des forschenden Lernens forciert werden, sondern können auch je nach Zielsetzung der Lehrperson und der individuellen Fähigkeiten der Lernenden auf die einzelne Person abgestimmt werden. Dadurch ergibt sich bei dieser Methode ein hoher Grad an Freiheit und Selbstbestimmung, welcher ein wesentliches Element des forschenden Lernens darstellt (Lederman 2006: 302). Damit die Lernenden jedoch diese Freiheit und Selbstbestimmung auch gewinnbringend nutzen können, müssen Rahmenbedingungen geschaffen werden, in welchen die für den Forschungsprozess relevanten Kompetenzen stufenweise elaboriert und erprobt werden können (Abels & Lembens 2015: 4).

Eine kritische Auseinandersetzung mit der Begrifflichkeit des „forschenden" Lernens zeigt allerdings auch die Schwierigkeit, dieses facettenreiche Konzept präzise zu definieren. Benner (2022: 301) kritisiert zurecht, dass die Schüler*innen beim forschenden Lernen sich gar nicht einem Forschungsprozess verschreiben, sondern es sich nur um „stringentes Beobachten, Versuchen und Ausprobieren" handelt. Den Forschungsprozess vollständig zu didaktisieren steht in einem Paradoxon zur Natur der Forschung: „Entweder ist etwas erkannt und bekannt, dann braucht es nicht erforscht und kann gelehrt und gelernt werden; oder es ist etwas noch nicht erkannt, dann kann es nur erforscht, aber noch nicht gelehrt und gelernt werden" (Benner 2022: 303). Im Unterricht führt ein Lernprozess zu einem persönlichen Wissenserwerb; im Kontrast dazu führt tatsächliche Forschung über das Unbekannte zur Generation neuen Wissens. Es wird neues Wissen geschaffen, wie auch der Begriff der Wissenschaft suggeriert (vgl. Benner 2022: 302-304; Bader & Lühken 2019a: 463). Aufgrund der Kritik Benners, Bader und Lühken eröffnet sich, dass sich der Begriff Inquiry-based learning (IBL) als eine potenziell linguistisch akkuratere Bezeichnung für die in dieser Arbeit angewandte Methode anbietet. Trotzdem verbleibt der Autor dieser Arbeit bewusst bei der Entscheidung, beide Termini synonym anzuwenden, da die fachdidaktischen Fundierungen, auf welche die Planung und Durchführung dieser Studie basiert, sich am wissenschaftlichen Diskurs des forschenden (und entdeckenden) Lernens orientieren.

2.2. Inquiry

Aus dem englischen Begriff für das forschende Lernen (inquiry-based learning) ist ersichtlich, dass die Lehr-Lern-Methode in direktem Zusammenhang zum Konzept „Inquiry“ steht. Der Begriff Inquiry geht ursprünglich auf die erkenntnistheoretischen Überlegungen von John Dewey zurück und beschreibt einen Prozess, in der eine zunächst unklare oder unbestimmte Situation in einen Zustand überführt wird, welcher begreifbar ist und dessen Schlussfolgerungen als eine Basis für weitere Handlungsschritte dienen können (Dewey 1938: 104-105). Bezogen auf den wissenschaftlichen Kontext, lässt sich Inquiry als ein Zugang zur Untersuchung naturwissenschaftlicher Phänomene und Fragestellungen verstehen.

> Scientific inquiry refers to the diverse ways in which scientists study the natural world and propose explanations based on the evidence derived from their work. Inquiry also refers to the activities of students in which they develop knowledge and understanding of scientific ideas, as well as an understanding of how scientists study the natural world (National Research Council 1996: 23).

Inquiry findet sich nicht nur in der Wissenschaft, sondern auch als Prozess des Wissenserwerbs unter Lernenden wieder. Hierbei bezieht sich das NRC wohl vermeintlich wiederum auf Dewey, welcher den Begriff „Knowledge“ als das Ergebnis menschlicher Wissenskonstruktion auf Basis von Inquiry bezeichnet (Dewey 1938: 7). Dabei alludiert Dewey jedoch eigentlich auf einen Erkenntnisgewinn statt einer Generation absoluten Wissens. Denn im Gegensatz zum Wissen lassen sich Erkenntnisse laut Dewey hinterfragen und können auch wieder verworfen werden. Dewey unterscheidet daher zwischen den durch Inquiry hervorgebrachten Erkenntnissen und begründungslosen Glauben (Koliander 2017: 23).

Koliander (2017: 23) stellt effektiv die Relation zwischen Deweys Erkenntnissen und dem naturwissenschaftlichen Unterricht her: Wenn Schüler*innen chemisches Faktenwissen, Gesetzlichkeiten und Konzepte ohne weitere Erläuterungen auf ihren Hintergrund oder ihre Anwendbarkeit vermittelt bekommen, so bedingt dies einer Art bedingungslosen Glaubens, wenn die Lernenden diese Inhalte als solche übernehmen. Wenn Schüler*innen nicht lernen zu hinterfragen, so laufen sie in Gefahr durch ihre unreflektierte Haltung dem pseudo-wissenschaftlichen Diskurs in die offenen Arme zu laufen oder eigentliche naturwissenschaftliche Erkenntnisse als „unverständlich“ oder „abstrakt“ abzulehnen.

2.3. Entdeckendes Lernen

Der Begriff des Entdeckenden Lernens (discovery learning) findet sich häufig in Studien zum forschenden Lernen wieder, da das entdeckende Lernen ein an das forschende Lernen angelehntes Unterrichtskonzept darstellt. Das entdeckende Lernen umfasst eine Auswahl an Lernformen, welche den eigenen Denkprozess durch gesteuertes Handeln ins Zentrum setzen. Dies inkludiert kognitive Prozesse wie das Vergleichen, Ordnen oder Unterscheiden von Ursachen und Wirkungen, aber auch der Erwerb von abstraktem Wissen (Neber 2007: 1). Im Gegensatz zum rezeptiven Lernen wird dieses Wissen jedoch nicht von den Lehrenden vorgegeben, sondern von den Lernenden eigenständig konstruiert (vgl. Neber 2006). Denken wird dadurch zur selbstständigen Generierung von Wissen instrumentalisiert (Neber 2007: 1).

Entdeckendes Lernen orientiert sich an den Erfahrungen der Lernenden und versucht deren Erlebnisse im Unterricht durch unterstütztes autonomes Denken in abstrakteres Wissen überzuleiten (Neber 2007: 2). Dies wird erreicht, indem im Unterricht wahrgenommene Phänomene in für die Lernenden angepasste Problem- und Fragestellungen transformiert werden. Dies kann durch die Lehrperson oder, im Idealfall, durch die Schüler*innen geschehen, wenn diese beispielsweise eigene Fragen formulieren, welche auf die Erkenntnisziele ihrer Beobachtung gestützt sind (auch epistemische Fragen genannt). Die Erfahrungs- und Problemorientierung im entdeckenden Lernen führt dazu, dass der Lernprozess dynamisiert und eigenständig kontrollierbar wird (vgl. Neber 2007: 2-3).

2.4. Selbstgesteuertes Lernen

Ein im Vergleich zum forschenden und entdeckenden Lernen noch mehr freiraumgebendes Lehr-Lern-Konzept ist das selbstgesteuerte Lernen (self-directed learning). Dies ist ein reformpädagogischer Zugang, welcher in der von Montessori entwickelten freien Arbeit und den Ansätzen zur selbstständigen Arbeit nach Freinet tief verankert ist (Levin & Arnold: 155; Claussen 1995: 14). Neber beschreibt diese Lernform in folgender Weise:

> Selbstgesteuertes Lernen ist eine Idealvorstellung, die verstärkte Selbstbestimmung hinsichtlich der Lernziele, der Zeit des Ortes, der Lerninhalte, der Lernmethoden und Lernpartner sowie vermehrter Selbstbewertung des Lernerfolgs beinhaltet (Neber 1978: 22).

Selbstgesteuertes Lernen findet in der Praxis nie ohne einen Anteil von Fremdsteuerung statt, jedoch zielt dieser Ansatz darauf ab, dass nicht nur der Grad der Fremdsteuerung minimiert wird, sondern auch eine Lernumgebung geschaffen wird, in welcher die Schüler*innen sich in

einer Weise entfalten können, um über ihre persönlichen Lernbedürfnisse, Ansichten und Vorstellungen zu reflektieren und diese auch in den Unterricht miteinbringen zu können (Deitering 1998: 156).

Um dies den Lernenden zu ermöglichen, bedarf es flexibler Rahmenbedingungen in Bezug auf Zeitplan, Schwerpunktsetzung bei Lerninhalten, Planung (z.B. von Experimenten) und Lerngruppenbildung (Stephens 1974: 26). Dabei tritt der Lehrende zurück aus dem Zentrum der Unterrichtsstunde, erteilt die Verantwortung für den Lernprozess an die Schüler*innen und nimmt stattdessen die Rolle eines Förderers, Beraters und Mediators an. Da sich jedoch die Lernziele und eigenen Fähigkeiten individuell zwischen den Lernenden unterscheiden, sind den Differenzen durch Techniken der Individualisierung Rechnung zu tragen. Dies kann beispielsweise durch Lernhilfen („Scaffolding“, siehe Kapitel 3.7.), Variation im Begleitmaterial oder der Lernziele stattfinden (vgl. Deitering 1998: 157). Damit selbstgesteuertes Lernen funktionieren kann, ist die Motivation einen Lernprozess zu initiieren und aufrechtzuerhalten essenziell (Levin & Arnold: 157), weswegen die Lernmaterialen interessensfördernd konzipiert und ein gewisses Maß an Selbstverantwortung, Selbstständigkeit und Selbstkontrolle bei den Schüler*innen vorausgesetzt sein müssen (Wedel-Wolff 1995: 157).

3. Theoretische Fundierung

In diesem Kapitel wird der theoretische Hintergrund für die vorliegende Arbeit dargestellt. Zunächst wird der Wissenserwerb im naturwissenschaftlichen Unterricht näher beschrieben und erläutert, welche Rolle das Fördern von Problemlösekompetenz dabei trägt. Darauffolgend wird das Experiment als Kernelement der explorativen Wissensgenese im chemiebezogenen Unterricht in seine einzelnen Phasen aufgegliedert. Der Hauptteil der theoretischen Fundierung beschäftigt sich mit der Methode des forschenden Lernens. Hierzu werden didaktische Hintergründe zur Gestaltung einer forschenden Lernumgebung, der Durchführung und der Nachbereitung forschenden Lernens pointiert. Dabei sollen sowohl die Komplexität des Instruktionsformats und die daraus resultierenden Herausforderungen und Grenzen für Schüler*innen und Lehrpersonen, als auch das Potenzial zur Förderung selbstbestimmter Lernerfahrungen hervorgehoben werden. Abschließend wird gezeigt, inwiefern forschendes Lernen bereits in den österreichischen Chemie- und NaWi-Lehrplänen verankert ist.

3.1. Wissensaufbau im naturwissenschaftlichen Unterricht

Während kleine Kinder ihr Wissen durch Erfahrungen und Informationen sammeln, beurteilen Schüler*innen ihre Erfahrungen weitaus kritischer und lernen schließlich in tertiärer Ausbildung evidenzbasiert zu argumentieren (Kitchener & King 1981: 112). Neber (1993: 228-232) betrachtet Wissensaufbau aus einer kognitionspsychologischen Perspektive. Dabei geht er davon aus, dass die Nutzung von Wissen entweder durch präzise Instruktionen anderer Personen oder spontan ohne äußeren Einfluss aktiviert und eingesetzt werden kann. Für die Transformation von zunächst erlerntem Faktenwissen in eine erweiterte, anwendungsbezogene Form von Wissen, auch „vollständiges Wissen“ genannt, müssen Lernende zunächst ihr Faktenwissen aktiv elaborieren. Dies führt zu einer Erweiterung der Fakten um Konditionen und Funktionen (vgl. Heumann-Rupprecht 2004: 55). Wenn beispielsweise Lernende Faktenwissen über Alkane aus dem Unterricht bereits besitzen, so inkludiert das auch den grundsätzlichen chemischen Aufbau. Dieses Wissen kann nun um Konditionen erweitert werden, wenn die Schüler*innen erlernen, welche Bedingungen damit zusammenhängen, dass nicht alle Alkane gasförmig sind. Darüber hinaus kann das Wissen um Funktionen ergänzt werden, wenn die Lernenden Anwendungsbereiche für Alkane kennenlernen (z.B. ein Propan-Butan Feuerzeug).

Somit unterscheidet Neber im „Modell des vollständigen Wissens“ (1993: 229-231) zwischen drei Wissensdomänen, welche sich zum vollständigen Wissen vereinen:

1. Faktenwissen
2. Konditionales Wissen
3. Funktionales Wissen

Faktenwissen umfasst „Elemente des Wissens, denen interne Voraussetzungen für eine Nutzung fehlen“ (Neber 1993: 229). Dieses setzt sich aus einzelnen konkreten Wissenseinheiten und prozeduralem Wissen, welches sich auf Vorgänge bezieht, zusammen (ebd. 1993: 229).

Konditionales Wissen legt die „Bedingungen für den Einsatz von Fakten“ (Neber 1993: 229) fest. Ein Lernender, welcher zwei Flüssigkeiten basierend auf ihren unterschiedlichen Siedepunkten voneinander trennen möchte, muss das binäre Gemisch destillieren. Die Konditionalisierung der Prozedur ist von zentraler Wichtigkeit für die Aneignung von nutzbarem Wissen.

Funktionales Wissen beschreibt „Ziele bzw. Zielzustände, die sich durch den Einsatz von Fakten erreichen lassen“ (Neber 1993: 230). So lässt sich beispielsweise durch die Applikation von Faktenwissen und konditionales Wissen über Gemische und Trennungsmethoden Alkohol destillieren. Der Alkohol stellt hierbei den Zielzustand dar.

Neber ergänzt diese drei Aspekte vollständigen Wissens um die Dimensionen der Ebene und Tiefe (Neber 1993: 228). Tiefe beschreibt den Grad der Verankerung einer Wissenseinheit: Wissenselemente geringer Tiefe beziehen sich im chemischen Sinne auf die submikroskopische Ebene des Wissens. Tiefes Wissen ist essenziell für Lösungsvorgänge komplexerer und unkonventioneller Probleme. Vollständiges Wissen setzt sich aus Wissensbausteinen unterschiedlicher Tiefe zusammen (ebd. 1993: 228-229). Ebene hingegen umfasst den Generalisierungsgrad von Faktenwissen, konditionalem Wissen und funktionalen Wissen in variierender Tiefe. Wissen, welches einen weiten Geltungsbereich hat und sich dadurch situativ vielfältig einsetzen lässt, trägt auf zahlreichen Ebenen Bedeutung. Insgesamt zeichnet sich vollständiges Wissen durch die Kumulation von Wissenselementen bezogen auf ihre Fakten, Konditionen und Funktionen auf unterschiedlichen Ebenen und Tiefen aus (ebd. 1993: 229).

Vollständiges Wissen ist ein elementarer Aspekt der chemischen Bildung, da Lernende oftmals nicht ihr Wissen nutzen können. Neber zeigt auf, dass unvollständiges Wissen, welches sich zumeist auf eine Vielzahl von Fakten beschränkt und dabei Konditionen und Funktionen vernachlässigt, für das tote bzw. träge Wissen von Schüler*innen verantwortlich ist (Neber 1993: 228). Das forschende Lernen dient als eine Möglichkeit, um Faktenwissen direkt um seine Konditionen und Funktionen zu erweitern und auf ein vollständiges Wissen hinzuarbeiten.

Ähnlich den Überlegungen von Neber, beschreibt die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) im PISA³-Framework für Naturwissenschaften Wissensbereiche für den naturwissenschaftlichen Unterricht (OECD 2016: 58):

Wissensbereiche im PISA-Framework (OECD 2016: 58)	**Dimensionen vollständigen Wissens (Neber 1993)**
Konzeptuelles Wissen	Faktenwissen
Prozedurales Wissen	Konditionales Wissen
Epistemisches Wissen	Funktionales Wissen

Tabelle 1: Wissensbereiche für den naturwissenschaftlichen Unterricht

In Tabelle 1 werden die Wissensbereiche des PISA-Frameworks den einzelnen Domänen des vollständigen Wissens nach Neber gegenübergestellt. Im Gegensatz zum vollständigen Wissen, welches sich auf die allgemeine Wissenskonstruktion bezieht, orientiert sich das PISA³-Framework spezifisch an die Voraussetzungen der naturwissenschaftlichen Grundbildung. Dabei beschreibt konzeptuelles Wissen die Kenntnis über die Lebenswelt und technologische Errungenschaften, sowie das naturwissenschaftliche Argumentieren darüber. Prozedurales Wissen hingegen umfasst ein Verständnis, wie naturwissenschaftliche Ideen generiert werden, sowie die Fähigkeit, diese Forschungsideen zu bewerten oder um diese eine Untersuchung zu planen. Das epistemische Wissen artikuliert ein Verständnis über den Zweck naturwissenschaftlicher Verfahren und die fachgerechte Interpretation der Daten und Evidenzen, welche aus solchen resultieren (vgl. OECD 2015: 58).

3.2. Das Schüler*innen-Experiment im Zentrum der explorativen Lernumgebung

Im Rahmen des konventionellen Chemieunterrichts erfolgt der Transfer erworbenen chemischen Faktenwissens zu einer naturwissenschaftlichen Denkweise tendenziell unkontrolliert. Eine direkte Verbindung zwischen dem Fachwissen und seiner Anwendung findet auf der metakognitiven Ebene gemeinhin nicht statt. (Anton 2019: 270). Ein potenzieller Lösungsansatz stellt jedoch der explorative Einsatz von chemischen Experimenten dar (Anton 2019 ; Neber & Anton 2008 ; Reitinger 2013a). Da sich allerdings die erstrebenswerten Wissensbereiche des PISA-Frameworks auf dezidierte Aspekte des Experimentierprozesses beziehen, bedarf es zunächst einer Unterteilung in einzelne Phasen. Tobin (1990, zit. nach Heumann-Rupprecht 2004: 13) schlüsselt das naturwissenschaftliche Experiment in folgende chronologische Struktur auf:

1. Präexperimentelle Phase
2. Experimentelle Phase
3. Postexperimentelle Phase

Die drei Phasen beziehen sich auf den Ablauf der Konzeption, Durchführung und Auswertung eines Experiments. Abhängig von der Phase findet das konzeptuelle, prozedurale oder funktionale Wissen unterschiedlich stark Anwendung. Während in der präexperimentellen Phase zunächst Faktenwissen benötigt wird, um eine naturwissenschaftliche Fragestellung und Hypothese zu formulieren, bedarf es eines Zusammenspiels von diesem und prozeduralem Wissen, um eine dafür zielführende Untersuchung zu konzipieren. Die experimentelle Phase stützt sich neben den psychomotorischen Fähigkeiten auf den prozeduralen Kenntnissen der forschenden Person. In der postexperimentellen Phase wird ein Produkt bzw. ein Zielzustand erreicht, der zum weiteren Aufbau des funktionalen Wissens beiträgt.

Um den forschenden Charakter des naturwissenschaftlichen Unterrichts noch authentischer zu simulieren, erweitern Neber und Anton (2010, zit. nach Anton 2019: 272) die Strukturierung des Experiments nach Tobin (1990) um die Aspekte der Problementstehung sowie der Diskussion und Verteidigung und gliedern es als eine Variante des Lehrlernzyklus (Abb. 1):

Abbildung 1: Das Experiment als Forschungszyklus (Neber und Anton 2010, zit. nach Anton 2019: 272)

Die Ergänzungen trennen systematisch die Emergenz eines kognitiven Konfliktes aufgrund des individuellen Vorwissens und dem Entstehen eines persönlichen Forschungsinteresses (Problementstehung) von der darauf basierenden Fragen- und Hypothesengenese (Präexperimentelle Phase). Als „Problem" im didaktischen Sinne wird ein initialer Ist-Zustand verstanden, ausgehend von welchem die Lernenden ein bestimmtes Ziel bzw. einen Soll-Zustand anstreben, jedoch noch nicht wissen, inwiefern und durch welche Schritte sie diesen erreichen können und dies daher in Frage stellen (Funke 2011: 138). Essenziell für die Interaktion mit Problemen ist die Problemlösekompetenz, welche von der OECD in folgender Weise definiert wird:

> Die Fähigkeit, Prozesse kognitiv zu verarbeiten, um Problemsituationen zu verstehen und zu lösen, in denen die Lösungsmethode nicht unmittelbar auf der Hand liegt. Sie umfasst die Bereitschaft, sich mit derartiger Situation auseinanderzusetzen, um sein Potenzial als konstruktiver und reflektierender Bürger voll auszuschöpfen (OECD 2014: 2).

Die Definition der OECD zur Problemlösekompetenz suggeriert die zentrale Rolle eines intrinsisch motivierten Forschungsinteresses, durch dessen Problemlösungsvorgänge verrichtet werden können. Es ist daher naheliegend, dass sich authentische und insbesondere durch kognitive Konflikte autonom emergierende Problemstellungen, welche Neugier und Motivation fördern, als besonders effektiv für die Auseinandersetzung in einem Forschungszyklus erweisen.

Darüber hinaus fügen Neber und Anton die Diskussions- und Verteidigungsphase hinzu, welche einen kernessenziellen Aspekt der wissenschaftlichen Praxis darstellt. Durch den

Transfer von Ergebnissen und Schlussfolgerungen zum naturwissenschaftlichen Diskurs findet Wissen Anwendung und kann zu neuen Entwicklungen sowie weiterer Forschung führen. Die Wissensvermittlung entspricht damit einem übergeordneten Ziel der Forschung.

Das Experiment im Chemieunterricht ist als Alleinstellungsmerkmal des Faches eine effektive Methode der Schulbildung um Schüler*innen in einer wissenschaftsähnliche Lernumgebung Erkenntnisse gewinnen zu lassen und Wissen zu erwerben (Anton 2019: 273). Im Folgenden werden die drei zentralen Phasen des Experiments nach ihren funktionalen Charakteristika näher beschrieben.

3.2.1. Präexperimentelle Phase

Die präexperimentelle Phase folgt der Entstehung eines kognitiven Konflikts. An Schemata gebundenes Vorwissen wird von den Lernenden aktiviert und in neuen Variationen kombiniert, um zur Fragengenese über ein vernommenes Phänomen zu führen. Anton (2019: 281) beschreibt Fragen als einen „Ausdruck der individuell empfundenen Notwendigkeit, entstandene kognitive Konflikte aufzulösen und damit argumentative Sicherheit zu gewinnen“. Sie stehen in direkter Abhängigkeit zum Vorwissen des Lernenden (Anton 2019: 281) und können sich beispielsweise mit Faktenwissen beschäftigten (e.g., Welches Gas entsteht, wenn ein unedles Metall in eine Salzsäurelösung eingelegt wird?) oder Zusammenhänge erörtern (e.g., Welchen Einfluss hat der Durchmesser eines Kupferdrahts auf dessen Leitfähigkeit?) (Sommer & Pfeifer 2019: 75). Fragen, welche zum Erkenntnisgewinn und damit zur Entwicklung von Wissensstrukturen beitragen, werden als epistemische Fragen bezeichnet (Neber 2008, zit. nach Neber und Anton 2008: 1).

Infolgedessen stellen Schüler*innen mit Hilfe ihres Vorwissens erste Vermutungen auf und formulieren diese in Form von Hypothesen (Anton 2019: 279; Sommer & Pfeifer: 155). Hypothesen grenzen sich von alltäglichen Vermutungen dadurch ab, dass sie auf wissenschaftlichen Begründungen basieren (Sommer & Pfeifer 2019: 72). Sie dienen einer ersten Deutung der Zusammenhänge eines Phänomens (Parthey & Wahl 1966: 107) und sind überprüfbar (Mahner & Bunge 2000: 76). Basierend auf diesen Überlegungen werden Ideen für Experimente generiert und in Experimentalentwürfe umgesetzt (Anton 2019: 279; Sommer & Pfeifer 2019: 75-79).

3.2.2. Experimentelle Phase

In der experimentellen Phase steht das selbstständige Arbeiten der Schüler*innen im Fokus. Das Schüler*innen-Experiment erfüllt mehrere Ziele des naturwissenschaftlichen Unterrichts parallel: Bader et al. (2019: 479) betonen den Einfluss didaktisch hochwertig aufbereiteter Schüler*innen-Experimente auf Interesse und Motivation als Prädikator der Bereitschaft neues Wissen zu erwerben. Zudem soll dadurch das Interesse am Fach Chemie bzw. Naturwissenschaften gefördert werden (Hildebrandt 1999: 47-49). Beim Experimentieren werden das Handwerk der Naturwissenschaft erlernt, psychomotorische Fähigkeiten gefördert und der Umgang mit Laborgeräten und chemischen Substanzen erprobt (Bader et al. 2019: 479; Anton 2019: 274). Durch die Kooperation in einer Gruppe während der Arbeit wird die soziale und kommunikative Signifikanz hervorgehoben.

Eine besondere Bedeutung wird dem Protokollieren in Begleitung zum zielgerichteten Beobachten akkreditiert. Der Vorgang des Protokollierens fördert selbst in rudimentärer Form nicht nur die fachsprachliche Unterscheidung von Gerätschaften und Substanzen, sondern auch die Nachvollziehung des experimentellen Prozesses. Die unternommenen Handlungsschritte und ihre Konsequenzen werden effektiver kognitiv erfasst, da andernfalls die Reflexion über und Begründung von spezifischen Handlungsabläufen nach intensiver experimenteller Praxis nur diffizil durchzuführen ist (vgl. Anton 2019: 274-275). Darüber hinaus begünstigt das Protokollieren die Akquisition der naturwissenschaftlichen Fachsprache und geht damit einher mit den Zielsetzungen des inklusiven sprachsensiblen Fachunterrichts (Bohrmann-Linde & Strippel 2019: 710 ; Anton 2019: 276). Im Sinne der Differenzierung können auch alternative Dokumentationsformen wie Gesprächsprotokolle, Video-Dokumentationen oder Foto-Story anstatt des Protokollierens herangezogen werden (Groß & Reiners 2012: 15).

3.2.3. Postexperimentelle Phase

Im Anschluss an den Experimentalvorgang erfolgt die postexperimentelle Phase. Sie dient der Auswertung und Deutung der vernommenen Beobachtungen mit dem Ziel, eine Erkenntnis ziehen zu können (Sommer & Pfeifer 2019: 74). Das dabei entstandene Ergebnis ist das Arbeitsprodukt einer aufwendigen empirischen Hypothesenprüfung und sollte von der Lehrperson maßgeblich hervorgehoben und explizit gewürdigt werden (Anton 2019: 277). Anton (2019: 278) schlägt auch vor, durch eine Gegenüberstellung von intendierten und

vernommenen Effekten in Vorher-nachher-Protokollierungen die Lernenden zur kritischen Reflexion ihrer Ergebnisse anzuregen. Aus der Interpretation der Resultate entsteht ein Prozess der generalisierenden Induktion (Sommer & Pfeifer 2019: 73). Unter Induktion wird das Ziehen eines Schlusses vom Einzelnen auf eine Gesetzmäßigkeit verstanden. Die erarbeiteten Resultate können im Anschluss einer Plenumsdiskussion und Verteidigung unterzogen werden.

Die Besonderheit an Neber und Antons zyklischem Modell liegt in der wechselseitigen Beziehung der individuellen Phasen. Während die Problementstehung zur Fragengenese führen kann, ist es auch bei der Aktivierung von Vorwissen zur Fragenentwicklung nicht unwahrscheinlich, dass weitere kognitive Konflikte resultierend auftreten. Ebenso können auch experimentelle Beobachtungen zu zusätzlichen Fragen oder gar Problementstehungen führen. Dokumentierte und gedeutete Ergebnisse regen oftmals dazu an, die Variablen eines Experiments zu adaptieren und dieses erneut durchzuführen oder einen komplett neuen Zyklus zu beginnen, da sie Auslöser eines weiteren kognitiven Konflikts werden. Abschließend kann auch die Diskussion mit anderen zu einer Neuaushandlung der bisherigen Deutung der Ergebnisse in der postexperimentellen Phase führen.

3.3. Ziele des forschenden Lernens

Laut Abrams et al. (2008: xvi-xviii) verfolgt das forschende Lernen unterschiedliche Ziele und Ausprägungen, die es abhängig von den verschiedenen kognitiven Domänen zu differenzieren gilt:

- Forschendes Lernen, um naturwissenschaftliche Fachinhalte zu lernen (learning science content; konzeptuelle Domäne im Fokus)
- Forschendes Lernen, um das Durchführen naturwissenschaftlicher Untersuchungen zu lernen (learning to do inquiry; prozedurale Domäne im Fokus)
- Forschendes Lernen, um über das Durchführen naturwissenschaftlicher Untersuchungen zu lernen (learning about inquiry; epistemische Domäne im Fokus)

(zit. nach Hofer & Puddu 2020: 59)

Dabei betont Abrams et al. (2008: xxv-xxviii), dass die verschiedenen Ausprägungen forschenden Lernens nach einer jeweils grundlegend unterschiedlich konzipierten Instruktionsweise verlangen, da der Erwerb von Wissen in einer der drei kognitiven Domänen

eine zielgerichtete Aufgabenstellung benötigt. Dies geht auch konform mit Selje-Aßmann (2020: 70), welche die Dimensionen des forschenden Lernens dichotom abhängig vom Lernarrangement unterschiedlich gewichtet (Abb. 2):

Abbildung 2: Ziele forschenden Lernens und ihr methodischer Fokus (Selje-Aßmann 2020: 70)

Während beim „Forschen Lernen“ methodische Komponenten wie den Aufbau eines Versuches oder das Präsentieren von Inhalten in den Vordergrund gerückt werden, ist beim „Lernenden Forschen“ der Forschungsprozess nur das Format, in dem der Wissenserwerb stattfindet. Forschendes Lernen, im Idealfall, trifft sich in der Mitte zwischen den beiden Ausprägungen (Selje-Aßmann 2020: 70).

In den Zielen des forschenden Lernens findet sich auch das Erreichen von Scientific Literacy wieder. Scientific Literacy wird von der OECD (2018: 75) als „[…] the ability to engage with science-related issues, and with the ideas of science, as a reflective citizen” beschrieben. Scientific Literacy verfolgt daher die Fähigkeit zur Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Problemen und Konzepten, sowie die Reflexion darüber. In den PISA-Studien der OECD werden dazu drei Kompetenzen besonders hervorgehoben (OECD 2018: 74):

1. Phänomene mit naturwissenschaftlichen Erkenntnissen erklären können
2. Daten und Evidenzen naturwissenschaftlich interpretieren können
3. Naturwissenschaftliche Fragestellungen generieren und evaluieren können

Dafür sind nicht nur fachliches Wissen, sondern auch prozedurales Wissen in Bezug auf wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn und Fortschritt entscheidend (OECD 2018: 74). Während das Erklären von Phänomenen konzeptuelles Wissen benötigt, ist für die Datenanalyse und Interpretation ein Verständnis über die Abläufe naturwissenschaftlicher Untersuchungen imperativ (prozedurales Wissen). Die Konstruktion und Evaluation von naturwissenschaftlichen Fragestellungen hingegen verlangt epistemisches Wissen (OECD

2018: 74). Damit kann behauptet werden, dass forschendes Lernen nach Abrams et al. (2008) gleichzeitig auch die Ziele zum Erreichen von Scientific Literacy verfolgt. Dies bedeutet einen immensen Bedeutungsgewinn für das Instruktionskonzept, da Scientific Literacy als Schlüssel zur Schaffung von Innovationen, um die ökonomischen, sozialen und umweltbezogenen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts zu bewältigen, verstanden wird (OECD 2018: 73).

3.4. Merkmale forschenden Lernens

Damit die Schüler*innen konzeptuelles, prozedurales und epistemisches Wissen bzw. Kompetenzen erwerben, ist es notwendig die Lernenden mit einschlägigen Aktivitäten zu fördern. Die National Science Education Standards (NSES) (NRC 2000) nennt hierzu fünf Charakteristiken (Essential Features of Classroom Inquiry), welche dahingehend für die Förderung der drei kognitiven Domänen essenziell sind (übersetzt nach NRC 2000: 25 in Hofer & Puddu 2020: 59):

- Die Lernenden beschäftigen sich mit naturwissenschaftlich orientierten Fragestellungen
- Die Lernenden räumen Evidenzen Vorrang ein, wodurch sie Erklärungen naturwissenschaftlich orientierter Fragestellungen entwickeln und bewerten können
- Die Lernenden formulieren Erklärungen basierend auf Evidenzen, um naturwissenschaftlich orientierte Fragestellungen zu behandeln
- Die Lernenden bewerten ihre Erklärungen vor dem Hintergrund alternativer Erklärungen, insbesondere solcher, die naturwissenschaftliche Erkenntnisse widerspiegeln
- Die Lernenden kommunizieren und begründen die von ihnen aufgestellten Erklärungen

Zwar deckt laut NSES das Berücksichtigen aller fünf Merkmale die kognitiven Domänen des forschenden Lernens komplett ab, jedoch wird hervorgehoben, dass der Grad der Autonomie der Lernenden und der Offenheit des Formats zu einer variierenden Gewichtung dieser Merkmale führen kann (Hofer & Puddu 2020: 59).

Essential Feature	Variations			
1. Learner engages in scientifically oriented questions	Learner poses a question	Learner selects among questions, poses new questions	Learner sharpens or clarifies question provided by teacher, materials, or other source	Learner engages in question provided by teacher, materials, or other source
2. Learner gives priority to **evidence** in responding to questions	Learner determines what constitutes evidence and collects it	Learner directed to collect certain data	Learner given data and asked to analyze	Learner given data and told how to analyze
3. Learner formulate **explanations** from evidence	Learner formulates explanation after summarizing evidence	Learner guided in process of formulating explanations from evidence	Learner given possible ways to use evidence to formulate explanation	Learner provided with evidence and how to use evidence to formulate explanation
4. Learner connects explanations to scientific knowledge	Learner independently examines other resources and forms the links to explanations	Learner directed toward areas and sources of scientific knowledge	Learner given possible connections	
5. Learner communicates and justifies explanations	Learner forms reasonable and logical argument to communicate explanations	Learner coached in development of communication	Learner provided broad guidelines to use sharpen communication	Learner given steps and procedures for communication

More ——— **Amount of Learner Self-Direction** ——— **Less**
Less ——— **Amount of Direction from Teacher or Material** ——— **More**

Abbildung 3: Charakteristische Merkmale forschenden Lernens und deren Variationen (NRC 2000: 29)

Abbildung 3 bezieht sich auf die zuvor gelisteten fünf Merkmale forschenden Lernens und stellt sie in Kontrast zur Autonomie der Lernenden. Aus dieser Illustration wird erkenntlich, dass jede Charakteristik des forschenden Lernens auf die Autonomiebedürfnisse des einzelnen Lernenden abgestimmt werden kann. Abhängig vom Maß der Anleitung durch die Lehrperson bzw. des Unterrichtsmaterials können gezielt kognitive Kompetenzen gefördert werden. Die konkrete Abstimmung in der Gewichtung der Merkmale erfolgt über die Unterrichtsplanung unter Einbezug der Inquiry-Levels (siehe Kapitel 3.6.).

3.5. Beschreibung und Aufbau von forschendem Lernen

Wie bereits in Kapitel 3.1. erläutert, bedarf forschendes Lernen sowohl konzeptioneller, prozeduraler als auch epistemischer Kompetenzen. Um diese Anforderungen zu erfüllen, müssen der Grad der Offenheit, aber auch die Schwierigkeit der Aufgabenstellung an die Fähigkeiten der Lernenden angepasst werden, da andernfalls die Lernenden überfordert werden (Hofer & Puddu 2020: 65). Lederman (2008: 30) empfiehlt eine stufenweise Einführung orientiert an den verschiedenen Schritten in einem Forschungszyklus. Dies birgt den Vorteil, dass das Level der Offenheit beim forschenden Lernen auf die Vorerfahrungen der Lernenden mit dem forschenden Lernen, die individuellen Fähigkeiten und der Schwierigkeit der Thematik abgestimmt werden kann (Hofer & Puddu 2020: 65). Durch forschendes Lernen sollen die Schüler*innen erproben, wie man eine Forschungsfrage aufstellt, eine passende Untersuchung plant und unternimmt und diese zielgerichtet an die

Forschungsfrage adaptiert. Dabei soll ein Verständnis über die Möglichkeiten und Grenzen eigenständiger Forschung innerhalb der gesetzten Rahmenbedingungen in Bezug auf Unterrichtszeit und Material erlernt werden (Koliander & Steininger 2018: 11). Mit kumulierender Erfahrung der Lernenden mit dem allgemeinen Forschungshabitus können einzelne Schritte zunehmend komplexer und autonomer gestaltet werden und Unterstützungsmöglichkeiten reduziert werden, mit dem Ziel eine selbstständig anwendbare Forschungs- und Fachexpertise sich anzueignen (Neber 1999: 233).

In der Schulpraxis durchlaufen die Schüler*innen beim forschenden Lernen einen mehrstufigen Forschungszyklus. Dieser wird oftmals von Lernenden als ein stark vereinfachter, linearer Prozess verstanden und führt zur Fehlvorstellung der „**einen** wissenschaftlichen Methode“ (**the** scientific method) (vgl. Crawford 2014). Um dieser Fehlkonzeption entgegenzuwirken, muss der Forschungszyklus als ein dynamischer Pfad der Erkenntnisgewinnung, welcher auch Irr- und Umwege zulässt, aufgebaut werden (Hofer & Puddu 2020: 64). Nicht alle Schritte in einem Forschungszyklus müssen autonom von den Schüler*innen erfüllt werden. Abhängig vom Grad der Offenheit des forschenden Lernens, können einzelne Teilaspekte des Kreislaufs auch durch die Lehrperson eingeführt werden, um die Komplexität der Aufgabenstellungen den Fähigkeiten und Vorwissen der Gruppe von Lernenden entsprechend anzupassen (siehe dazu Kapitel 3.6.).

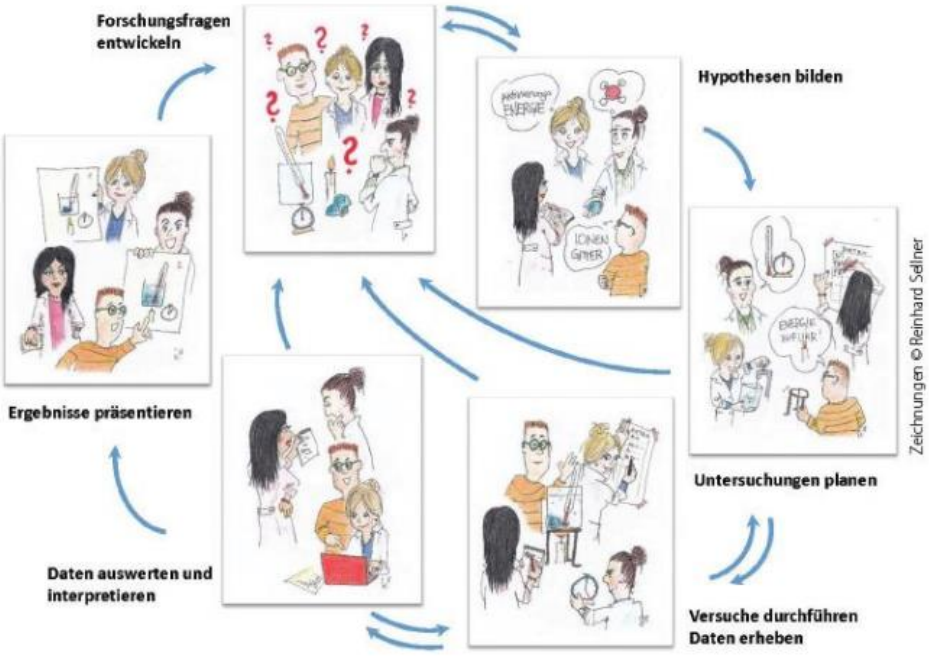


Abbildung 4: Mögliche Wege im Forschungsnetz (Koliander & Steininger 2018: 11)

In Abbildung 4 wird der Ablauf eines Forschungszyklus im Zuge des forschenden Lernens vorgestellt (in Koliander & Steininger 2018 als „Forschungsnetz“ bezeichnet). Dieser beginnt zunächst mit der Entwicklung einer oder mehrerer Forschungsfragen. Das Interesse, sich mit einem Phänomen auseinanderzusetzen und dieses zu ergründen wird zumeist eingeleitet durch Neugierde (vgl. Loewenstein 1994). Neugierde kann im Unterricht von selbst emergieren, sofern die Lerninhalte und Methoden zu deren Vermittlung den situativen Bedürfnissen der Schüler*innen entsprechen. Neben einer vielfältigen Lernumgebung und kollaborativer Unterrichtsorganisation führt auch das Experiment zur Entwicklung von Entdeckungsinteresse und Neugierde (vgl. Reitinger 2013a: 24).

Auf die Generierung von Forschungsfragen folgt eine damit verbundene Hypothesenbildung. Bei der Hypothesenbildung stellen Lernende Vermutungen über die Ergebnisse ihrer Untersuchungen auf. Die Vermutungen stützen sich auf dem Vorwissen und den Präkonzepten der Schüler*innen (vgl. Reitinger 2013a: 27-28; Koliander & Steininger 2018: 11). Oftmals empfinden Lernende ein Gefühl der Enttäuschung, wenn sich eine Hypothese nicht bestätigt – hierbei ist es wichtig Bewusstsein zu schaffen, dass auch die Entkräftigung einer Hypothese ein valides und wertvolles Forschungsergebnis sein kann.

Um die Hypothese nachverfolgen zu können bedingt es der Planung einer Untersuchung. Lernende wählen ihre bevorzugte Methode zur Untersuchung – dies ist von besonderer Wichtigkeit, da selbstbestimmter Wissensaufbau nur auf Eigeninitiative funktionieren kann (Reitinger 2013a: 25). Die Rücksichtnahme auf die Wahl des Lernweges (Methodenaffirmation) führt zusätzlich zur potenziellen Erkenntnis auch zu einem Demokratieerlebnis, respektvollem Umgang, Offenheit zur Verantwortungsübernahme, Motivation, Zufriedenheitsempfinden und Gewaltreduktion (Leimer 2011: 13-15). Eine Untersuchungsplanung kann auch neue Folgefragen auf die bereits gestellten Forschungsfragen aufwerfen, welche den Zyklus neu initiieren. Wenn die Vorbereitungen für die Untersuchung abgeschlossen sind, erfolgt die Durchführung des geplanten Experimentes und die Erhebung der zugehörigen Daten. Auch hier können Beobachtungen zu weiteren Fragen führen und den Forschungszyklus neu starten.

Der anschließenden Datenauswertung folgt ein Versuch der Interpretation und Schlussfolgerung basierend auf den Beobachtungen der Schüler*innen. Hierbei ist die Trennung von Beobachtung und Erklärung, sowie das evidenzbasierte Argumentieren von

äußerster Bedeutung. Wichtig ist auch, dass die Lernenden in ihrer Datenauswertung nicht den Rückbezug auf die Forschungsfragen, welche sie gestellt haben, verlieren. Dabei sind die Lernenden dazu angehalten, über ihre Vermutungen und Entdeckungen, ihren eigenen Lernprozess und die damit in Verbindung stehenden persönlichen Bedeutungskontexte zu reflektieren (Reitinger 2013a: 38). Ungeklärte Beobachtungen führen im Idealfall zu einer Fragengenese und einem weiteren neuen Forschungszyklus.

Abgeschlossen wird ein Zyklus mit der Präsentation der Ergebnisse im Rahmen einer Diskussion (Koliander & Steininger 2018: 11). Der kritische Diskurs beschäftigt sich mit Inhalten und eigens konkludierten Deutungen und reflektiert Produkte, Meinungen, subjektive Wahrheiten und Handlungsprozesse (Reitinger 2013a: 37). Das Mitteilen von Inhalten ist ein charakteristischer Schritt in wissenschaftlichen Forschungen und darf daher auch in einem daran angelehnten Instruktionsverfahren nicht unberücksichtigt bleiben (Messner 2009: 23). Reitinger schlüsselt den abschließenden Diskurs in drei Dimensionen auf: Die Dimension des Ergebnisses, des Prozesses und die des persönlichen Bedeutungskontextes (Reitinger 2012b: 96). Das Vermitteln dieser drei Dimension trägt eine persönliche Bedeutung für die Schüler*innen, da diese sich autonom und motiviert mit ihren Forschungsinhalten auseinandergesetzt haben. Nach Deci & Ryans Selbstbestimmungstheorie der Motivation (2004: 7) hat ein Mensch in seiner Wirksamkeit ein Bedürfnis, erzielte Kompetenzen weiterzugeben (Kompetenzbedürfnis). Reitinger (2013a: 40) bezeichnet diesen Mitteilungsprozess auch als „conclusiobasierten Transfer“.

Anders als bei linear verlaufenden Zyklen (e.g., White & Fredrikson 2008) besteht im Forschungsnetz die Besonderheit, dass Irr- und Umwege auf dem Pfad zur Erkenntnisgewinnung bewusst von Lernenden durch die Lehrperson explizit gemacht werden können und dadurch der epistemische Aspekt des forschenden Lernens in den Vordergrund gerückt wird (Hofer & Puddu 2020: 64).

3.6. Inquiry-levels im forschenden Lernen

Um forschendes Lernen situativ auf die Schüler*innen abzustimmen, bedarf es eines dynamischen Unterrichtsplanmodells, welches das Ausmaß der zugeteilten Autonomie im Forschungsprozess in Betracht zieht (Hofer & Puddu 2020: 59). Abhängig von der Offenheit des Lernformats wird forschendes Lernen in vier verschiedene Stufen unterteilt:

	Source of the Question	Data Collection Methods	Interpretation of Results
Level 0: Verification	Given by teacher	Given by teacher	Given by teacher
Level 1: Structured	Given by teacher	Given by teacher	**Open to student**
Level 2: Guided	Given by teacher	**Open to student**	**Open to student**
Level 3: Open	**Open to student**	**Open to student**	**Open to student**

Tabelle 2: Schwab und Herons Stufen von Inquiry nach Abrams et al. (Abrams et al. 2008: xx)

In Tabelle 2 ist ein grundlegendes Stufenmodell für den Inquiry-Prozess abgebildet. Blanchard et al. (2010: 581) beschreibt das forschende Lernen in vier aufeinander aufbauenden Levels. Auf Level 0 (Verification) gibt die Lehrperson klare Vorgaben zum ganzen Ablauf des Forschungsprozesses. Dies ist trotzdem als eine Aktivität im forschenden Lernen anzusehen, da selbst beim „Experimentieren nach Rezept“ die Conclusio für die Lernenden nicht offensichtlich ist und Schüler*innen durch die Begleitung der Lehrperson beim Interpretationsprozess über die Bedeutung der Resultate lernen können (vgl. Settlage & Southerland 2007). Auch das Lernen über einen Forschungsprozess und die Verbesserung motorischer Fähigkeiten im Labor sind ein Mehrwert, den Lernende bereits auf Level 0 erfahren können. Hofer und Puddu (2020: 60) weisen jedoch darauf hin, dass sich forschendes Lernen nicht ausschließlich auf haptische Aktivitäten limitieren muss: Auch das Beobachten von Phänomenen, Vergleichen und Ordnen von Datenmaterial oder die Modellierung kann eine forschende Lernaktivität bereits sein. Auf Level 1 (Structured) hingegen übernehmen bereits die Schüler*innen die Datenauswertung und Interpretation, jedoch obliegt die eigenständige Planung einer Untersuchung und die Wahl einer dazu passenden Methode den Lernenden erst ab Level 2 (guided). Die anspruchsvollste Stufe (Level 3, open) sieht vor, dass die Lernenden sogar ihre eigenen Fragestellungen entwickeln und dadurch die Hauptverantwortung in allen wesentlichen Aspekten eines Forschungsprozesses übernehmen (Blanchard 2010: 581).

Die Besonderheit dieses Modells liegt in seiner Flexibilität: Beim forschenden Lernen sind die Levels, nach denen der Unterricht zunächst geplant wurde, nicht in Stein gemeißelt. Der Grad der Offenheit kann situational auf den individuellen Lernenden angepasst werden, indem zusätzliche Hilfestellungen durch die Lehrperson in Form von Betreuung oder Unterrichtsmaterial (gestufte Lernhilfen, siehe Kapitel 3.7.) den Schüler*innen zur Verfügung gestellt werden können, wenn diese in ihrem Forschungsprozess nicht voranschreiten können.

Auch das Setzen von Rahmenbedingungen in Bezug auf die verfügbaren Materialien oder das Vorgeben einer Auswahl von Fragestellungen oder möglichen Hypothesen (z.B. via Concept Cartoons) kann verwendet werden, um einen Teilschritt in einem forschenden Lernprozess einzuführen und den Grad der Eigenständigkeit anzupassen (hierfür wurden auch komplexere Modelle entwickelt, z.B. Buck et al. 2008: 54). Gleichzeitig ist auch eine Erhöhung des Inquiry-Levels durch die Lernenden möglich, da sich aus Untersuchungen auf Level 0 bis 2 auch weiterführende Fragestellungen entwickeln können, die sich am höchsten Level orientieren (Abels & Lembens 2015: 5).

3.7. Erstellung einer förderlichen Lernumgebung für das forschende Lernen

Als Lernumgebung werden grundsätzlich institutionell organsierte Lernarrangements bezeichnet, welche nicht ausschließlich durch Lehrpersonen-Inputs und den fragenden Unterricht gesteuert werden, sondern durch ein Angebot umfangreicher Lehr- und Lernformen, die das Lernen aus dem Blickwinkel der Schüler*innen konzipieren (Frauendorfer 2012: 12). Dabei sieht Reitinger (2013a: 69) in der Lernumgebung eine Schlüsselrolle, da Lernerfolg neben Vorwissen und Interesse auch vom Kontext des stattfindenden Lernprozesses abhängig ist. Instance und Dumont (2010: 317) fassen zusammen, dass eine Lernumgebung, welche kollaboratives Lernen ermöglicht, den Lernprozess (und nicht das Ergebnis) ins Zentrum stellt, sich an den Motivationen und Interessen der Lernenden richtet, auf Vorerfahrungen Bezug nimmt, Überforderung vermeidet, eine Feedbackkultur pflegt und einen Wissenstransfer über die Schulstunde hinaus ermöglicht, sich positiv auf den Lernerfolg auswirkt. Besonders die Möglichkeit des Wissenstransfers ist wesentlich im forschenden Lernen, da sich IBL an der Bearbeitung authentischer Problemstellungen orientiert. Die Problemstellungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie eine persönliche Relevanz für mögliche zukünftige Handlungskontexte der Lernenden tragen und daher das vermittelte Wissen auch außerhalb des Unterrichts genutzt werden kann (Gräsel 2009: 253-254). Bransford et al. (vgl. 1990) bezeichnen dieses faktische Wissen als konditionalisiertes Wissen, da es bereits mit dem Erlangen auf eine Anwendungssituation bezogen wird. Die Lernumgebung im forschenden Lernen kann daher auch als eine problemorientierte Lernumgebung verstanden werden.

Damit der Lernprozess im problemorientierten Unterricht durch die Lehrperson gesteuert werden kann, bedarf es Lernaufgaben (vgl. Neber 1997), einer Gestaltung der sozialen

Lernorganisation (vgl. Neber 1998) und Hilfestellungen zur Förderung der Lernendenaktivität (Neber 1999: 234).

Lernaufgaben beeinflussen die Struktur des erworbenen Wissens (Neber 1999: 235). Laut Dijkstra (1997: 5) führen beispielsweise Kategorisierungsaufgaben zum Erwerb von begrifflichem Wissen, Interpretationsaufgaben zu der Generierung kausalen Wissens und Designaufgaben zur Verbesserung der prozeduralen Fähigkeiten.

Die soziale Lernorganisation dient zur Verbesserung epistemischer Aktivitäten (Neber 1999: 235). Durch den gemeinsamen Arbeitsvorgang in der Gruppe können beispielsweise Aufgabenstellungen untereinander verteilt werden und auch gegenseitige Unterstützung gefördert werden (ebd. 1999: 235).

Die Entwicklung von Hilfestellungen zur Förderung wissensgenerierender und prozesskontrollierender epistemischer Aktivitäten unterstützt die Lernenden während ihrem Forschungsprozesses (Neber 1999: 236). Diese in verschiedenen Unterstützungsgraden entwickelten, gestuften Lernhilfen basieren auf dem englischen Konzept des „scaffolding“ (Baugerüst), welches Unterstützungsleistungen beschreibt, die während eines Lernprozesses zur Bewältigung von Aufgabenstellungen temporär angeboten und nach Ende des Lernunterfangens wieder entzogen werden (Hofer & Puddu 2020: 66). Hammond & Gibbons (2005: 11) unterscheiden im Kontext des Unterrichts zwischen „macro-scaffolding“ und „micro-scaffolding“. Unter macro-scaffolding werden alle Unterstützungselemente verstanden, welche bereits in der Planungsphase vorbereitet wurden (z.B. gestufte Hilfen, vorgefertigte Strukturen, Lösungsbeispiele, etc.). Im Kontrast dazu beschreibt das micro-scaffolding spontane Unterstützungsmaßnahmen im Unterrichtsgeschehen, um Lernende im Lernprozess direkt zu begleiten (z.B. offenes Fragen, Paraphrasierung von Lernendenaussagen, etc.). Beide Formen von Hilfestellungen verfolgen das Ziel, die Lernumgebung in solcher Weise zu gestalten, dass die Lernenden auf ein Niveau temporär angehoben werden können, um das Anforderungslevel der Aufgabenstellung trotz Herausforderung bewältigen zu können, ohne davon überfordert zu werden (Hofer & Puddu 2020: 66). Das durch die Unterstützungsmaßnahmen erzielte Level wird auch als „Zone der nächsten Entwicklung“ (zone of approximate development) bezeichnet (Vygotsky 1978).

Für forschendes Lernen auf höherem Offenheitsgrad dienen gestufte Hilfen als essenzielles Begleitmaterial zur Etablierung der Lernumgebung. Diese können eine Vielzahl an Formen

annehmen, wie beispielsweise aufeinander stützende Fragestellungen, klare Handlungsinstruktionen oder sogar schrittweise Anleitungen, welche sich auf methodische oder inhaltliche Gesichtspunkte beziehen. Es obliegt dabei den Lernenden, ob und zu welchem Grad sie das Unterstützungsangebot wahrnehmen wollen (Hofer & Puddu 2020: 66).

3.8. Prinzipien forschenden Lernens

Für Reitinger sind der Grad der Komplexität und Selbstbestimmung in einem Lernsetting entscheidende Faktoren, welche die Erfolgschance auf einen Lernfortschritt beeinflussen. Der Erstellung einer prozessförderlichen Lernumgebung für das forschende Lernen gehen laut Reitinger (2013a: 46) daher eine Reihe von Prinzipien voraus:

- Prinzip des Vertrauens
- Prinzip der Selbstbestimmtheit
- Prinzip der Sicherheit
- Prinzip der Veranschaulichung
- Prinzip der Strukturierung
- Prinzip der Personalisierung

Das Prinzip des Vertrauens drückt aus, dass selbstbestimmtes Arbeiten und das Einlassen auf das Unbekannte sich erst durch eine urteilsfreies Arbeitsklima und eine Vertrauensbasis zur Umgebung ergibt (Reitinger 2013a: 46 & 61).

Im Prinzip der Selbstbestimmtheit ist das Grundkonzept forschenden Lernens verankert. Schüler*innen sollen in autonomen Handlungsräumen im Rahmen persönlich relevanter Inhalte durch ein angemessenes Level an Herausforderung in einem sozial eingebundenen Setting Kompetenz empfinden (Reitinger 2013a: 61). Damit beziehen sich diese Dimensionen des forschenden Lernens auf die drei fundamental psychologischen Grundbedürfnisse zur Entwicklung intrinsischer Motivation: Autonomie, Kompetenz und soziale Eingebundenheit (Deci & Ryan 2004: 7).

Unter dem Prinzip der Sicherheit wird das Bewusstsein verstanden, dass neue und ungewisse Erfahrungen für die Lernenden auch eine Quelle von Unsicherheit darstellen können (z.B. mögliches Scheitern). Es gilt daher eine positive Fehlerkultur in einer sicheren Lernumgebung zu schaffen, in welcher die Lernenden Unterstützung erfahren können (Reitinger 2013a: 52).

Mit dem Prinzip der Veranschaulichung wird die Konstruktionsunterstützung von Lerninhalten angesprochen, um Lernende, welche an die Grenzen ihres autodidaktischen Erfassungspotential stoßen, in ihrem Erkenntnisprozess zu unterstützen (Reitinger 2013a: 53).

Das Prinzip der Strukturierung bezieht sich auf die Prozess- und Phasenstrukturen im forschenden Lernen. Die Prozessstruktur repräsentiert laut Reitinger (2013a: 55) den temporären Ablauf eines Lernarrangements und unterteilt diesen in einzelne Phasenstrukturen, wobei diese nicht notwendigerweise linear verlaufen müssen (siehe auch Kapitel 3.5.).

Durch das Prinzip der Personalisierung soll der Heterogenität von Schüler*innen im Lehr- und Lernprozess Rechnung getragen werden. Dabei soll die Lernumgebung die unterschiedlichen Leistungslevels, Interessen und Motivationen der Lernenden berücksichtigen und auch durch die Lernenden personalisiert werden können (Reitinger 2013a: 61).

Die Festlegung dieser Prinzipien wirkt sich laut Reitinger nicht nur prozessförderlich auf den Unterricht aus, sondern didaktisiert auch das forschende Lernen, welches andernfalls durch seine hohe Komplexität nur unzureichend präzise antizipier- und planbar ist (Reitinger 2013a: 63).

3.9. Organisation forschenden Lernens durch die Lehrperson

Die Komplexität und der Grad an Selbstbestimmtheit seitens der Schüler*innen im forschenden Lernen führen zwar zu einem facettenreicheren Unterricht, jedoch ist dieser dadurch auch unbestimmbarer. Neben der Orientierung an den Prinzipien für forschende Lernarrangements bieten auch praktikable Organisationsmodelle den Leiter*innen forschenden Lernens einen konkreten Orientierungs- und Handlungsrahmen für die Vorbereitung, Durchführung und Reflexion ihres Unterrichts (vgl. Reitinger 2013a: 71-73).

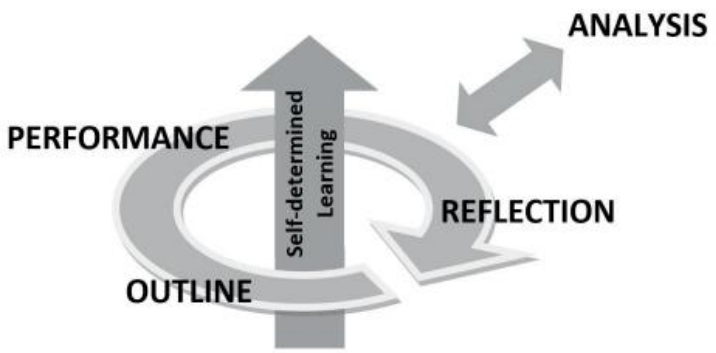


Abbildung 5: OPeRA Organisationsmodell (Reitinger 2016: 43)

In Abbildung 5 ist das OPeRA (**O**utline – **P**erformance – **R**eflection – (Process) **A**nalysis) Organisationsmodell illustriert, welches von Reitinger (2012a: 112) für konstruktivistische und selbstbestimmte Lernarrangements entwickelt wurde. Dieses Modell schlüsselt die Organisation von Unterricht mit Fokus auf selbstbestimmten Wissenserwerb in vier Prozessphasen auf. Diese vier Ebenen sind der Entwurf (Outline), die Performanz (Performance), die Reflexion (Reflection) und die Analyse (Analysis), welche auch als Meta-Reflexion verstanden werden kann (Reitinger 2013a: 73).

In der Entwurfsphase finden die Vorbereitungen der Lehrperson für das forschende Lernen statt. Reitinger bezeichnet diese Startphase des Kreislaufs bewusst als Entwurfsphase anstatt Planungsphase, um den schwer antizipierbaren Charakter der Instruktionsmethode zu verdeutlichen. Die darauffolgende Performanz beschreibt den tatsächlichen Ablauf des selbstbestimmungsorientierten Unterrichts. Während dieser Phase findet das forschende Lernen orientiert an den Interessen und Fähigkeiten der Schüler*innen statt. Im Zuge der Reflexion wird das eigene Handeln und die erlebten Erfahrungen im forschenden Lernarrangement kritisch durchleuchtet, reflexiv legitimiert bzw. für die Zukunft neu arrangiert. Über die Phasen des Entwurfs, der Performanz und der Reflexion spannt sich der Bogen der meta-reflexiven Analyse. Mit der Meta-Analyse betont Reitinger die Notwendigkeit einer theorie- und evidenzbasierten (Prozess)-Analyse in Ergänzung zur Unterrichtsreflexion (Reitinger 2013a: 74). Dadurch wird das zunächst unvorhersehbare Instruktionsmodell reguliert (Erörterung der Viabilität der Methode und ihrer Aufbereitung) und progressiv erweitert (Überarbeitung des Unterrichtskonzepts basierend auf Evidenzen) (Reitinger 2012a: 112).

Die Reflexion des OPeRA Modells an der selbstbestimmenden Lernkultur des forschenden Lernens führt laut Reitinger (2013a: 75-78) zu folgenden handlungsunterstützenden Deduktionen:

- Forschendes Lernen ist zwar nicht planbar, aber kann dennoch vorbereitet werden. Dabei legt die Lehrperson im Unterrichtsentwurf zunächst unter Berücksichtigung der Schüler*inneninteressen und curricularen Rahmenbedingungen Grobziele fest, gestaltet einen ersten Handlungsleitfaden, antizipiert den Verlauf des Unterrichts und entwirft dahingehend eine Lernumgebung mit einem passenden Grad an Offenheit.

- Aufgrund des hohen Autonomiegrads seitens der Schüler*innen lässt sich forschendes Lernen nicht standardisieren. Es bedarf daher kontinuierlichen Evolvierens der eigenen Methode für den Entwurf von Unterrichtskonzepten, welche auf forschendem Lernen basieren.
- Die Lehrperson benötigt in ihrer Rolle als Begleiter (Inquiry Coach) ein ausgiebiges Repertoire an Kommunikations- und Unterrichtstechniken, um während der Performanz situationsbedingt auf die Bedürfnisse der Lernenden reagieren und die Lernumgebung anpassen zu können.
- Zur Unterstützung der Unterrichtsreflexion ist es dienlich, die Performanz der Lernenden interpretationsfrei und beobachterbewusst dem eigenen Unterrichtsentwurf gegenüberzustellen. Die Diskrepanzen beider betonen die Unbestimmbarkeit des forschenden Lernens und helfen auch dabei, den eigenen Umgang damit vor das geistige Auge zu bringen.
- Die Meta-Analyse als theorie- und evidenzfundierte Reflexion sowie Teil des forschenden Habitus ist eine Wirkvariable für den Aufbau selbstbestimmter Lernangebote. Reitinger (2013b: 17) nennt als Quelle der Prozessanalyse demonstrativ das Einbinden der Schüler*innen durch die Sammlung qualitativer Rückmeldungen anderer Lehrender von Hospitationen und die des aktuellen Forschungsdiskurses.

Forschendes Lernen organisiert nach dem Inquiry- und OPeRA Modell orientiert sich an den in der Selbstbestimmungstheorie verankerten Grundbedürfnissen nach Autonomie, sozialer Eingebundenheit und Kompetenzempfinden. In seiner offensten Form werden Lernziele durch die Schüler*innen selbst festgelegt, jedoch besteht die Notwendigkeit zumindest zu einer gemeinsamen Aushandlung dieser im Dialog. Die genaue Betrachtung und Kategorisierung der Lernziele führt zu einem Überblick, welche kognitiven Prozesse und curricularen Vorgaben durch das Lernarrangement behandelt wurden und welche Aspekte des Lehrplans noch offengeblieben sind (vgl. Reitinger 2013a: 81).

3.10. Grenzen und Herausforderungen von forschendem Lernen

Der Komplexität des Instruktionsformats seien auch eine Vielzahl von Grenzen und Herausforderungen in der Planung, Durchführung und Nachbereitung geschuldet. Unabhängig vom Grad der Offenheit stellt forschendes Lernen hohe Anforderungen an das Wissen der Lehrperson (Beyerlin et al. 165) und setzt einen extraordinär hohen Arbeits- und

Organisationsaufwand voraus, um den potenziellen Lernertrag für alle Schüler*innen zu sichern. Dazu gehört eine Planung, welche eine Brücke zwischen den Interessensgebieten der Lernenden und den übergeordneten curricularen Vorgaben des Unterrichtsfaches schlägt. In naturwissenschaftlichen Fächern steht das Experiment als substanzielle Handlung zum Erkenntnisgewinn im Zentrum des forschenden Lernens, weswegen den Lehrzielen gebührend (alltagsbekannte) Materialien für die Arbeit zur Verfügung gestellt werden sollten. Damit das Experimentieren auch stattfinden kann, müssen auch die schulischen Rahmenbedingungen, wie beispielsweise ein verfügbarer Chemiesaal oder Doppelstunden, die Organisation des Lernarrangements ermöglichen.

Aber nicht nur die Vorbereitungsphase stellt eine große Herausforderung dar, sondern auch die Durchführung des Instruktionsformats. Für Schüler*innen kann nicht vorausgesetzt werden, dass sie bereits mit dem typischen Ablauf der forschenden Praxis vertraut sind. Es ist daher essenziell, die Lernenden schrittweise in das forschende Lernen einzuführen, bei einem niedrigen Inquiry-Level anzufangen und auch prozedurale Phasen gezielt zu üben, damit die Schüler*innen die Fähigkeit erlangen, eigenständige Untersuchungsprozesse einzuleiten und durchzuführen. Die Stärken der Lernenden sind hierbei unterschiedlich – manche zeigen bessere Leistungen in der Planung von Untersuchungen, andere wiederum in der Beobachtung und Schlussfolgerung nach der Datenakquisition. Um auf die heterogenen Leistungsverhältnisse differenziert einzugehen und die prozeduralen, konzeptuellen und epistemischen Fähigkeiten gezielt zu fördern, müssen dezidierte Lernaufgaben formuliert und durch ein Angebot gestufter Lernhilfen gestützt werden, welche sich jedoch auf den Vorbereitungsaufwand für die Lehrperson kumulativ auswirken. Hofer und Lembens (2021: 4) empfehlen hierzu, sich auf eine der drei kognitiven Ebenen zu fokussieren und die Anforderungen an die anderen beiden Dimensionen bewusst niedrig zu halten. Aber auch im Unterricht selbst scheint oftmals zu wenig Zeit für eine ausführliche direkte Begleitung der Lernenden in Bedarfssituationen vorhanden zu sein, sofern nicht zumindest eine zusätzliche Lehrperson im Team-Teaching zur Verfügung steht. Dies ist jedoch nicht in allen österreichischen Schulformen bisher Usus.

Darüber hinaus muss sich das Lernsetting an die Anliegen und Bedürfnisse der Lernenden orientieren. Eine Vernachlässigung der Methodenaffirmation führt zu einem erzwungenen selbstbestimmten Handeln und als Konsequenz zu einer Missachtung der psychologischen

Kernbedürfnisse für den selbstbestimmten Wissenserwerb (vgl. Reitinger 2013a 26). Die erzwungene Freiheit durch ein extensives Maß zugeteilter Autonomie resultiert in einem Ambivalenzempfinden bzw. einer Handlungsparalyse (Matys 2006: 100). Es gilt dabei zu bedenken, dass die notwendigen Kompetenzen für forschendes Lernen in einem komplett offenen Setting (Level 3) nicht eine Voraussetzung, sondern ein Ziel der naturwissenschaftlichen Grundbildung darstellen (Bader & Lühken 2019b: 468). Abrams et al. (2008: xxii) weisen daher zurecht auf eine Mäßigung der Erwartungen seitens der Lehrpersonen an die Schüler*innen im forschenden Lernformat hin. Dies bedeutet jedoch nicht, dass forschendes Lernen bis in die 12. Schulstufe ausschließlich auf niedrigeren Anspruchslevel durchzuführen ist, jedoch sollte das Lernarrangement den Lernenden ermöglichen den Autonomiegrad ihrer Handlungen eigenständig zu bestimmen.

Abschließend ist auch das im Experimentalunterricht übliche Dilemma zum zeitlich optimierten Wegräumen und der Reinigung der Unterrichtsmaterialien zu nennen. Besonders im forschenden Lernen wird dieses durch das breite Angebot verfügbarer Ingredienzien intensiviert. Doch auch die nachbereitende Reflexion und Meta-Analyse (siehe OPeRA-Modell in Kapitel 3.9.) durch die Lehrperson ist in diesem schwer antizipierbaren und damit volatilen Instruktionsformat fundamental. Lehrer*innen sind im forschenden Lernen besonders dazu angehalten auch eigene Forschung über ihren Unterricht zu betreiben und theorie- und evidenzbasierend den Aufbau ihrer Instruktion zum forschenden Lernen weiterzuentwickeln.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass forschendes Lernen ein Lernarrangement mit hohem Potenzial darstellt, jedoch sowohl der Lehrperson, der Schulorganisation als auch den Schüler*innen innerhalb und außerhalb des Unterrichts beträchtliches abverlangt. Die vielseitige Anwendung des Formats wird gleichzeitig begrenzt und beflügelt durch die schulischen Rahmenbedingungen, die Kapazitäten der Lehrperson und die Fähigkeiten und Bedürfnisse der Lernenden.

3.11. Forschendes Lernen in Bezug auf Kompetenzmodelle und Curricula

Fragend-entwickelnder Unterricht ist eine Interaktionsform zwischen Schüler*innen und der Lehrperson, welche auch im naturwissenschaftlichen Unterricht ausgiebig Anwendung findet. Lernende, welche ausreichend Vorwissen mitbringen und mit dem Unterrichtstempo, sowie der Sprache und Artikulation der Lehrperson zurrechtkommen, profitieren erfahrungsgemäß von dieser Methode (Abels & Koliander 2017: 53). In einem heterogenen Klassenverbund ist

jedoch nicht zu erwarten, dass alle Kinder ausreichende Sprach- und Fachkenntnisse mitbringen, um dem fragend-entwickelnden Unterricht immer folgen zu können. Jedoch sollen Lernende laut den AHS-Standards für die mündliche Reifeprüfung im Unterrichtsfach Chemie im Kompetenzbereich „Erkenntnisse gewinnen“ folgende Kompetenzen vorweisen (Abels et al. 2012):

- zu naturwissenschaftlichen Fragen, Vermutungen und Problemstellungen eine passende Untersuchung (Beobachtung, Messung, Experiment, …) durchführen und protokollieren (EO1)
- Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (EO2)
- zu naturwissenschaftlichen Fragen, Vermutungen und Problemstellungen eine passende Untersuchung (Beobachtung, Messung, Experiment, …) planen (EO3)
- naturwissenschaftliche Modelle verwenden, um Daten und Ergebnisse von Untersuchungen sowie Vorgänge und Zusammenhänge zu erklären (EO4)
- zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen, Vermutungen aufstellen und Problemstellungen definieren, die mit Hilfe naturwissenschaftlicher Kenntnisse und Untersuchungen bearbeitet bzw. überprüft werden können (EO5)
- auf der Basis von Daten und Untersuchungsergebnissen sowie deren Interpretation Hypothesen über Vorgänge und Zusammenhänge aufstellen (EO6)
- die Relevanz von Untersuchungsergebnissen im Hinblick auf eine konkrete Frage, Vermutung oder Problemstellung einschätzen (EO7)

Die genannten Kompetenzen können je nach Anforderungsniveau entweder angeleitet oder selbstständig den Lernenden abverlangt werden. Es wird dabei deutlich, dass die gelisteten Deskriptoren sich mit den Kompetenzen der einzelnen Phasen eines Forschungszyklus im forschenden Lernen decken und in diesem Instruktionsmodell abhängig vom Grad der Offenheit zu verschiedenen Anteilen autonom erarbeitet werden können.

Gleichermaßen sieht auch das BHS-Kompetenzmodell für das Fach Naturwissenschaften Handlungskompetenzen vor, welche mit den inhaltlichen Schwerpunkten des Lehrplans vernetzt werden sollen, um zu einer naturwissenschaftlichen Grundbildung zu führen. Im Bereich B (Untersuchen und Bearbeiten) werden dazu folgende Deskriptoren genannt (BMUKK 2009: 16):

- Ich kann naturwissenschaftliche Fragestellungen analysieren und Untersuchungsfragen stellen (B.2)
- Ich kann mögliche Untersuchungsmethoden nennen, Lösungsansätze formulieren und mögliche Untersuchungsergebnisse vorab abschätzen (B.3)
- Ich kann einfache naturwissenschaftliche Untersuchungen planen, typische naturwissenschaftliche Arbeitsmethoden anwenden und entsprechende Ergebnisse erhalten (B.4)
- Ich kann gewonnene Ergebnisse interpretieren und dokumentieren (B.5)

Analog zum Kompetenzmodell der AHS-Oberstufe finden sich auch hierbei Parallelen zwischen den gelisteten Deskriptoren und dem Ablauf der einzelnen Phasen im forschenden Lernen. Als Methode der Erkenntnisgewinnung deckt forschendes Lernen damit wesentliche Ziele der naturwissenschaftlichen Grundbildung ab.

In den Curricula des Unterrichtsfaches Chemie in der Sekundarstufe I wird zwar das forschende Lernen nur in den allgemein didaktischen Grundsätzen dezidiert genannt, jedoch zeigen sich aus den fachspezifischen didaktischen Grundsätzen Unterrichtsziele, welche durch das forschende Lernen verfolgt werden können:

> Ausgehend von ihrer Erfahrungswelt sollen die Schülerinnen und Schüler im Chemieunterricht den induktiven Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung nachvollziehen und zunehmend selbstständig durchführen. Dies beinhaltet das Formulieren von Fragen und Vermutungen sowie das Planen, Durchführen, Beobachten und Auswerten von Untersuchungen (RIS 2023a: 81; RIS 2023b: 100).

In den Chemie-Lehrplänen der Sekundarstufe II wird das forschende Lernen ebenfalls nicht ausdrücklich genannt. Das Curriculum der AHS-Oberstufe sieht jedoch vor, dass Lernende Autonomie beim Wissens- und Kompetenzerwerb, sowie Problemlösekompetenz und Kommunikationsfähigkeit mit Expertinnen erlangen sollen (RIS 2016a: 79). Das Chemie- und angewandte Naturwissenschaftscurriculum der BAFEP richtet sich primär an inhaltliche Kompetenzen, deutet jedoch trotzdem sowohl auf die Notwendigkeit mit naturwissenschaftlichen Methoden zu arbeiten als auch Ergebnisse auswerten zu können (RIS 2016b: 54-56; RIS 2016c: 59). Ähnlich wird es auch im Lehrplan des Unterrichtsfaches Naturwissenschaften in der HLW gehandhabt, welche zumindest einzelne Phasen des forschenden Lernens an inhaltliche Aspekte gekoppelt hat (e.g. „Untersuchungen im Bereich

Wasser und Luft“ ; RIS 2015a: 85). In den NaWi-Lehrplänen der HTL und HAK wird hingegen die Durchführung, Dokumentation und Interpretation von Untersuchungen hervorgehoben (RIS 2015b: 25; RIS 2014: 92). Jedoch ist ausschließlich die HTL als einzige Schulform mit dem Unterrichtsfach Naturwissenschaften zu nennen, welche forschendes und entdeckendes Lernen konkret in den Unterrichtsmethoden der allgemeinen didaktischen Grundsätze als Weg zur Förderung der Problemlösekompetenz erwähnt (RIS 2015b: 11).

Zusammenfassend lässt sich daher schließen, dass durch die Kompetenzanforderungen sich forschendes Lernen als ein valider Zugang zur Erarbeitung chemiebezogener curricularer Inhalte bzw. der Vorbereitung auf die Reifeprüfung im Unterrichtsfach Chemie oder Naturwissenschaften eignet.

4. Fachliche Klärung

Die Metallbindung als chemischer Bindungstyp trägt einen wesentlichen Teil zum fachlichen Konzept der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen bei und ist daher in den Chemiecurricula aller Schultypen verankert. In der Sekundarstufe I beispielsweise referenzieren die neuen Lehrpläne (ab Wintersemester 23/24) der Mittelschule (RIS 2023a: 83) und AHS (RIS 2023b: 101) die Metallbindung unter dem Absatz „Bindungsmodelle, Strukturen, Wechselwirkungen". Das Curriculum der 11. Schulstufe AHS elaboriert, dass die „Modelle der chemischen Bindung (inkl. delokalisierter Elektronensysteme) und der Wechselwirkungen zwischen Teilchen" beschrieben und verglichen können sollten (RIS 2016a: 82). Der Lehrplan Chemie in der BAFEP sieht vor, dass Lernende im 4. Semester „die Ursachen für das Zustandekommen chemischer Bindungen" erklären und „die unterschiedlichen Bindungstypen" beschreiben können sollten (RIS 2016b: 55).

Im Unterrichtsfach Naturwissenschaften findet sich die Metallbindung ebenfalls verankert. Laut NaWi Curriculum der HAK, sollen Schüler*innen im 3. Semester „die Entstehung von chemischen Bindungen erklären" und „den Zusammenhang von chemischen Bindungen und Stoffeigenschaften erkennen" können (RIS 2014: 93). Der Lehrplan der BAFEP für das Fach Angewandte Naturwissenschaften hält sich wage, nennt aber im Lehrstoff die Kategorie „System" und bezieht sich dabei unter anderem auf das Lernen über Stoffeigenschaften (RIS 2016c: 60). Auch das Curriculum der HLW sieht vor, dass Schüler*innen im ersten Jahrgang „Eigenschaften der Stoffe anhand geeigneter Bindungsmodelle" erklären können sollten (RIS 2015a: 79). Ebenfalls wird an den höheren technischen Lehranstalten verlangt, dass chemische Bindungen und darauf zugrundeliegende Stoffeigenschaften behandelt werden (RIS 2015b: 25).

4.1. Inhaltliche Dimension

4.1.1. Elektronengasmodell

Aufgrund der niedrigen Ionisierungsenergien und Elektronennegativitäten geben metallische Atome ihre Valenzelektronen im Verhältnis leicht ab (Mortimer & Müller 2020: 148). Das Elektronengasmodell (Abb. 6) ist eine gängige Visualisierungsform zur vereinfachten Darstellung der metallischen Bindung und wird in Schulen verwendet, um metallische Eigenschaften annähernd zu erklären. Hierbei wird von einem Metallgitter ausgegangen, dessen Gitterplätze durch positive Ionenrümpfe besetzt sind, welche von delokalisierten

Valenzelektronen umgeben sind. Die freie Beweglichkeit der delokalisierten Valenzelektronen ähnelt der Vorstellung, wie Gasatome sich frei im Gasraum bewegen können, weswegen diese frei beweglichen Elektronen auch als ein Elektronengas bezeichnet werden (vgl. Riedel & Janiak 2015: 180).

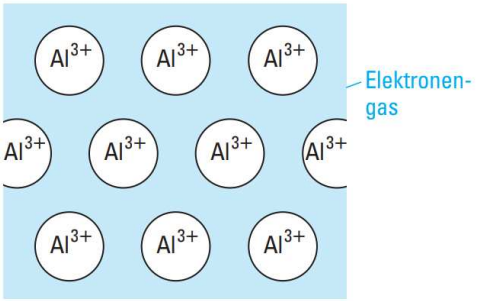


Abbildung 6: Elektronengasmodell eines Aluminiumkristalls (Riedel 2015: 180)

Von dieser Annahme ausgehend lassen sich wesentliche metallische Eigenschaften grundlegend erklären. Das negativ geladene Elektronengas und die positiv geladenen Atomrümpfe führen zu einem starken Zusammenhalt im Metallverbund; da die Bindungskräfte ungerichtet sind, treten bevorzugt dicht gepackte Metallstrukturen auf (ebd. 2015: 180). Im Gegensatz zu ionischen Verbindungen sind Metallische plastisch verformbar, da durch das Elektronengas die Bindungskräfte auch bei Verschiebung der Gitterebenen erhalten bleiben und es zu keinen Abstoßungen kommt. Die Bewegungsfreiheit der Valenzelektronen begründet die elektrische und thermische Leitfähigkeit der Metalle. Wird eine Spannung angelegt, so wandern die delokalisierten Elektronen innerhalb der Struktur in Richtung der Anode. Beeinflusst wird dieser Vorgang durch die Erhöhung der Temperatur des Systems, da infolgedessen die Schwingung der positiven Atomrümpfe störend mit der Beweglichkeit der Elektronen interferiert. Die Lichtundurchlässigkeit und der metallische Glanz der meisten Metalle sind auf die Fähigkeit der delokalisierten Elektronen, Licht aller Wellenlängen absorbieren und reflektieren zu können, zurückzuführen (vgl. Riedel & Janiak 2015: 180-182, vgl. Mortimer & Müller 2020: 149).

Das Elektronengasmodell erreicht jedoch seine Grenzen, wenn es darum geht, das thermodynamische Verhalten von Metallen zu erklären. Im Kontrast zu einatomigen Gasen (z.B. Edelgasen) welche wegen ihrer drei Translationsfreiheitsgrade eine molare Wärmekapazität von $^{3}/_{2}$ R betragen, gilt das Elektronengas als entartet; seine Wärmekapazität entspricht annähernd null. Dies widerspricht jedoch der Regel von Dulong-Petit, welche besagt, dass alle feste Stoffe eine molare Wärmekapazität von annähernd 3R

besitzen (vgl. Riedel & Janiak 2015: 182). Die Entartung des Elektronengases ist erst durch die Quantentheorie erklärbar.

4.1.2. Energiebändertheorie

Bei der Bändertheorie wird die metallische Bindung durch Molekülorbitale, welche sich durch den ganzen Kristall ziehen, beschrieben. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Wechselwirkung äquivalenter Atomorbitale unzähliger isolierter Metallatome zur Bildung eines Metallkristalls und einer dichten Folge von Energiezuständen führt (Riedel & Janiak 2015: 182; Mortimer & Müller 2020; 145, 148-149). Wenn ein Metallkristall aus 10^{20} Atomen gebildet wird (zum Vergleich: 1g Lithium enthält 10^{23} Atome), dann bilden sich aus 10^{20} äquivalenten Atomorbitalen eine idente Anzahl an Energieniveaus variierender Energielevel (Riedel & Janiak 2015: 182). Diese Anreihung an Energiezuständen wird auch als Energieband bezeichnet und kann durch die Molekülorbitaltheorie effektiv dargestellt werden. Wenn man ein Li_2-Molekül heranzieht, so entstehen bei der Überlappung der 2s-Orbitale der jeweiligen Atome ein bindendes und ein antibindendes Molekülorbital (MO). Eine Kombination der 2s-Orbitale von drei Li-Atomen resultiert in drei MOs (bindend, nichtbindend, antibindend); bei vier Li-Atomen treten vier Vierzentren MOs auf – je mehr Atomorbitale sich übereinander lagern, desto mehr unterschiedliche Energieniveaus treten auf. Da die Elektronen, welche die MOs besetzen, delokalisiert sind, erstreckt sich ihre Aufenthaltswahrscheinlichkeit über den gesamten Kristall. Energiebänder, die sich aufgrund von Valenzelektronen bilden, werden auch Valenzbänder genannt (vgl. Riedel & Janiak 2015: 180-183, Mortimer & Müller 2020: 148-149).

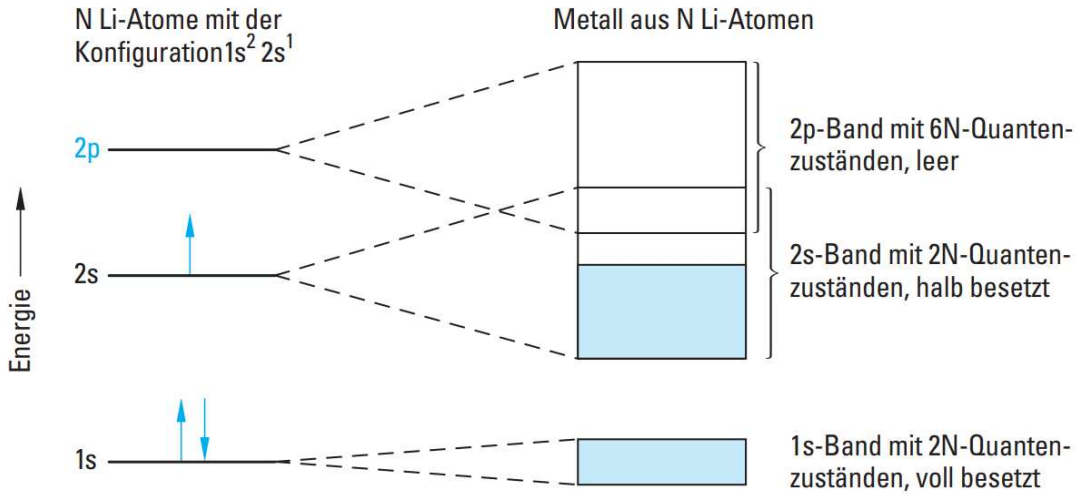


Abbildung 7: Bändermodell (Riedel 2015: 184)

In Abbildung 7 wird die Ausbildung von Energiebändern durch die Atomorbitale der Li-Atome illustriert. Das Energieband der 1s-Orbitale ist durch einen Energiebereich, welcher als verbotene Zone bezeichnet wird, vom Valenzband der 2s-Orbitale getrennt. In diesem Bereich befinden sich keine für Metallatome erlaubten Energieniveaus. Die Breite einer verbotenen Zone steht in Korrelation zur Energiedifferenz der Atomorbitale und der Stärke der Wechselwirkungen zwischen den Atomen im Gitter (Riedel & Janiak 2015: 184). Im Gegensatz dazu gibt es zwischen den 2s-Orbitalen und 2p-Orbitalen aufgrund von energetischen Überlappungen keine verbotene Zone. Die Besetzung der Energieniveaus der Energiebänder erfolgt nach dem Pauli-Prinzip: Jedes Energieniveau kann nur mit zwei Elektronen entgegengesetzten Spins belegt werden. Jedes Li-Atom trägt ein Valenzelektron, weswegen die Gesamtanzahl der Außenelektronen im 2s-Band der Anzahl der damit in Verbindung stehenden Molekülorbitale entspricht. Dementsprechend ist das 2s-Energieband auch nur halb besetzt, da nur die bindenden Molekülorbitale unterhalb, nicht aber die anti-bindenden Molekülorbitale oberhalb mit Elektronen belegt sind, wodurch die Lithium-Atome zusammenhalten (vgl. Mortimer & Müller 2020: 148-149).

Doch dadurch lassen sich auch andere metallische Eigenschafen erklären. Falls ein Energieband nicht vollständig mit Elektronen besetzt ist, ermöglicht es den negativ geladenen Elementarteilchen Bewegungsfreiheit (= Delokalisierung) innerhalb des Kristallgitters, denn die Abstände zwischen den Energieniveaus sind so verschwindend klein, dass Elektronen selbst bei niedrigsten Temperaturen zwischen diesen springen können, sofern sie nicht bereits voll besetzt sind. Im Falle von Beryllium geschieht der Sprung der Elektronen vom Valenzband des s-Orbitals ins unbesetzte Energieband (= Leitungsband) der unbesetzten 2p-Orbitale, welches energetisch dem 2s-Niveau nahe liegt und sich überschneidet. Durch die freie Beweglichkeit der Elektronen bei unvollständiger Besetzung oder Vorhandensein eines Leitungsbandes kann die elektrische Leitfähigkeit in Metallen begründet werden. Ebenso lässt sich mit den frei beweglichen Elektronen auch die Wärmeleitfähigkeit erklären. Bei der Absorption von Wärme wird diese in Form von kinetischer Energie durch alle Teile des Metalls weitergeleitet. Des Weiteren kann durch Einstrahlung von Licht ein frei bewegliches Elektron angeregt werden, welches entsprechend der Energie des Lichtquants einen Sprung in ein höheres Energieniveau macht. Beim Zurückfallen auf das ursprüngliche Energieniveau wird dabei Licht emittiert, wodurch der metallische Glanz zustande kommt (vgl. Mortimer & Müller 2020: 149).

Darüber hinaus lässt sich mit dem Energiebändermodell zwischen metallischen Leitern, Isolatoren und Halbleitern differenzieren.

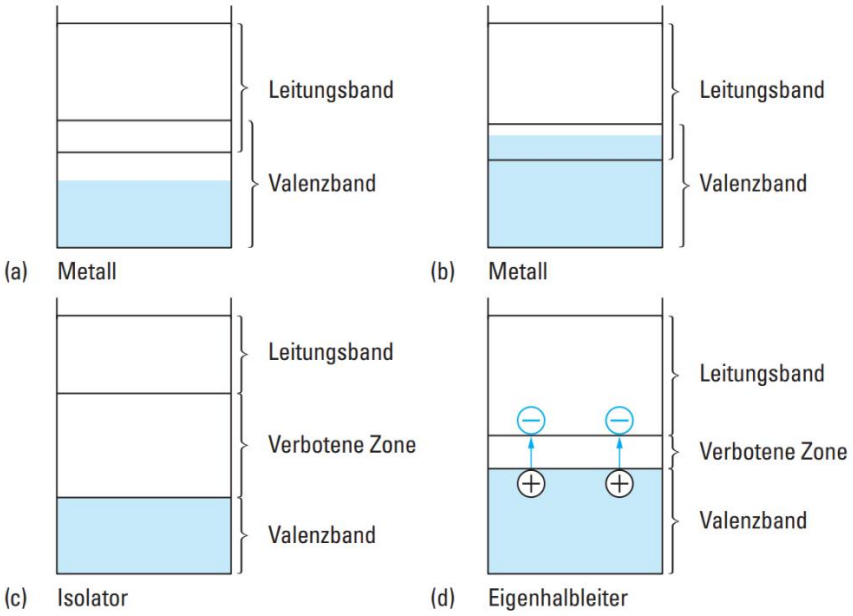


Abbildung 8: Beispiele von Energiebänderdiagrammen (Riedel 2015: 186)

Abbildung 8 zeigt die schematischen Energiebänderdiagramme von Alkalimetallen (a), Erdalkalimetallen (b), Isolatoren (c) und Eigenhalbleiter (d). Bei Metallen gibt es zwischen dem Valenzband und dem nächsthöheren Band keine verbotene Zone, weil diese einander überlappen. Dadurch ist beim Anlegen von Spannung eine Elektronenbewegung möglich, da genügend unbesetzte Energieniveaus mit Elektronen belegt werden können. Im Kontrast dazu trennt bei Isolatoren das voll besetzte Valenzband vom Leitungsband eine breite verbotene Zone, wodurch kein Elementarteilchenfluss in Bewegung gebracht werden kann. Eigenhalbleiter entsprechen einem Zwischenmaß; ihr Valenzband grenzt an eine schmale verbotene Zone, welche durch thermische oder optische Anregung von den Elektronen überwunden werden kann. Dadurch wird einerseits die Elektronenleitung im Leitungsband möglich, andererseits entstehen durch den Abgang von Elektronen im Valenzband neue unbesetzte Orbitale, die von anderen Elektronen in diesem Band wiederum belegt werden können und zu einem Leitungsfluss auch im Valenzband führen (vgl. Riedel & Janiak 2015: 186-187; Mortimer & Müller 2020: 150).

4.2. Präkonzepte der Schüler*innen zu Metallen und Metallbindung

Erfahrungsgemäß lässt sich behaupten, dass Lernende in naturwissenschaftlichen Fächern oftmals mit chemischen Präkonzepten in den Unterricht starten, welche sich vom wissenschaftlichen Verständnis der Lehrenden und der Forschung unterscheidet. Diese Fehlkonzepte können ein wesentliches Hindernis für den Lernprozess im Unterrichtsfach Chemie darstellen (e.g., Ben-Zvi. Bat-Sheva & Silberstein 1986; Barke 2006). Laut Posada (1997: 445) kann der Lernprozess als die Aneignung und Ergänzung neuer Inhalte zu bereits bestehenden Konzeptstrukturen verstanden werden. Aus einer konstruktivistischen Perspektive geschieht ein Lernprozess, wenn der Lernende aktiv sein eigenes Wissen konstruiert und transformiert, anstatt es nur passiv über jemand anderen aufzunehmen (vgl. entdeckendes Lernen in Kapitel 2.3.) (e.g., Driver et al. 1994; Vosniadou & Brewer 1987). Bereits existierende Schemata interagieren mit der neuen Information, was nicht nur zur gezielten Aneignung von fachrichtigen Inhalten führen kann, sondern bei Fehlinterpretation der Lernerfahrung auch zur Konstruktion alternativer Schemata beiträgt (Driver et al. 1985). Es gilt daher mit Bedacht auf mögliche Präkonzepte und potenzielle Fehlvorstellungen im Chemieunterricht als Lehrperson vorzugehen, damit bei den Lernenden ein Konzeptwandel stattfindet.

Im Themenbereich Metalle und Metallbindung finden sich im Kontrast zur Ionenbindung und kovalenten Bindung nur wenige Schüler*innenpräkonzepte und Fehlvorstellungen (vgl. Meltafina et al. 2019). Taber zeigte in einer Studie, dass A-Level Lernende chemische Bindungen oftmals in kovalent und ionisch unterteilen und infolgedessen auch die Bindung unter Metallatomen als solche klassifizieren oder metallische Bindungsverhältnisse mit diesen Modellen erklären (1998: 603, 605). Darüber hinaus berichtete er, dass Schüler*innen sich vom Bindungsbegriff distanzierten und stattdessen von zusammenhaltenden Kräften sprachen, wenn sie eine Verbindung nicht mit dem Konzept voller Valenzschalen erklären konnten; beispielsweise in einem Metall gäbe es Kräfte, aber keine Bindung (ebd. 1998: 605). Coll und Taylor (2001: 177) fanden heraus, dass Schüler*innen und noch nicht graduierte Studierende die Metallbindung als eine schwach zusammenhaltende Bindung einschätzten, obwohl dies ihrem phänomenologischen Eindruck, dass Metalle harte Stoffe sind, widersprach. Die vermuteten schwachen Bindungskräfte wurden verwendet, um die Duktilität von Metallen zu begründen. Ebenso fiel auf, dass einige Lernende annahmen, dass die Metallbindung in Metallgittern molekular zustanden kommen würde; als entsprechende Metallmoleküle (ebd.

2001: 179). Posada zeigt auf, dass es bei Lernenden in der Sekundarstufe II vermehrt vorkommen kann, dass die Atomrümpfe im Elektronengasmodell mit ganzen Atomen verwechselt werden (1997: 454). Mit diesem Fehlkonzept wurde von Schüler*innen versucht, die elektrische Leitfähigkeit zu erklären, wie beispielsweise: Metalle sind gute Leiter, weil ihre Atome die elektrische Energie aufnehmen können und durch Vibration diese weitergeben (ebd. 1997: 454).

4.3. Forschendes Lernen in Schulbüchern zum Thema Metallbindung

Die Metallbindung ist curricular bedingt in jedem für den Unterricht zugelassenen Chemie- bzw. NaWi-Schulbuch in Österreich vorzufinden. In nahezu allen Lehrbüchern wird das Elektronengasmodell als ausschließliche Grundlage für die Erklärung von Metalleigenschaften verwendet. Eine Ausnahme stellt hierbei das bereits ältere Buch „Chemie 1: Allgemeine und anorganische Chemie“ (Moser 2007) dar, welches die Energiebändertheorie ergänzend erläutert. Basierend auf der Modellierung nennen und erklären die meisten Schulbücher die Metalleigenschaften direkt, ohne sie experimentell vorher durch die Schüler*innen bestimmen bzw. beschreiben zu lassen (e.g., Gschöpf et al. 2022; Magyar et al. 2020). Etwas mehr Freiheit bei der Erarbeitung der Metallbindung bieten beispielsweise das Buch von De Cillia et al. (2021) „NaWi@HAK 1“ sowie das Werk von Ebert et al. (2019) „Starke Sache: Chemie in Alltag und Wirtschaft“: Schüler*innen experimentieren zwar zur Gänze nach einer Versuchsanleitung, sollen jedoch eigenständig ihre Erkenntnisse in vorgegebenen Rastern protokollieren und interpretieren. Ergänzend dazu bietet der Begleitband zum NaWi@HAK 1 eine Rechercheaufgabe zu den Eigenschaften von Legierungen (DeCillia et al. 2022). Die beiden Bücher für die kaufmännischen Schulen stechen dadurch heraus, weil sie die Verantwortung für Teile des Forschungszyklus den Lernenden übertragen und somit den Weg für forschendes Lernen auf Level 0-1 ebnen.

Noch weitaus mehr Spielraum bietet das Experimentierbuch von Haim et al. „Expedition Chemie“ (2019), welches die Lernenden dazu veranlasst, selbstständig eine Hypothese aufzustellen, den Versuchsaufbau zu skizzieren und die Ergebnisse innerhalb der Klasse zu diskutieren. Haim et al. etablieren auch das Brainstorming von Ideen zum Versuchsaufbau und die Reihung dieser nach gegenseitigem Austausch mit den Kommiliton*innen. Expedition Chemie fördert dadurch nicht nur das Erlernen prozeduraler Fähigkeiten in einem

Forschungsprozess, sondern auch die soziale Eingebundenheit, welche maßgeblich zur intrinsischen Motivation beiträgt.

Abschließend ist auch das Buch „Chemie auf Schritt und Tritt“ (Moritz 2016) für die Sekundarstufe I im Kontext des forschenden Lernens zu nennen. In diesem Lehrwerk werden den Schüler*innen die metallischen Eigenschaften bereits vor der Erläuterung der Metallbindung auf der submikroskopischen Ebene über phänomenologische Versuche (e.g., „Betrachte verschiedene Metallproben und beschreibe deren Eigenschaften. Finde heraus, welche Eigenschaften auf alle Metalle zutreffen!“ (Moritz 2016: 79)) nähergebracht. Auch die elektrische und thermische Leitfähigkeit von Metallen soll durch selbstständige Versuchsplanung und Durchführung eruiert und protokolliert werden. Schüler*innen können dadurch in eigenständiger Forschung spezifische chemische Metalleigenschaften explorieren ohne, dass diese bereits vom Lehrbuch vorweggenommen werden.

Als Resümee kann gezogen werden, dass forschendes Lernen zum Thema Metallbindung bereits etwas Beachtung in vereinzelten aktuellen Lehrbüchern findet, jedoch bisher noch kein Buch dezidiert diesen Instruktionsansatz mit fachlichen Inhalten kombiniert.

5. Empirischer Rahmen

Dieses Kapitel sieht vor, die Untersuchung der vorliegenden Studie zu präsentieren. Infolgedessen wird zunächst der Ablauf der Studie, die Wahl der Datenerhebungsinstrumente und die Probanden näher beschrieben. Es folgt darauf eine detaillierte Analyse zur Gestaltung des für die Studie entwickelten Fragebogens, Beobachtungsbogens und der Fragestellungen für das durchgeführte Leitfrageninterview. Gleichermaßen wird auch das Unterrichtskonzept, mit welchem die Untersuchung unternommen wurde, vorgestellt und didaktische Entscheidungen im Designvorgang begründet.

5.1. Ethischer Hintergrund zu den Untersuchungen

Die Untersuchung erfolgte im Zeitraum von vier Unterrichtsstunden in zwei aufeinanderfolgenden Wochen in zwei ersten Klassen eines Aufbaulehrgang an einer Wiener BHS/BMHS. Die Studie fand in Absprache mit der Mentorin der Masterpraxis, der Schule und den jeweiligen Schulklassen statt und wurde im Jänner 2024 durchgeführt. Die Lernenden wurden im Vorhinein über die Rahmenbedingungen der Studie informiert und konnten sich frei für bzw. gegen eine Teilnahme an der Datenerhebung entscheiden. Im Zuge der Datensammlung wurden keine persönlichen Daten aufgenommen, welche zu einem Rückschluss auf die individuelle Person führen könnten. Ebenso wurden die Rückmeldungen der Schüler*innen nicht an die jeweilige Klassenlehrerin oder die Schuldirektion weitergegeben. Die Auswertung der Daten erfolgte nach allen Kriterien guter wissenschaftlicher Praxis.

5.2. Methodik

Um die Auswirkungen forschenden Lernens auf den selbstbestimmten Wissensaufbau der Schüler*innen, Lernmotivation, Selbstwahrnehmung und der Wahrnehmung über die Transferbarkeit chemischer Inhalte feststellen zu können, wurden für zwei Klassen jeweils zwei Doppelstunden zu je 100 Minuten geplant und durchgeführt. Die geplanten Einheiten und vorbereiteten Materialien waren für beide Aufbaulehrgänge ident. Die Wahl der Thematik Metallbindung fiel basierend auf dem bisherigen Vorwissen der Schüler*innen zum Zeitpunkt der Untersuchung und erfolgte nach den Anforderungen des österreichischen Curriculums. Die Doppelstunden sind thematisch und methodisch aneinandergekoppelt, jedoch bestand keine direkte Verbindung zu bisherigen Einheiten. Da die Partizipanten Teil eines Aufbaulehrgangs waren, stellte die Intervention zwar die erste Behandlung der Metallbindung

in den Klassen in diesem Schuljahr, jedoch nicht in ihrer Sekundärschullaufbahn insgesamt dar. Als Vorwissen für das Experimentalformat wurde eine Kenntnis über und die sichere Handhabung von für den NaWi-Unterricht häufig eingesetzten Laborgeräten vorausgesetzt. Die Sequenzen wurden dahingehend geplant, um das Thema Metallbindung und Metalleigenschaften einzuleiten und zu vertiefen, jedoch wurden sie auf das Elekronengasmodell und den Eigenschaften von reinen Metallen limitiert – ergänzende Themenbereiche wie beispielsweise Legierungen oder Metallurgie wurden nicht geplant im Rahmen der Intervention zu behandeln.

Zum Zweck der Datenerhebung wurde ein zweiteiliger Fragebogen erstellt, welcher sowohl qualitative als auch quantitative Daten erfasst. Der Fragebogen setzt sich zusammen aus einem theoretischen Teil, welcher den Zugang zum NaWi-Unterricht und dem freien Experimentieren bzw. der Auswirkung auf Selbstwahrnehmung und Lernmotivation untersucht und einem fachlichen Teil, welcher die Resultate des selbstbestimmten Wissensaufbaus quantifiziert. Der theoretische Teil besteht aus fünfzehn geschlossenen Fragestellungen, wovon in dreizehn die Probanden ihre Position mittels einer Einschätzung auf einer 6-stufigen Likert-Skala bekannt geben. Die Wahl der 6-stelligen Likert-Skala begründet sich dadurch, dass die Schüler*innen zu den Aussagen eine deutliche Position einnehmen sollten. Bei einer Auswahl von sechs Stufen bestand keine Möglichkeit dazu eine Zahl in der Mitte der beiden Extremwerte zu selektieren. Hinzu kommt eine Sektion, bei der die Lernenden rückmelden sollen, ob und wie oft sie sich vorstellen könnten, in Zukunft freier im NaWi-Unterricht arbeiten zu können. Von denjenigen, welche sich dies nicht vorstellen konnten, wurde in einer offenen Fragestellung eine Begründung erbeten.

Im fachlichen Passus sollten sich die Lernenden mit drei Aufgabenstellungen auseinandersetzen, welche allesamt in unterschiedlichen Formaten gestellt wurden. Die fachliche Überprüfung umfasste jeweils eine Aufgabe zur:

- Auflistung von Faktenwissen
- Modellierung und Beschreibung der Metallbindung (offen)
- Erklärung der Wärmeleitfähigkeit (geschlossen; single-choice)

Zusätzlich sollten die Lernenden ihre Sicherheit über die Wahl ihrer Antwort aus der single-choice Aufgabe bekennen. Abgeschlossen wurde der fachliche Teil mit einer Rubrik für offenes Feedback an die Lehrperson.

Der Fragebogen wurde in beiden Klassen jeweils einmal in Form eines Prätests wenige Tage vor der Untersuchung und ein zweites Mal in Form eines Posttests wenige Tage nach der Intervention ausgehändigt. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass ausreichend zeitlicher Abstand zwischen der Testung und der Intervention stattfand, um einer gegenseitigen Beeinflussung entgegenzuwirken. Der Prä- und Posttest sind nahezu ident und unterscheiden sich ausschließlich durch eine im Posttest angefügte Rubrik, welche feststellen sollte, an welcher der gehaltenen Einheiten der*die befragte Student*in teilgenommen hat, da nicht sicherzugehen ist, dass alle Teilnehmer auch in beiden Sequenzen partizipiert haben. Durch eine Erfassung des Zugangs zum forschenden Lernen und der Nutzbarkeit chemischer Inhalte, sowie der eigenen Selbsteinschätzung sowohl vor als auch nach den Unterrichtseinheiten, soll die Effektivität der Intervention quantitativ erfasst werden.

Im Sinne der Triangulation wurde die Datensammlung mit einem Beobachtungsbogen erweitert. Ein gesonderter Bogen wurde zu Beginn jeder Doppelstunde an die eigentliche Lehrperson der Klasse übergeben und von ihr im Zuge einer Hospitation zum Festhalten der Observationen verwendet. Der vorgegebene Fokus der Beobachtungen im Bogen richtet sich auf die Lernerfahrung und Motivation der Schüler*innen während der Unterrichtssequenzen. Zusätzlich stellte sich noch die hospitierende Lehrperson dazu bereit, in einem siebzehnminütigen Leitfrageninterview ihre Eindrücke zu schildern und fachliche Expertise und Erfahrungen zum forschenden Lernen aus der Praxis zu teilen. Die Daten aus dem Beobachtungsbogen und dem Leitfrageninterview dienen im Diskussionsteil als unterstützende Basis für die Argumentation und Interpretation der Resultate.

5.3. Beschreibung der Partizipanten

Das forschende Lernarrangement wurde in zwei Aufbaulehrgängen einer BHS/BMHS durchgeführt. Das Alter der Schüler*innen reichte von 17 bis 21 Jahren. Aufgrund ihrer bisherigen Ausbildung konnte davon ausgegangen werden, dass die Lernenden bereits mehrere Jahre naturwissenschaftlichen Unterricht mit chemiebezogenen Themen besucht hatten und ein entsprechendes Vorwissen entwickelt haben. Im Regelunterricht verbringen die Teilnehmer insgesamt drei Stunden pro Woche im Unterrichtsfach Naturwissenschaften. Die Lernenden wurden im Zuge der Masterpraxis bereits vor der Intervention für jeweils acht Unterrichtseinheiten von der Lehrperson unterrichtet und waren deswegen grundlegend gegenseitig miteinander vertraut. Dabei wurden die Klassen auch via dem forschende Lernen

auf Level 1 und 2 zum Thema Ionenbindung unterrichtet. Des Weiteren besuchten beide Klassen monatlichen zusätzlichen Experimentalunterricht, in welchem sie ebenfalls eigenständiges Arbeiten üben können.

Die Gesamtzahl aller Lernenden betrug 33 Personen[2]. Am Prätest nahmen insgesamt 21 Personen teil. Die Geschlechterverteilung entsprach 57,1% männliche Lerner (n = 12) zu 42,9% weibliche Lernerinnen (n = 9). Bei einer Altersspannweite von 17 bis 20 Lebensjahren ergab das durchschnittlich erfasste Alter der Schüler*innen im Prätest 18,43 Jahre (SD = 1,21 ; M = 18).

Im Posttest konnten sehr ähnliche Daten festgestellt werden. Von den insgesamt 23 Einreichungen unterteilten sich die Teilnehmer*innen des Posttests in 56,5% (n = 13) Schüler und 43,5% (n = 10) Schülerinnen. Das Alter der Lernenden bei der zweiten Datenerhebung reichte von 17 bis 21 Jahre und betrug im Durchschnitt 18,39 Jahre (SD = 1,20, M = 18).

Zusätzlich wurde im Posttest noch erfragt, an wie vielen der zwei Doppelstunden die Partizipanten anwesend haben. Von den 23 Teilnehmer*innen des Posttests sagten 13,0% (n = 3) aus, dass sie nur am ersten Termin den Unterricht besucht haben. Ebenso nahmen 17,4% (n = 4) der Schüler*innen nur an der zweiten Doppelstunde teil. Die restlichen Datenerhebungen (69,6% ; n = 16) wurden von Schüler*innen, die bei beiden Sequenzen partizipiert haben, eingereicht.

5.4. Hintergründe zu den Fragestellungen im Fragebogen

5.4.1. Fragestellungen im allgemeinen Teil

Der allgemeine Teil der Datenerhebung versucht festzustellen, inwiefern selbstgesteuertes Arbeiten und Experimentieren in Form des forschenden Lernens die Selbstwahrnehmung über das eigenständige Handeln im naturwissenschaftlichen Unterricht beeinflussen kann. Darüber hinaus beschäftigt sich der allgemeine Teil mit dem Einfluss forschenden Lernens auf den persönlichen Zugang zum Fach Naturwissenschaften und der individuellen Einschätzung zur Anwendbarkeit chemischen Wissens. Aufgrund der bereits vorhandenen Erfahrung der Klassen mit forschendem Lernen zu Inhalten wie der Ionenbindung kann zunächst ein Ist-Zustand vor der Intervention festgestellt werden, dessen Veränderung durch das Erlebnis eines nahezu komplett offenen Lernsettings dann Aussagen über dessen Effektivität

[2] Aufgrund der identen Schulstufe und einem vergleichbaren Leistungslevel zwischen Klassen wird die Datenauswertung, sofern nicht anders erwähnt, als Gesamtes präsentiert.

suggeriert. Die Erfassung aller Daten aus dem ersten Block des allgemeinen Teils erfolgte über eine 6-stufige Likert-Skala, wobei der Wert 1 die Bedeutung „stimme absolut gar nicht zu“ und der Wert 6 „stimme vollkommen zu“ trägt.

	stimme absolut gar nicht zu					stimme vollkommen zu
1.1. Ich schätze mich als sehr gut im Unterrichtsfach NaWi ein	1	2	3	4	5	6
1.2. Ich finde chemische Inhalte im Unterrichtsfach NaWi besonders interessant	1	2	3	4	5	6

Abbildung 9: Fragestellungen 1.1 und 1.2 in der Datenerhebung

Die Fragen 1.1 und 1.2 zielen darauf ab, das persönliche Befinden zum Unterrichtsfach Naturwissenschaften bzw. dessen chemische Inhalte zu eruieren (Abb. 9). Zusätzlich zum Aspekt der Befindung tragen die beiden Fragestellungen auch dazu bei, die Selbstwahrnehmung der Lernenden und die Lernmotivation (über das persönliche Interesse) in Bezug auf das Unterrichtsfach NaWi festzustellen.

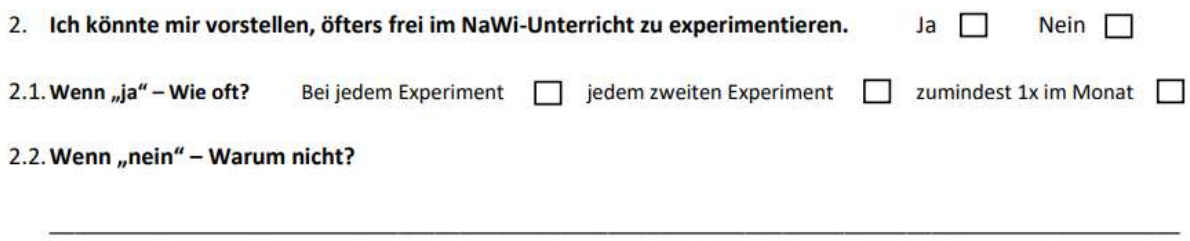
	stimme absolut gar nicht zu					stimme vollkommen zu
1.3. Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht bereitet mir sehr große Freude	1	2	3	4	5	6
1.4. Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht macht mir große Angst	1	2	3	4	5	6
1.5. Beim freien Experimentieren im NaWi-Unterricht fühle ich mich oft überfordert	1	2	3	4	5	6
1.6. Mir ist es viel lieber, im NaWi-Unterricht frei zu arbeiten, als nach einer Versuchsanleitung	1	2	3	4	5	6
1.7. Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht steigert in jedem Fall mein Selbstvertrauen im Fach NaWi	1	2	3	4	5	6
1.8. Freies Experimentieren im NaWi-Unterricht motiviert mich besonders über die Chemie zu lernen	1	2	3	4	5	6
1.9. Eigene Untersuchungen anzustellen, motiviert mich sehr im NaWi-Unterricht mehr zu tun	1	2	3	4	5	6

Abbildung 10: Fragestellungen 1.3 - 1.9 in der Datenerhebung

Der Hauptteil des ersten Fragenblocks beschäftigt sich mit dem Zugang der Schüler*innen zum freien Arbeiten, dem Einfluss auf das Selbstvertrauen und auf die Lernmotivation (Abb. 10). Die Aussagen 1.3, 1.4 und 1.5 betrachten das persönliche Empfinden zum freien Experimentieren. Hierbei wurde in der Formulierung bewusst mit polarisierenden Beschreibungen gearbeitet: „sehr große Freude“, „große Angst“ und „oft überfordert“ sollen dabei den Partizipanten helfen, zu einer deutlicheren Einschätzung zu gelangen.

In Aussage 1.6 wird das eigenständige Arbeiten dem konventionellen Experimentierunterricht gegenübergestellt: Schüler*innen sollen entscheiden, ob ihnen die übertragene Autonomie bei der Erarbeitung von Inhalten im Unterrichtsfach NaWi mehr zusagt als das traditionelle „Experimentieren nach Rezept“. Diese Fragestellung bezieht sich speziell auf den praktischen Anteil des Forschungszyklus im Gegensatz zu den Fragen 1.3 bis 1.5, für welche die Lernenden zum Instruktionsformat als Ganzes Stellung nehmen sollen. Die besondere Hervorhebung des Experiments liegt daran, dass dieses im problemlösenden Unterricht bei der Erarbeitung chemischer Inhalte eine zentrale Rolle einnimmt.

Die letzten drei Punkte des ersten Fragenblocks ermitteln die Veränderung der Selbstwahrnehmung und Lernmotivation im Unterrichtsfach Naturwissenschaften durch das freie Experimentieren (1.7 und 1.8) und Untersuchen (1.9) von Fragestellungen. Laut Deci & Ryans Selbstbestimmungstheorie (2004) wirkt sich Autonomie, soziale Eingebundenheit und Kompetenzempfinden auf die intrinsische Lernmotivation aus – diese drei Aspekte werden grundsätzlich durch forschende Lernarrangements gezielt gefördert. Jedoch steht diesen Feststellungen auch die Gefahr der Überforderung entgegen, weswegen in diesem Teil des Instruments die Effektivität eines forschenden Lernformats überprüft wird, welche sich in seinem Grad der Offenheit an Freinets Ideen der freien Arbeit orientiert.


2. **Ich könnte mir vorstellen, öfters frei im NaWi-Unterricht zu experimentieren.** Ja ☐ Nein ☐

2.1. **Wenn „ja“ – Wie oft?** Bei jedem Experiment ☐ jedem zweiten Experiment ☐ zumindest 1x im Monat ☐

2.2. **Wenn „nein“ – Warum nicht?**

_____

Abbildung 11: Fragestellung 2-2.2 zur Frequenz autonomen Experimentierens im NaWi-Unterricht

Der zweite Fragenblock im theoretischen Teil evaluiert an erster Stelle, ob sich die Lernenden vorstellen könnten, in Zukunft häufiger eigenständiger zu Experimentieren (Abb. 11). Hierzu wurde statt einer Likert-Skala ein Ja-Nein-Frageformat gewählt, um ein eindeutiges Feedback von den Lernenden zu erlangen. Dabei sollten Schüler*innen, welche sich positiv zum freien Experimentieren äußerten, eine für sie komfortable Frequenz anhand dreier Vorschläge auswählen. Die Vorschläge dienen dazu, um auch festhalten zu können, ob Lernende etwa dem Instruktionsformat zwar offen gegenüberstehen, aber aus Bedenken über zu viel Autonomie eventuell nur in geringeren Intervallen offenen Unterricht erleben wollen.

Ergänzend dazu gibt es in Frage 2.2 eine Möglichkeit für konstruktives Feedback zum Instruktionsformat, sollte dieses den Teilnehmer*innen der Studie nicht zusagen.

	stimme absolut gar nicht zu					stimme vollkommen zu
2.3. Chemisches Wissen aus dem NaWi-Unterricht ist wichtig und sehr hilfreich für den Alltag	1	2	3	4	5	6
2.4. Chemisches Wissen aus dem NaWi-Unterricht lässt sich im Alltag immer gut anwenden	1	2	3	4	5	6
2.5. Freies Experimentieren hilft mir, mein Wissen aus dem NaWi-Unterricht sinnvoll anzuwenden	1	2	3	4	5	6
2.6. Ich merke mir Inhalte aus dem NaWi-Unterricht viel besser, wenn ich sie durch das freie Experimentieren selbst erarbeite	1	2	3	4	5	6

Abbildung 12: Fragestellungen 2.3-2.6 in der Datenerhebung

Der finale Teil des zweiten Fragenblocks bezieht sich auf die Eruierung der wahrgenommenen Nutzbarkeit chemischen Wissens aus dem NaWi-Unterricht und dem Einfluss freien Experimentierens auf dessen eigenständigen Erwerb (Abb. 12). Hierfür wird die 6-stufige Likert-Skala aus dem ersten Fragenblock wiederverwendet. In Aussage 2.3 und 2.4 wird die Transferbarkeit des curricularen Wissens genauer untersucht. Dadurch wird versucht zu erfassen, inwiefern forschendes Lernen der Aneignung von inertem Wissen entgegenwirkt. Dies wird noch konkreter in Aussage 2.5 investigiert, wo nun direkter Bezug auf das freie Experimentieren genommen wird. Die abschließende Aussage des allgemeinen Teils im Fragebogen ergänzt den Sachverhalt, indem Lernende selbst einschätzen, wie sich freies Arbeiten auf den Erwerb nutzbaren Wissens auswirkt.

5.4.2. Fragestellungen im Fachteil

Im Fachteil soll das Wissen zum Aufbau von Metallen, ihren chemischen Eigenschaften und der Struktur-Eigenschafts-Beziehung in metallischen Stoffen anhand eines Beispiels überprüft werden. Für die Entwicklung der Aufgabenstellungen wurden unterschiedliche Deskriptoren verwendet, um neben Faktenwissen auch den Transfer von Wissen zu überprüfen. Der Fachteil dient zur Quantifizierung des selbstbestimmten Wissenserwerbs.

3. Nennen Sie alle chemischen Eigenschaften von Metallen, die Sie kennen:

_____

Abbildung 13: Aufgabenstellung 3

In Aufgabe 3 sollen Lernende ihr Wissen über die verschiedensten chemischen Metalleigenschaften zeigen (Abb. 13). Diese Übung lässt sich mit Faktenwissen aus dem Unterricht leicht beantworten, allerdings ist bei einem Antworthorizont von sechs verschiedenen Eigenschaften (elektrische Leitfähigkeit, thermische Leitfähigkeit, Duktilität, hoher Siede- bzw. Schmelzpunkt, magnetische Eigenschaften, metallischer Glanz) die Herausforderung, möglichst alle zu nennen.

4. Zeichnen Sie in die Box eine Skizze darüber, wie Metallatome in der Metallbindung aufgebaut sind. Beschreiben Sie ihre Skizze daneben in Worten.

Abbildung 14: Aufgabenstellung 4

Die vierte Aufgabenstellung erfordert von den Schüler*innen eine modellierte Skizze einer Metallbindung anzufertigen und diese in einigen Worten daneben kurz zu beschreiben (Abb. 14). Für ein Verständnis der Metalleigenschaften ist die Kenntnis der Struktur von metallischen Bindungen essenziell. Während die Darstellung über das Elektronengasmodell recht simpel erscheint, finden sich in der Skizzierung und Beschreibung oftmals trotzdem viele Tücken (beispielweise eine Anordnung analog zu einer Ionenbindung, Elektronen in der Größe der Atomrümpfe, etc.).

5. Kreuzen Sie die richtige Aussage an:

a) Metalle leiten Wärme sehr gut. Die Atomrümpfe und freien Elektronen stoßen beim Erhitzen wegen dem geringen Teilchenabstand aneinander und geben dabei die Wärme in Form von Bewegungsenergie (kinetische Energie) weiter. Die Wärme breitet sich dadurch schnell aus. ☐

b) Metalle leiten Wärme sehr gut. Die positiv geladenen Atomrümpfe entziehen die Energie aus der Wärmequelle (z.B. Feuer) und geben diese an die negativ geladenen Elektronen durch die gegenseitige Anziehung weiter. ☐

c) Metalle leiten Wärme schlecht. Das Elektronengas zwischen den Atomrümpfen isoliert das Metall vor der Ausbreitung der Wärme, wodurch nur die Oberfläche des Metalls Wärme speichern kann. ☐

Abbildung 15: Aufgabenstellung 5

Im Anschluss sollen die Lernenden in Aufgabe 5 aus einer single-choice Fragestellung mit drei Antwortmöglichkeiten die fachlich korrekte Aussage auswählen und ankreuzen (Abb. 15). In

dieser Transferaufgabe stellt sich heraus, ob Schüler*innen mit dem Wissen über die Metallbindungsstruktur auch auf die Eigenschaft der Wärmeleitfähigkeit zurückschließen können. In den Auswahlmöglichkeiten sind zwei Antworten, welche die Wärmeleitfähigkeit von Metallen begründen, sowie eine, welche sie dementiert. Auch diese Aufgabe ist eine angemessene Herausforderung für die Schüler*innen, insbesondere weil die Antwort B als eine attraktive Falle formuliert wurde, welche die thermische Leitfähigkeit durch die Anziehung aufgrund magnetischer Eigenschaften impliziert.

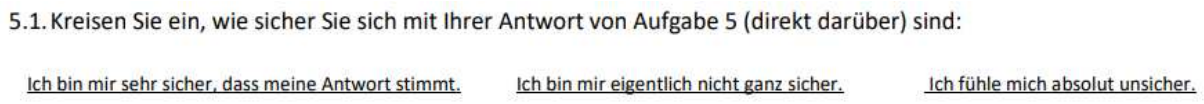


Abbildung 16: Aufgabenstellung 5.1

Da diese Aufgabe den vermeintlich höchsten Schwierigkeitsgrad aus dem Fachteil trägt, wird sie mit einer Zusatzfrage ergänzt, in welcher Lernende bekennen sollen, wie sicher sie sich mit ihrer gegebenen Antwort in Aufgabe 5 sind (Abb. 16). Dadurch kann besser eingeschätzt werden, wie viele Leute in der letzten Aufgabe geraten haben, aber auch wie gefestigt die Schüler*innen selbst ihren Wissenserwerb wahrnehmen.

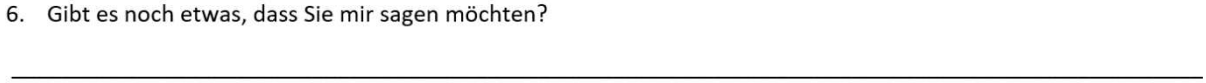


Abbildung 17: Rubrik für direktes Feedback

Abgeschlossen wird der Fachteil durch eine offene Rubrik, in der Schüler*innen dezidiertes Feedback geben können. Im Falle eines Auftretens von konstruktivem Feedback, welches für die Thematik dieser Arbeit relevant scheint, können diese Ergebnisse auch in die qualitative Auswertung dieser Arbeit miteinfließen (Abb. 17).

5.5. Hintergründe zum Design des Beobachtungsbogens

Der Beobachtungsbogen dient als zusätzliche Datenquelle um die Effektivität der Intervention beurteilen zu können. Die Struktur des Bogens gibt sieben verschiedene Aussagen vor, zu denen die beobachtende Person eine Einschätzung des Grades ihrer Zustimmung auf einer Skala von 1 bis 10 angeben und diese durch konkrete Beobachtungspunkte dann erläutern soll. Das Instrument wurde von Reischauers Untersuchungen zum forschenden Lernen (2021) übernommen und entsprechend dem Forschungsfokus dieser Arbeit adaptiert. Der Bogen wird in jeder Doppelstunde in beiden Klassen neu ausgefüllt, wodurch sich insgesamt vier

Erfassungen ergeben. Die Rolle der hospitierenden Person nahm die Klassenlehrkraft der beiden Aufbaulehrgänge ein.

Leitfragen
1. Der Ablauf ist allen Schüler*innen klar.
2. Alle Schüler*innen sind in die Arbeit miteingebunden.
3. Die Schüler*innen können mit den zur Verfügung gestellten Materialien problemlos umgehen.
4. Alle Schüler*innen zeigen klar Emotionen (Begeisterung, Freude, Desinteresse, ...).
5. Der Schwierigkeitsgrad für alle Schüler*innen ist angemessen.
6. Alle Schüler*innen arbeiten effektiv in ihrer Gruppe zusammen.
7. Alle Schüler*innen wirken bei ihrer Arbeit motiviert.

Abbildung 18: Leitfragen des Beobachtungsbogens

In Abbildung 18 werden die zu beurteilenden Aussagen des Beobachtungsbogens illustriert. Die erste und fünfte Leitfrage soll eruieren, inwieweit die Lernenden mit dem offenen Lern- und Arbeitsformat eigenständig zurechtkommen und daran teilhaben. Sollten Lernende bereits in der Erklärungsphase oder während der Arbeitsphase sich aufgrund zu hoher Autonomieanforderungen aus der Lernumgebung zurückziehen, so kann dies erfahrungsgemäß ein Indikator für eine mögliche Überforderung sein. Die dritte Leitfrage dient zur Beurteilung des Umgangs der Lernenden mit den zur Verfügung gestellten Materialien. Damit Untersuchungen im forschenden Lernsetting gelingen können, ist die Kenntnis von Laborgeräten und verwendbaren Materialien elementar, da sonst Überforderung eintritt und kein Experiment sinnvoll geplant werden kann. Daher soll gezielt verfolgt werden, ob das Begleitmaterial für den Arbeitsprozess der Lernenden förderlich oder hinderlich erscheint. In den Leitfragen 2 und 6 wird ein Augenmerk auf die soziale Eingebundenheit der Schüler*innen gelegt. Ein positives Gefühl sozialer Eingliederung dient laut Deci & Ryan (2004) zu einer Steigerung der intrinsischen Motivation. Es ist daher essenziell sich anzusehen, ob die Lernenden gemeinsam im Team an ihre Problemstellungen herangehen, oder Einzelne nur die Position eines Mitläufers einnehmen. Die Leitfragen 4 und 7 dienen dem Festhalten der Emotionen und der Motivation der Schüler*innen. Es soll dabei eingeschätzt werden, wie die Lernenden ihre Kompetenz in der zugeteilten Handlungsfreiheit wahrnehmen. Ebenso wie soziale Eingebundenheit und Autonomie wird auch das Kompetenzempfinden in diesem Beobachtungsbogen als Variable für effektiven selbstbestimmten Wissensaufbau betrachtet. Ein positives Kompetenzempfinden führt zu visuell ersichtlicher Lernbegeisterung und einer gesteigerten intrinsischen Motivation, welche sich erfahrungsgemäß durch die Vertiefung in die Arbeit zeigt. Gleichermaßen werden durch

die Leitfragen gegebenenfalls auch Gefühle des Desinteresses und fehlender Motivation erfasst, welche dann in Kombination mit den restlichen Daten gedeutet werden können.

5.6. Hintergründe zum Leitfrageninterview

Ergänzend zur Observation des Unterrichts wurde mit der hospitierenden Lehrperson ein Experteninterview durchgeführt, welches die fachtheoretischen Grundlagen aus dem dritten Kapitel mit praxisnahen Erfahrungswerten und persönlicher Expertise ergänzen soll. Die Lehrperson ist eine langjährige Pädagogin im Fach Naturwissenschaften und Klassenlehrkraft der untersuchten Gruppe von Lernenden in dieser Arbeit. Für das Interview wurden folgende Leitfragen vorbereitet:

1. Welche Erfahrungen haben Sie bereits mit forschendem Lernen im NaWi-Unterricht gemacht?
2. Wie kann aus Ihrer Sicht die Aufbereitung naturwissenschaftlicher Inhalte durch forschendes Lernen den Lernerfolg der Schüler*innen unterstützen?
3. Worin sehen Sie die Stärken und Potentiale der Methode des forschenden Lernens für den NaWi-Unterricht?
4. Worin sehen Sie die Herausforderungen beim forschenden Lernen im NaWi-Unterricht für die Schüler*innen?
5. Worin sehen Sie die Herausforderungen beim forschenden Lernen im NaWi-Unterricht für die Lehrperson?
6. Wovon hängt Ihrer Meinung nach der Lernerfolg der Schüler*innen im forschenden Lernen ab?
7. Wie kann aus Ihrer Sicht forschendes Lernen zum selbstbestimmten Wissensaufbau im NaWi-Unterricht beitragen?
8. Nicht jede*r Schüler*in fühlte sich durch das freie Experimentieren angesprochen – wie kann man die Motivation derjenigen direkt im Unterrichtsgeschehen steigern?

Ergänzend dazu wurde eine sich aus der Gesprächssituation entwickelnde Fragestellung über die akuten Herausforderungen und Schwierigkeiten für die Schüler*innen, welche während der Observation der Klassen aufgefallen sind, eingeschoben.

Die Interviewfragen nahmen Bezug auf die Voraussetzungen, Potenziale und Limitationen des forschenden Lernens im naturwissenschaftlichen Unterricht. Dabei sollten sowohl bisherige Erfahrungswerte des eigenen Unterrichts als auch direkte Eindrücke aus der Hospitation zu

dieser Studie einfließen, um ein praxisnahes Bild von der Anwendung forschenden Lernens für Lehrpersonen und Schüler*innen zu vermitteln. Die Erkenntnisse aus dem Interview werden mit den Resultaten dieser Arbeit verglichen und im Diskussionsteil in die Interpretation eingearbeitet.

(I: Mhm) (I: Nun ja, ich meine…) (B: Das finde ich auch.)	Kurzer Einwurf in einen Redebeitrag
A: Da habe ich gesagt, dass (…) B: (…) Meine Oma hat mir immer (…) A: (…) ich das ganz unmöglich finde. B: (…) erzählt, wie sie das so gemacht haben damals.	Unterbrechung und Überlappung von Redebeiträgen
Wir <u>mussten</u> das so machen!	Betonung
(…?)	Wort oder Ausdruck unverständlich, daher ausgelassen
(Hinterhopfingen?) Sie haben sich (auf die Fahrräder geschwungen?), und	Wort oder Ausdruck nicht zweifelsfrei verstanden, vermuteter Wortlaut
[längere Pause] [lacht laut auf] [sehr leise] [Telefon klingelt] [zeigt auf ein Bild]	Pausen, außersprachliche Ereignisse, Störungen, Stimmveränderungen etc.
[siehe Bezug zum Forschungstagebuch] [Überraschende Wendung]	Ins Transkript eingeschobener Kommentar oder Erläuterung des/der Interviewenden/ Transkribierenden […] Textauslassung in Zitaten aus dem Transkript

Tabelle 3: Transkriptionszeichen für die Interviewtranskription (übernommen von der Karl-Franzens-Universität Graz)

Als Transkriptionsleitfaden wurden die Vorgaben der Karl-Franzens-Universität Graz herangezogen (Tabelle 3). Das vollständig transkribierte Interview ist im Anhang vorzufinden. Die interviewte Lehrperson wurde aus datenschutzrechtlichen Gründen anonymisiert.

5.7. Didaktische und fachliche Überlegungen zu den Unterrichtsplänen und Unterrichtsmaterialien

Die Unterrichtseinheiten zum Thema Metallbindung schließen an die Stunden über die Atombindung und Ionenbindung an. Die Metallbindung wird daher als letzte der drei zentralen Bindungstypen behandelt. Die Schüler*innen des Aufbaulehrgangs haben aufgrund ihrer bisherigen Ausbildung bereits Vorerfahrungen zu Metallen, jedoch liegen jene schon eine längere Zeit zurück. Aus diesem Grund wurde die Stunde in einer Art und Weise konzipiert, um Schüler*innen auf verschiedenen Leistungsniveaus gemeinsam abholen zu können.

Für die beiden Doppelstunden wurden die folgenden Lehrziele festgelegt:

- Schüler*innen sollen ihre prozeduralen Fähigkeiten in Bezug auf den Aufbau eines Forschungsprozesses verbessern
- Schüler*innen sollen ihr Wissen über Metalleigenschaften experimental vertiefen
- Schüler*innen sollen einen Bezug zwischen der Struktur der Metallbindung und den chemischen Eigenschaften anhand des Elektronengas-Modells herstellen

In Vorbereitung zur ersten Doppelstunde wurden zwei Materialtische ausgelegt, welche ein Spektrum von metallischen Haushalts- und Alltagsgegenständen, metallischen Laboringredienzien und Laborutensilien enthielten. Zusätzlich wurden auch ein paar nichtmetallische Substanzen (e.g., Kohlepulver, Salz, Zucker, Wolle, …) dazugelegt, welche den Schüler*innen in ihren Versuchen als Vergleichsmittel dienen können.

Abbildung 19: Materialtisch

In Abbildung 19 ist ein Ausschnitt der zur Verfügung gestellten Materialien dargestellt. Es wurden unter anderem Alltagsgegenstände, Werkzeug, Bauteile aus dem Baumarkt und Drähte aus verschiedenen metallischen Elementen in (annähernd) gleicher Dicke vorbereitet. Abhängig von den zugänglichen Materialien ergeben sich eine unterschiedliche Auswahl möglicher Versuche, welche die Lernenden unternehmen können. Eine effektive Aufbereitung

der Metallbindung via forschendes Lernen muss sich nicht an die abgebildeten Materialien genau halten und kann auch mit einer reduzierten Auswahl zu einer produktiven Lernatmosphäre führen. In Bezug auf die vorbereiteten Utensilien wurden jedoch folgende Versuche als potenzielle Untersuchungen antizipiert:

Elektrische Leitfähigkeit:

- Untersuchung der Leitfähigkeit von Metallen im Stromkreis
- Vergleich der Leitfähigkeit unterschiedlicher metallischer Drähte

Wärmeleitfähigkeit:

- Brennendes Streichholz an Münze halten: Muss man zuerst die Münze oder das Streichholz loslassen?
- Verschiedene Stäbe (aus Kunststoff, Glas, Metall) werden in ein Becherglas mit kochendem Wasser gestellt und dabei festgehalten – welchen Stab muss man zuerst loslassen?

Duktilität:

- Verformung verschiedener Metallbleche und Metalldrähte: Aluminium, Kupfer, Zink, Eisen, Magnesium

Anderes:

- Eisennagel in Kupfersulfat-Lösung/Kupferblech in Eisensulfat-Lösung (unter direkter Aufsicht der Lehrperson)
- Rosten von Eisenwolle
- Rost mit Essig entfernen
- Magnesium, Kupfer und Silberblech in (destilliertem) Wasser über eine Woche stehen lassen
- Glanz von Metallen (nur optische Beschreibung)
- Flammenfärbung von Alkalisalzen (unter direkter Aufsicht der Lehrperson)
- Untersuchung magnetischer Eigenschaften verschiedener metallischer Elemente
- Dichtebestimmung von 1-Cent-Münzen und anderen Metallen
- Angelaufene Metalle mit Schmirgelpapier reinigen

Es gilt dabei anzumerken, dass die Lernenden im Rahmen des NaWi-Unterrichts im Aufbaulehrgang noch keine Redoxreaktionen behandelt haben. Trotzdem bringen viele Kinder Präkonzepte und Vorwissen zu dieser Thematik mit und sind daran interessiert, sich mit Themen zu Metallen, welche ein Wissen über Redoxreaktionen für die vollständige Aufarbeitung benötigt, auseinanderzusetzen. Die gesammelten Beobachtungen können für die spätere Behandlung im Unterricht förderlich sein.

5.7.1. Erste Doppelstunde

Zum Stundeneinstieg werden mit den Schüler*innen gemeinsam an der Tafel in einem Brainstorming alle ihnen bekannte chemische Metalleigenschaften gesammelt. Damit soll sicher gegangen werden, dass die Lernenden ihr Vorwissen zum Thema Metalleigenschaften aktvieren können bzw. grobe Lücken in diesem kurzzeitig aufgebessert werden können. Das in Erinnerung Rufen des erworbenen Wissens dient dazu, um erste potenzielle Untersuchungskriterien für die spätere Experimentierphase zu generieren, sowie sicherzugehen, dass ausreichend Vorkenntnisse bei den Lernenden noch vorhanden sind, um überhaupt Interessensfragen für eine Untersuchung aufstellen zu können.

Es folgt eine Einführung in die Arbeitsphase, in welcher die Protokollvorschriften, Sicherheitsvorschriften und der Arbeitsvorgang erläutert werden. Der Arbeitsvorgang setzt voraus, dass Lernende in Gruppen Untersuchungen mithilfe der zur Verfügung gestellten Materialien zum Thema Metalle sich zunächst überlegen, eine erste Forschungsfrage und zugehörige Hypothese sowie Untersuchungsplanung formulieren und diese dann von der Lehrperson einsehen und bestätigen lassen. Erst nach Absegnung der vorgewiesenen Planung dürfen die Schüler*innen Gegenstände vom Materialtisch entnehmen und ihre Experimente durchführen. Dadurch kann einerseits sichergegangen werden, dass die Schüler*innen den gesamten Forschungszyklus durchlaufen und sich nicht ausschließlich an der Experimentalphase beteiligen, andererseits kann auch ein Maß an Kontrolle über die Sicherheit der Untersuchungen ausgeübt werden.

Das Protokoll soll weiterführend in der darauffolgenden Woche für die Fortsetzung der Experimente sowie der Präsentationsplanung verwendet werden. Um sicherzugehen, dass jede Gruppe ihr Protokoll in der darauffolgenden Woche zur Verfügung hat, werden diese am Ende der ersten Doppelstunde durch die Lehrperson abgesammelt und in der anschließenden Woche wieder ausgeteilt. Darüber hinaus beinhaltet die Protokollvorschrift auch das

Aufstellen weiterführender Fragestellungen. Diese müssen nicht im Verlauf des Unterrichts experimentell exploriert werden, jedoch sollten in der anschließenden Einheit diese Wissensfragen durch die Lehrperson im Plenum thematisiert und beantwortet werden. Der Unterricht kann sich dadurch noch mehr an den Interessen und persönlichen Lernzielen der Lernenden orientieren.

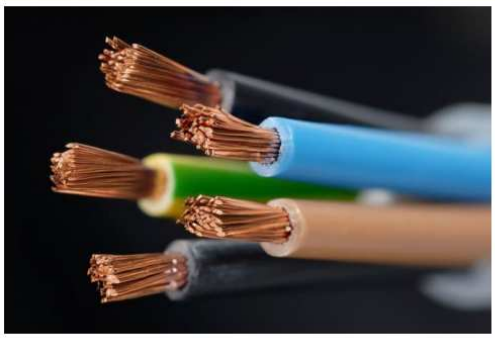
Im Anschluss an die Beschreibung des Arbeitsverlaufs geschieht eine Gruppeneinteilung in Dreiergruppen nach Sitzordnung und eine erste Arbeitsteilung mittels Rollenkarten. In Abbildung 20 sind drei Rollenkarten aufgelistet, die der Konkretisierung des Verantwortungsraums der einzelnen Schüler*innen dienen. Die Rollenkarten werden von den Gruppenmitgliedern per Zufallsprinzip gezogen, sodass jedes Amt nur einmal pro Gruppe belegt wird. Die Rollenkarten dienen zunächst der fairen Verteilung der Arbeitslast in den Unterrichtseinheiten, aber auch um Mitläufer einzubinden. Zusätzlich sollen sie einer Überforderung durch zu viel Autonomie bzw. einer Handlungsparalyse durch zu viele mögliche Aufgabenbereiche entgegenwirken, indem wichtige Aufgabenstellungen des Forschungszyklus unter den Gruppenmitgliedern fair aufgeteilt werden.

Materialverantwortliche/r:	**Protokollant/in:**	**Zeitmanager/in + Präsentator/in:**
- Sie beschaffen die notwendigen Materialien für die Gruppenaufgaben entsprechend der Arbeitsanweisung. - Sie verteilen das Material an die Gruppenmitglieder entsprechend ihrer Teilaufgaben. - Sie geben Hinweise zum sorgfältigen Umgang mit den Materialien	- Sie sind dafür verantwortlich, dass das Protokoll sauber und ausführlich geschrieben wird. - Sie geben das Protokoll nach der Stunde bei der Lehrkraft ab.	- Sie achten darauf, dass die vorgegebenen Zeiten zur Aufgabenerledigung eingehalten werden. - Sie geben der Gruppe Zeithinweise („wir haben noch...) - Sie präsentieren die wichtigsten Ergebnisse der Gruppe in der zweiten Einheit

Abbildung 20: Rollenkarten

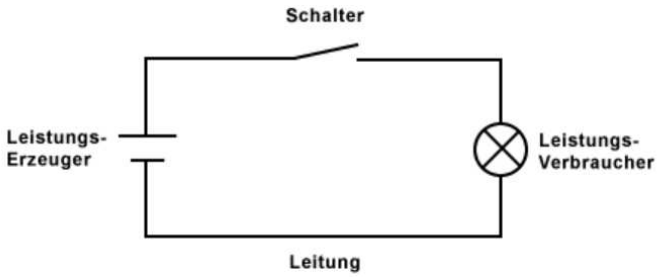
Des Weiteren wird die Möglichkeit auf die Nutzung von Hinweiskarten (Abb. 21) in Aussicht gestellt. Hinweiskarten bzw. gestufte Lernhilfen dienen der temporären Nivellierung des Leistungslevels zwischen leistungsheterogenen Lernenden in einer Gruppe, um ein förderliches Lernarrangement für alle gleichzeitig zu schaffen. Die Hilfestellungen dienen in erster Linie Gruppen, welche entweder nicht im Stande sind, eigenständig eine Forschungsfrage zu formulieren oder in ihren Untersuchungen zu einer bestimmten Metalleigenschaft feststecken. Die Lernunterstützungen können sowohl auf Bitte der Gruppe als auch im eigenen Ermessen der Lehrperson verteilt werden. Parallel zu der Vergabe von

Lernhilfen findet auch Unterstützung im direkten Gespräch mit den Schüler*innen statt, damit etwaige Hindernisse überwunden werden können.



https://www.sciencelearn.org.nz/images/1961-copper-wire

Für welchen Zweck werden Metalle in Kabeln verwendet?



https://www.elektronik-kompendium.de/sites/grd/0201021.htm

Eine der wichtigsten Eigenschaften von Metallen ist die **elektrische Leitfähigkeit**, weshalb alle Kabel unter der Kunststoffisolierung Metalldrähte beinhalten. Stellen Sie eine **Untersuchung** auf, mit der Sie die Leitfähigkeit von Metallen überprüfen können. Formulieren Sie dabei auch eine **Hypothese** zu Ihrem Versuch und überlegen Sie, warum in fast allen Kabeln der metallische Leiter das Metall *Kupfer* ist.

Abbildung 21: Beispiel für gestufte Lernhilfen zur elektrischen Leitfähigkeit

Der Kern der ersten Einheit subsistiert aus einer siebzig-minütigen Experimentierphase (exklusive einer fünfminütigen Pause dazwischen), in welcher die Schüler*innen mindestens einen eigenen Forschungsprozess anstoßen, durchführen und konkludieren sollen. Die Lehrperson beobachtet die Lernenden bei ihren Untersuchungen und gibt sowohl Hilfestellungen als auch Hinweise sofern diese gebraucht werden. Kurz vor Ende der Sequenz werden die Protokolle der Gruppen eingesammelt und bis zur nächsten Einheit aufbewahrt. Abschließend wird gemeinsam aufgeräumt und die Arbeitsfläche gereinigt.

Unterrichtsplan: Erste Doppelstunde

Zeit	Inhalt	Sozialform	Materialien	Kommentar
5 min	Organisatorisches	/	/	/
10 min	Einführung in das Thema Metalle durch Aktivieren des Vorwissens im Fragend-Entwickelnden Unterricht. Erfassung der Ergebnisse auf einer Mindmap an der Tafel. Welche stofftypischen Eigenschaften haben Metalle? z.B.: - Wärmeleitend - Stromleitend - Duktil - Metallischer Glanz	SuS-Lehrperson	Tafel	Aktivieren vom Vorwissen, dabei sollten auch schon erste Ideen zu den Untersuchungskriterien für die anschließende Experimentierphase generiert werden.
5 min	Einführung in die Arbeitsphase: - Protokollvorschriften - Sicherheitsvorschriften - Arbeitsvorgang - Einteilung in 3er-Gruppen und Rollenvergabe mittels Rollenkarten - Möglichkeit von Hinweiskarten	Frontal	Rollenkärtchen	Protokollstruktur (pro Versuch): 1) Namen, Datum 2) Versuchstitel & Nummer 3) Forschungsfrage 4) Hypothese 5) Versuchsbeschreibung inkl. Skizze und Materialliste 6) Beobachtung 7) Erklärung 8) Weiterführende Fragestellungen Das Protokoll ist weiterführend in der zweiten Doppelstunde zu verwenden. Dazwischen werden sie von mir abgesammelt, damit keine Gruppe ihr Protokoll in der Zeit dazwischen verliert. Gruppenstrukturen bleiben über die 2 Wochen hinweg bestehen. Materialien fürs Experimentieren werden erst ausgehändigt, sobald die Gruppe mir eine Idee für ihren Versuch, sowie eine Hypothese zu ihren Beobachtungen beschreiben kann.
30 min	Experimentierphase in 3er-Gruppen	Gruppenarbeit	Materialtisch Protokolle	/
5 min	Pause	/	/	/
40 min	Experimentierphase in 3er-Gruppen	Gruppenarbeit	Materialtisch Protokolle	/
5 min	Wegräumen und Putzen	/	/	Die jeweilige Pause nach den Doppelstunden sollte für das restliche Aufräumen reichen.

Tabelle 4: Unterrichtsplan für die erste Doppelstunde

5.7.2. Zweite Doppelstunde

Zu Beginn der zweiten Einheit wird erneut auf die Protokoll-, Sicherheits- und Arbeitsvorschriften hingewiesen. Die Lernenden formieren sich in ihre Gruppen aus der letzten Woche (gegebenenfalls stoßen Schüler*innen, welche in der Woche zuvor gefehlt haben, zu anderen Gruppen dazu oder formieren neue Konstellationen) und erhalten ihre Protokolle aus der vorherigen Einheit zurück. Es folgt eine 45-minütige Arbeitsphase, in welcher die Gruppen zuvor offen gelassene Untersuchungen abschließen oder neue Ideen umsetzen können. Parallel dazu sollen diese jedoch auch eine spannende Entdeckung auf ein Flipchart-Poster übertragen und eine zweiminütige Präsentation vorbereiten, in welcher sie ihre Erkenntnisse darüber mit der Klasse teilen. Das Aufbereiten und Erklären der erarbeiteten Inhalte soll den Lernenden dabei helfen über diese zu reflektieren und ein tieferes Verständnis zu erlangen. Darüber hinaus sollen auch Kommiliton*innen, welche sich mit anderen Metalleigenschaften beschäftigt haben, an den Erkenntnissen der Untersuchungen teilhaben. Nach einer kurzen Pause folgen die Präsentationen der einzelnen Gruppen. Neben Feedback und Fragen von der Lehrperson und den Schüler*innen erhalten die Gruppen auch Antworten und Illustrationen (auf einer PowerPoint) zu den weiterführenden Fragestellungen aus ihren Protokollen. Dadurch soll auch geklärt werden, weshalb die Ergebnisse mancher Experimente nicht den Hypothesen der Schüler*innen entsprochen haben.

Nach Abschluss der Forschungspräsentationen erfolgt eine theorieintensivere Abhandlung der Metallbindung und Metalleigenschaften. Hierbei wird auf die submikroskopische gewechselt. Die Erklärungen erfolgen mit Hilfe von Concept Cartoons aus Haim et al. „Chemie Macchiato“ (2007), um die Bindungsverhältnisse von Metallen über das Elektronengasmodell vereinfacht darzustellen und die daraus resultierenden Eigenschaften zu erklären. Konkret besprochen werden alle chemischen Metalleigenschaften, welche in der dritten Aufgabenstellung der Datenerhebung überprüft werden: Elektrische und thermische Leitfähigkeit, Duktilität, metallischer Glanz, hoher Siede- und Schmelzpunkt sowie magnetische Eigenschaften. Falls eine Gruppe die Flammenfärbung oder eine Redoxreaktion probiert, so würde diese auch kurz adressiert, jedoch für eine tiefgreifendere Behandlung in die nächste Stunde verschoben werden.

Unterrichtsplan: Zweite Doppelstunde

Zeit	Inhalt	Sozialform	Materialien	Kommentar
5 min	Organisatorisches	/	/	/
5 min	Einführung in die Arbeitsphase: - Austeilen der Protokolle der letzten Stunde und Zusammensetzen der Arbeitsgruppen - Wiederholung der Sicherheitshinweise	/	/	Nochmal daran erinnern, dass am Ende der Doppelstunde einzelne Ergebnisse präsentiert werden!
45 min	Experimentierphase in 3er-Gruppen	Gruppenarbeit	Materialtisch Protokolle	
5 min	Pause	/	/	Pause wird genutzt, um von allen Gruppen die Experimentierutensilien einzusammeln
20 min	Nachbesprechung der Erkenntnisse aus der Experimentierphase und Präsentation ausgewählter Ergebnisse im Plenum. Abschließend werden die Protokolle abgesammelt.	Plenum SuS-Präsentation	SuS-Protokoll	Jede Gruppe präsentiert eine ihrer Untersuchungen: - Forschungsfrage - Hypothese - Beschreibung des Experiments - Beobachtung - Erklärung - Weiterführende Fragestellungen die aufgekommen sind
20 min	Aufklärung der Inhalte mittels Concept Cartoons (von Haims „Chemie Macchiato“) und zusätzlichen PowerPoint-Folien zur Veranschaulichung der submikroskopischen Ebene.	Plenum	PowerPoint	- Erklärung basiert auf dem Modell des Elektronengases (auf die Bändertheorie wird verzichtet) - Legierungen werden auch nicht besprochen

Tabelle 5: Unterrichtsplan für die zweite Doppelstunde

5.7.3. Komplikationen während der Durchführung

Trotz sorgfältiger Vorbereitung der Intervention unterlag die Durchführung einflussreicher Komplikationen, welche eine potenzielle Auswirkung auf die Datenlage haben könnten. Wie bereits in Kapitel 5.3. ersichtlich litt die Datenakkumulation unter einer spürbaren Anzahl an fehlenden Schüler*innen im Prä- und Posttest, wodurch die Datenmenge weitaus dünner als antizipiert ausgefallen ist.

Im Unterricht selbst fehlten sowohl in der ersten Einheit als auch in der darauffolgenden Doppelstunde viele Schüler*innen. In der Klasse 1AA nahmen sowohl am ersten Termin als auch am Folgetermin nur 12 von 17 Lernenden am Unterricht teil. Analog dazu glänzten auch in der 1BA in der ersten Doppelstunde viele Kinder mit ihrer Abwesenheit (nur 9 von 16 Schüler*innen waren präsent), was sich auch in der folgenden Stunde nur leicht verbesserte (12 von 16 Lernende anwesend). Zum Detriment der Untersuchung stellte sich in der zweiten Woche der Intervention zu Beginn des Unterrichts der 1BA heraus, dass ganze sechs der zwölf anwesenden Schüler*innen in der Woche zuvor nicht erschienen sind und daher noch keine Chance hatten, wie ihre Kolleg*innen forschend zu lernen. Ein ähnliches Problem zeigte sich auch in der 1AA, wenn auch in einem geringeren Ausmaß. Als Konsequenz resultierten eine Reihe von unvollständigen Arbeitsgruppen aus der ersten Woche, sowie eine nicht zu vernachlässigende Menge von Schüler*innen, welche noch nicht an der Intervention teilgenommen hat und daher weder einen Wissenserwerb erleben noch ein Lernprodukt produzieren konnte. Für diese galt es besonders eine akute Lösung zu finden, da sie einerseits von der vorbereiteten fachlichen Aufbereitung der Thematik nur begrenzt profitieren könnten und andererseits andernfalls auch vom Posttest disqualifiziert werden müssten, da sie nicht am forschenden Lernen teilgenommen haben.

Die hohe Anzahl an fehlenden Lernenden spiegelte sich auch in der Auswertung der Posttests wider. Zwar kam aus den Abgaben des Posttests der 1AA hervor, dass jeweils eine Person nur beim ersten bzw. nur beim zweiten Termin anwesend war, jedoch vermerkten beim Posttest der 1BA zwei Personen nur am Starttermin und drei Personen nur am Folgetermin teilgenommen zu haben. Damit ist eine Inkongruenz zwischen der Anwesenheit und der Datenerhebung gegeben, welche zusätzlich die Ergebnisse beeinflusst.

Damit sowohl die Bedürfnisse der Lernenden als auch der Studie gewahrt werden konnten, wurde auf die geänderten Arbeitsbedingungen dahingehend spontan reagiert, sodass

während der zweiten Experimentier- und Arbeitsphase eine von der Lehrperson durchgeführte Klassenteilung stattfand. Während bereits bestehende Gruppen nach Plan ihre Arbeit fortführten, wurden die restlichen Jugendlichen in drei Tischgruppen zusammengesetzt und zunächst im Schnelldurchlauf ihr Vorwissen zu Metalleigenschaften durch einen fragend-entwickelnden Unterricht aktiviert. Basierend auf den gesammelten Vorschlägen wurde jeder Tischgruppe eine Metalleigenschaft zugeteilt, die es galt zu untersuchen, nachzuweisen (bzw. zu entkräftigen) und zu protokollieren. Erste Materialien für die Untersuchungen wurden von der Lehrperson an die Gruppen direkt weitergegeben, jedoch konnten sich die Schüler*innen auch auf Anfrage zusätzliche Gegenstände vom Materialtisch für ihre Untersuchung entnehmen. Die gesonderten Lernenden wurden von der Präsentationsaufgabe befreit und gaben gemeinsam mit den anderen Kommiliton*innen ihre Protokolle ab. Gemäß dieser spontanen Intervention wurde das Inquiry-Level für die neu dazustoßenden Schüler*innen aufgrund des straffen Zeitplans auf Level 1 bis 2 reduziert. Ihre Eigenleistung bestand im Aufstellen der Hypothese, sowie der Durchführung und Auswertung der Untersuchung.

Unabhängig von den zuvor genannten instabilen Unterrichtsverhältnissen kamen auch in jeweils beiden Klassen, in beiden Doppelstunden jeweils ein bis zwei Schüler*innen um 30 bis 50 Minuten unbegründet zu spät und mussten spontan in eine der anderen Gruppen integriert werden. Zuvor durchgeführte Hospitationen in derselben Schule zeigten idente Vorfälle, zu welchen wenig Handlungsspielraum seitens des Schulapparats sowie nahezu keine Einsicht der Lernenden über ihr Verhalten gegeben scheint.

Es sei daher zu bekennen, dass die äußerst erschwerten Untersuchungsverhältnisse vermeintlich eine signifikante Auswirkung auf die Resultate gehabt haben und aus diesem Grund auch in die Auslegung dieser in der Diskussion miteinfließen werden.

6. Resultate

In diesem Kapitel werden die Resultate der Studie präsentiert. Es folgen zunächst die Ergebnisse aus dem allgemeinen und fachlichen Teil des Fragenbogens bevor die Lernprodukte der Schüler*innen in Form ihrer Protokolle und Poster erschlossen werden. Abschließend werden die Observationen aus dem Beobachtungsbogen näher beschrieben. Die Auswertung erfolgt, sofern nicht anders angegeben, als Gesamtergebnis beider Klassen. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse beider Datenerhebungen sowie der Bestimmung ihrer Aussagekraft wird ein t-Test unabhängiger Stichproben herangezogen.

6.1. Leistungen im allgemeinen Teil des Fragebogens

6.1.1. Erster Aussagenblock

Im ersten Abschnitt des allgemeinen Teils wurden die Schüler*innen zu ihrem Zugang zum Unterrichtsfach Naturwissenschaften befragt:

Auswertung Q1_1 und Q1_2

Art des Testes			Ich schätze mich als sehr gut im Unterrichsfach NaWi ein	Ich finde chemische Inhalte im Unterrichtsfach NaWi besonders interessant
Prätest	N	Gültig	21	21
		Fehlend	0	0
	Mittelwert		3,7619	4,2381
	Median		4,0000	4,0000
	Std.-Abweichung		1,22085	1,48003
Posttest	N	Gültig	23	23
		Fehlend	0	0
	Mittelwert		3,8696	4,4783
	Median		4,0000	5,0000
	Std.-Abweichung		1,14035	1,47308

Abbildung 22: Auswertung der Fragestellungen 1.1 und 1.2

Die Ergebnisse aus den ersten beiden Fragestellungen im Prätest (Abb. 22) zeigten, dass sich die Schüler*innen mit einer leichten Überzeugung als sehr gut im Unterrichtsfach Naturwissenschaften einschätzen ($\bar{x}$ = 3,76 ; SD = 1,22 ; M = 4,0). Dies schien einherzugehen mit ihrem deutlichen Interesse an den chemischen Inhalten im naturwissenschaftlichen Unterricht ($\bar{x}$ = 4,24 ; SD = 1,48 ; M = 4,0).

Analog dazu zeigten die Daten derselben Fragestellungen im Posttest eine positive Einstellung gegenüber dem Fach Naturwissenschaften und seinen chemischen Inhalten. Zusätzlich konnte jedoch in der zweiten Testung ein leicht aufsteigender Trend sowohl in Fragestellung 1.1 ($\bar{x}$ = 3,87 ; SD = 1,14 ; M = 4) und 1.2 ($\bar{x}$ = 4,48 ; SD = 1,47 ; M = 5,0) festgestellt werden.

Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für die Mittelwertgleichheit							
						Signifikanz		Mittlere Differenz	Differenz für Standardfehler	95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Sig.	T	df	Einseitiges p	Zweiseitiges p			Unterer Wert	Oberer Wert
Ich schätze mich als sehr gut im Unterrichsfach NaWi ein	Varianzen sind gleich	,154	,697	-,302	42	,382	,764	-,10766	,35596	-,82602	,61070
	Varianzen sind nicht gleich			-,301	40,939	,382	,765	-,10766	,35709	-,82885	,61353
Ich finde chemische Inhalte im Unterrichtsfach NaWi besonders interessant	Varianzen sind gleich	,008	,927	-,539	42	,296	,593	-,24017	,44561	-1,13944	,65911
	Varianzen sind nicht gleich			-,539	41,601	,296	,593	-,24017	,44571	-1,13989	,65956

Abbildung 23: t-Test zu den Resultaten aus 1.1 und 1.2

Werden jedoch die Mittelwerte der beiden Erhebungen für die ersten zwei Aussagen durch einen t-Test (Abb. 23) verglichen, so konnte weder bei der Selbsteinschätzung der Fähigkeiten im Unterrichtsfach NaWi ($t(42) = -0{,}302$; $p = 0{,}764$) noch beim Interesse für chemischer Inhalte ($t(42) = -0{,}539$; $p = 0{,}593$) ein signifikanter Effekt nachgewiesen werden.

Auswertung Q1_3 bis Q1_6

Art des Testes			Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht bereitet mir sehr große Freude	Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht macht mir große Angst	Beim freien Experimentieren im NaWi-Unterricht fühle ich mich oft überfordert	Mir ist es viel lieber, im NaWi-Unterricht frei zu arbeiten, als nach einer Versuchsanleitung
Prätest	N	Gültig	21	21	21	21
		Fehlend	0	0	0	0
	Mittelwert		4,9048	1,4286	2,2857	3,9524
	Median		5,0000	1,0000	2,0000	4,0000
	Std.-Abweichung		1,37495	,92582	1,38358	1,39557
Posttest	N	Gültig	23	23	23	23
		Fehlend	0	0	0	0
	Mittelwert		5,2174	1,4783	2,0870	3,8696
	Median		6,0000	1,0000	2,0000	4,0000
	Std.-Abweichung		1,08530	1,16266	1,12464	1,60410

Abbildung 24: Auswertung der Fragestellungen 1.3 bis 1.6

In Abbildung 24 wird die statistische Auswertung zu den Aussagen 1.3 bis 1.6 dargelegt. Die Ergebnisse im Prätest zeigen deutlich, dass die Lernenden große Freude beim freien Experimentieren empfinden ($\bar{x} = 4{,}90$; SD = 1,37 ; M = 5,0) und konsequenterweise sich nicht vom freien Arbeiten fürchten ($\bar{x} = 1{,}42$; SD = 0,93 ; M = 1,0). Die Schüler*innen gaben auch bereits in der ersten Datenerhebung an, sich nicht vom freien Experimentieren überfordert zu fühlen ($\bar{x} = 2{,}29$; SD = 1,38 ; M = 2,0) und signalisierten leichte Zustimmung darüber, lieber freier als gebunden zu arbeiten ($\bar{x} = 3{,}95$; SD = 1,40 ; M = 4,0).

Im Kontrast zu den Posttestergebnissen von Aussage 1.1 und 1.2 wurden für die Fragestellungen 1.3 bis 1.6 leichte Schwankungen in beide Richtungen festgestellt. Während eine Steigerung der Freude am freien Experimentieren in Erfahrung gebracht werden konnte ($\bar{x} = 5{,}22$; SD = 1,08 ; M = 6,0), stieg auch zu einem minimalen Grad die empfundene Angst vor dem freien Experimentieren ($\bar{x} = 1{,}48$; SD = 1,16; M = 1,0). Nichtsdestotrotz sank das

empfundene Gefühl der Überforderung der Lernenden beim freien Experimentieren ($\bar{x}$ = 2,09 ; SD = 1,12 ; M = 2,0), aber auch zu einem kleinen Anteil die Begeisterung darüber frei arbeiten zu wollen ($\bar{x}$ = 3,87 ; SD = 1,60 ; M = 4,0).

Gegenüberstellung der Klassen in Bezug auf selektierte Einzelresultate

Gruppe der Probanden	Art des Testes			Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht bereitet mir sehr große Freude	Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht macht mir große Angst	Mir ist es viel lieber, im NaWi-Unterricht frei zu arbeiten, als nach einer Versuchsanleitung
1AA	Prätest	N	Gültig	11	11	11
			Fehlend	0	0	0
		Mittelwert		4,5455	1,1818	4,0000
		Median		4,0000	1,0000	4,0000
		Std.-Abweichung		1,63485	,40452	1,48324
	Posttest	N	Gültig	13	13	13
			Fehlend	0	0	0
		Mittelwert		5,4615	1,5385	4,4615
		Median		6,0000	1,0000	5,0000
		Std.-Abweichung		1,12660	1,12660	1,66410
1BA	Prätest	N	Gültig	10	10	10
			Fehlend	0	0	0
		Mittelwert		5,3000	1,7000	3,9000
		Median		5,5000	1,0000	4,0000
		Std.-Abweichung		,94868	1,25167	1,37032
	Posttest	N	Gültig	10	10	10
			Fehlend	0	0	0
		Mittelwert		4,9000	1,4000	3,1000
		Median		5,0000	1,0000	3,0000
		Std.-Abweichung		,99443	1,26491	1,19722

Abbildung 25: Vergleich von 1.3, 1.4 und 1.6 nach Klasse

In Bezug auf einige der in Abbildung 24 dargestellten Ergebnisse wurde eine starke Uneinigkeit zwischen den zwei untersuchten Lernendengruppen vorgefunden, die in Abbildung 25 hervorgehoben werden soll. Während die Probandengruppe 1AA eine zweifelslose Steigerung der Freude gegenüber dem freien Experimentieren bekennt (Prätest: $\bar{x}$ = 4,55 ; SD = 1,63 ; M = 4,0 vs. Posttest: $\bar{x}$ = 5,46 ; SD = 1,13 ; M = 6,0) wurde bei der Probandengruppe 1BA ein konträres Ergebnis festgestellt (Prätest: $\bar{x}$ = 5,30 ; SD = 0,95 ; M = 5,5 vs. Posttest: $\bar{x}$ = 4,90 ; SD = 0,99 ; M = 5,0). Gleichzeitig empfanden jedoch auch die Partizipanten 1AA eine Steigerung der Angst (Prätest: $\bar{x}$ = 1,18 ; SD = 0,40 ; M = 1,0 vs. Posttest: $\bar{x}$ = 1,54 ; SD = 1,13 ; M = 1,0), während bei den Lernenden 1BA eine Verminderung der Besorgnis erkannt wurde (Prätest: $\bar{x}$ = 1,70 ; SD = 1,25 ; M = 1,0 vs. Posttest: $\bar{x}$ = 1,40 ; SD = 1,26 ; M = 1,0). Dessen ungeachtet zeigte sich Gruppe 1AA nach der Intervention offener gegenüber dem freien Arbeiten (Prätest: $\bar{x}$ = 4,00 ; SD = 1,48 ; M = 4,0 vs. Posttest: $\bar{x}$ = 4,46 ; SD = 1,46 ; M = 5,0), wohingegen die Schüler*innen der 1BA analog zu ihrer verminderten Begeisterung zum freien

Experimentieren das Instruktionsformat bei der Erhebung des Posttests weniger bevorzugen (Prätest: $\bar{x}$ = 3,90 ; SD = 1,37 ; M = 4,0 vs. Posttest: $\bar{x}$ = 3,10 ; SD = 1,20 ; M = 3,0).

Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für die Mittelwertgleichheit							
						Signifikanz		Mittlere Differenz	Differenz für Standardfehler	95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Sig.	T	df	Einseitiges p	Zweiseitiges p			Unterer Wert	Oberer Wert
Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht bereitet mir sehr große Freude	Varianzen sind gleich	1,331	,255	-,841	42	,203	,405	-,31263	,37177	-1,06289	,43763
	Varianzen sind nicht gleich			-,832	38,037	,205	,411	-,31263	,37581	-1,07340	,44814
Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht macht mir große Angst	Varianzen sind gleich	,328	,570	-,156	42	,438	,877	-,04969	,31888	-,69322	,59384
	Varianzen sind nicht gleich			-,157	41,272	,438	,876	-,04969	,31558	-,68688	,58751
Beim freien Experimentieren im NaWi-Unterricht fühle ich mich oft überfordert	Varianzen sind gleich	1,326	,256	,525	42	,301	,602	,19876	,37868	-,56544	,96296
	Varianzen sind nicht gleich			,520	38,629	,303	,606	,19876	,38229	-,57474	,97226
Mir ist es viel lieber, im NaWi-Unterricht frei zu arbeiten, als nach einer Versuchsanleitung	Varianzen sind gleich	1,014	,320	,182	42	,428	,857	,08282	,45527	-,83596	1,00159
	Varianzen sind nicht gleich			,183	41,912	,428	,856	,08282	,45235	-,83012	,99575

Abbildung 26: t-Test zu den Resultaten aus 1.3 bis 1.6

Abbildung 26 illustriert die Ergebnisse der t-Tests zu den Fragestellungen 1.3 bis 1.6:

- Frage 1.3, $t(42) = -0{,}841$; $p = 0{,}405$
- Frage 1.4, $t(42) = -0{,}156$; $p = 0{,}877$
- Frage 1.5, $t(42) = 0{,}525$; $p = 0{,}602$
- Frage 1.6, $t(42) = 0{,}182$; $p = 0{,}857$

Aus dem *p*-Wert der Berechnungen ergibt sich kein signifikanter Effekt, welcher im Posttest nachgewiesen werden konnte.

Auswertung Q1_7 bis Q1_9

Art des Testes			Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht steigert in jedem Fall mein Selbstvertrauen im Fach NaWi	Freies Experimentieren im NaWi-Unterricht motiviert mich besonders über die Chemie zu lernen	Eigene Untersuchungen anzustellen, motiviert mich sehr im NaWi Unterricht mehr zu tun
Prätest	N	Gültig	21	21	21
		Fehlend	0	0	0
	Mittelwert		4,3810	4,1429	4,4286
	Median		4,0000	4,0000	5,0000
	Std.-Abweichung		1,07127	1,49284	1,43427
Posttest	N	Gültig	23	23	23
		Fehlend	0	0	0
	Mittelwert		4,7391	4,8261	4,7391
	Median		5,0000	5,0000	5,0000
	Std.-Abweichung		1,13688	1,11405	1,28691

Abbildung 27: Auswertung der Fragestellungen 1.7 bis 1.9

Im letzten Teil des ersten Fragenblocks wurde der Einfluss des freien Experimentierens auf die Selbstwirksamkeit und Lernmotivation untersucht. Aus Abbildung 27 lässt sich entnehmen,

dass für die Lernenden bereits während des Prätests eine positive Korrelation zwischen dem freien Arbeiten und dem Selbstvertrauen besteht ($\bar{x}$ = 4,38 ; SD = 1,07 ; M = 4,0). Ein vergleichsweise ähnlicher Wert ergab sich für die Aussage, inwiefern freies Experimentieren die persönliche Lernmotivation für die Chemie steigert ($\bar{x}$ = 4,14 ; SD = 1,49 ; M = 4,0). Auch die Motivation zur aktiveren Beteiligung im NaWi-Unterricht scheint für die Schüler*innen durch das Autonomieangebot gefördert zu werden ($\bar{x}$ = 4,43 ; SD = 1,43 ; M = 5,0).

Anders als bei den Aussagen 1.3 bis 1.6 konnten bei den letzten drei Stellungnahmen im Posttest eine explizite Verbesserung festgestellt werden. Die Lernenden bewerteten die Verbindung zwischen dem freien Arbeiten und der Steigerung ihres Selbstvertrauens im Durchschnitt mit $\bar{x}$ = 4,74 (SD = 1,14 ; M = 5,0). Ein noch prägnanterer Unterschied der Mittelwerte wurde in Frage 1.8 zur Lernmotivation über chemische Inhalte festgestellt ($\bar{x}$ = 4,83 ; SD = 1,11 ; M = 5,0). Ebenso deuten auch die Daten in der letzten Kategorie des ersten Aussagenblocks auf einen leistungsbegünstigten Effekt durch forschendes Lernen ($\bar{x}$ = 4,74 ; SD = 1,29 ; M = 5,0).

Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für die Mittelwertgleichheit							
						Signifikanz		Mittlere Differenz	Differenz für Standardfehler	95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Sig.	T	df	Einseitiges p	Zweiseitiges p			Unterer Wert	Oberer Wert
Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht steigert in jedem Fall mein Selbstvertrauen im Fach NaWi	Varianzen sind gleich	,007	,934	-1,073	42	,145	,289	-,35818	,33385	-1,03192	,31556
	Varianzen sind nicht gleich			-1,076	41,952	,144	,288	-,35818	,33293	-1,03008	,31373
Freies Experimentieren im NaWi-Unterricht motiviert ich besonders über die Chemie zu lernen	Varianzen sind gleich	1,697	,200	-1,730	42	,045	,091	-,68323	,39484	-1,48005	,11359
	Varianzen sind nicht gleich			-1,708	36,849	,048	,096	-,68323	,40010	-1,49403	,12757
Eigene Untersuchungen anzustellen, motiviert mich sehr im NaWi Unterricht mehr zu tun	Varianzen sind gleich	,669	,418	-,757	42	,227	,453	-,31056	,41020	-1,13838	,51726
	Varianzen sind nicht gleich			-,753	40,376	,228	,456	-,31056	,41227	-1,14354	,52242

Abbildung 28: t-Test zu den Resultaten aus 1.7 bis 1.9

Eine Analyse der Mittelwertveränderungen unter Utilisierung eines t-Tests ergab für die Stellungnahmen 1.7 bis 1.9 folgende Erkenntnisse:

- Frage 1.7, $t(42) = -1{,}073$; $p = 0{,}289$
- Frage 1.8, $t(42) = -1{,}730$; $p = 0{,}091$
- Frage 1.9, $t(42) = -0{,}757$; $p = 0{,}453$

Nach der Auswertung der t-Tests (Abb. 28) ist davon auszugehen, dass die Mittelwertdifferenzen auf keine signifikanten Effekte hinweisen, jedoch sticht der *p*-Wert aus 1.8 bisherig als erster Wert nahe dem 95%-igen Konfidenzintervall heraus.

6.1.2. Zweiter Aussagenblock

Im zweiten Abschnitt des allgemeinen Teils wird auf die Frequenz des forschenden Lernens und dem Aufbau sowie der Bedeutung chemischen Wissens eingegangen:

Ich könnte mir vorstellen, öfters frei im NaWi-Unterricht zu experimentieren

Art des Testes			Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Prätest	Gültig	Nein	1	4,8	4,8	4,8
		Ja	20	95,2	95,2	100,0
		Gesamt	21	100,0	100,0	
Posttest	Gültig	Nein	1	4,3	4,3	4,3
		Ja	22	95,7	95,7	100,0
		Gesamt	23	100,0	100,0	

Abbildung 29: Erhebung der bevorzugten Frequenz freien Arbeitens

Um herauszufinden, wie die Schüler*innen zum regelmäßigen freien Experimentieren stehen, mussten sie zunächst in einer Ja-Nein-Frage bekunden, ob sie sich diesen Modus häufiger im NaWi-Unterricht wünschen würden. Aus Abbildung 29 lässt sich entnehmen, dass 95,2% (n = 20) aller befragten Lernenden bereits vor den Unterrichtssequenzen eine regelmäßigere Möglichkeit zum freien Arbeiten begrüßen würden. Dieser Wert verblieb in Posttest mit 95,7% (n = 22) nahezu unverändert.

Wenn "ja" - wie oft?

Art des Testes			Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Prätest	Gültig	keine Stellungnahme	1	4,8	4,8	4,8
		bei jedem Experiment	4	19,0	19,0	23,8
		jedem zweiten Experiment	12	57,1	57,1	81,0
		zumindest 1x im Monat	4	19,0	19,0	100,0
		Gesamt	21	100,0	100,0	
Posttest	Gültig	keine Stellungnahme	1	4,3	4,3	4,3
		bei jedem Experiment	4	17,4	17,4	21,7
		jedem zweiten Experiment	9	39,1	39,1	60,9
		zumindest 1x im Monat	9	39,1	39,1	100,0
		Gesamt	23	100,0	100,0	

Abbildung 30: Bevorzugte Häufigkeit des freien Experimentierens

Partizipanten, welche die vorherige Frage mit „Ja“ beantworteten, wurden darum gebeten, aus einer Wahl von drei vorgeschlagenen Frequenzen forschenden Lernens ihre bevorzugte Variante zu selektieren. Im Prätest gaben 19.0% (n = 4) an, bei jedem Experiment frei arbeiten zu wollen, während 57,1% (n = 12) sich dies zumindest bei jedem zweiten Experiment

vorstellen konnten. Weitere 19.0% (n = 4) bevorzugen zumindest einmal im Monat diese Arbeitsweise und eine Person (4,8%) verzichtete auf eine Antwort (Abb. 30).

Nach Abschluss der Unterrichtseinheiten wurde eine Verlagerung bei dieser Fragestellung wahrgenommen. Während auch weiterhin 17,4% (n = 4) jedes Experiment frei bearbeiten wollen, reduzierte sich der Anteil derjenigen Schüler, welche sich bei jedem zweiten Experiment diesen Modus vorstellen könnten auf 39,1% (n = 9). Im Gegensatz zum Prätest bevorzugen mehr als doppelt so viele Lernende nur mehr zumindest 1x im Monat Experimentieren im forschenden Lernen abzuhalten (39,1% ; n = 9).

Auswertung Q2_3 bis Q2_6

Art des Testes			Chemisches Wissen aus dem NaWi-Unterricht ist weichtig und sehr hilfreich für den Alltag	Chemisches Wissen aus dem NaWi-Unterricht lässt sich im Alltag immer gut anwenden	Freies Experimentieren hilft mir, mein Wissen aus dem NaWi-Unterricht sinnvoll anzuwenden	Ich merke mir Inhate aus dem NaWi-Unterricht viel besser, wenn ich sie durch das freie Experimentieren selbst erarbeite
Prätest	N	Gültig	21	21	21	21
		Fehlend	0	0	0	0
	Mittelwert		3,7143	3,2857	4,4286	5,0952
	Median		4,0000	3,0000	5,0000	5,0000
	Std.-Abweichung		1,05560	1,05560	1,24786	,99523
Posttest	N	Gültig	22	22	22	22
		Fehlend	1	1	1	1
	Mittelwert		4,2727	4,0455	4,6818	4,6818
	Median		4,0000	4,0000	5,0000	5,0000
	Std.-Abweichung		1,35161	1,04550	1,28680	1,46015

Abbildung 31: Auswertung der Fragestellungen 2.3 bis 2.6

Der letzte Abschnitt im allgemeinen Fragenteil beschäftigte sich mit der Anwendbarkeit und dem Memorieren naturwissenschaftlichen Wissens. Aus den Ergebnissen des Prätests in Abbildung 31 ist ersichtlich, dass die Lernenden vor Beginn der Unterrichtsequenzen nur eine leicht positive Einstellung gegenüber der Bedeutung und Anwendbarkeit chemischen Wissens zeigten. Die Schüler*innen bewerten die Aussage, dass chemisches Wissen „wichtig und sehr hilfreich für den Alltag“ sei im Mittel mit $\bar{x}$ = 3,71 (SD = 1,06 ; M = 4,0). Ein noch schwächeres Ergebnis wurde bezüglich der Anwendbarkeit chemischen Wissens vorgefunden: Mit ungefähr $\bar{x}$ = 3,29 (SD = 1,05 ; M = 3) nahmen die Partizipanten eine annähernd neutrale Haltung zur Thematik ein. Weitaus höher fiel die Zustimmung der Lernenden zur Möglichkeit, Fachkenntnisse aus dem NaWi-Unterricht durch freies Experimentieren sinnvoll anzuwenden ($\bar{x}$ = 4,43 ; SD = 1,25 ; M = 5). Die stärkste Resonanz aus den Aussagen des letzten Abschnitts wurde in Bezug auf die letzte Äußerung zur Verbindung zwischen freiem Experimentieren und dem erfolgreichen Wissenserwerb naturwissenschaftlicher Inhalte festgestellt. Mit $\bar{x}$ = 5,10

(SD = 1,0 ; M = 5,0) bekundeten die Schüler*innen sehr deutlich die positive Relation zwischen forschendem Lernen und Wissensaneignung.

Die Auswertung des Posttests ergab eine Steigerung der Zustimmung zu den Aussagen 2.3 bis 2.5 (Abb. 31). Nach der Aufarbeitung der Metallbindung mittels forschenden Lernens erfolgte eine affirmativere Haltung der Schüler*innen zur Bedeutung und Dienlichkeit chemischen Wissens aus dem NaWi-Unterricht ($\bar{x}$ = 4,27 ; SD = 1,35 ; M = 4,0). Besonders hochgradig sticht das Ergebnis des Posttests zur Aussage 2.4 hervor: Mit einer Steigerung von ca. 0,76 Punkten gegenüber dem Prätestresultat führte die Intervention bei der Äußerung, dass chemisches Wissen aus dem NaWi-Unterricht sich „immer gut“ im Alltag anwenden zur augenmerklichsten positiven Veränderung aller Daten im allgemeinen Erhebungsteil ($\bar{x}$ = 4,05 ; SD = 1,05 ; M = 4,0). Auch bei der sinnvollen Anwendung naturwissenschaftlicher Inhalte durch das freie Experimentieren wurde ein leichter Anstieg vorgefunden ($\bar{x}$ = 4,68 ; SD = 1,29 ; M = 5,0). In Kontrast zu dem bemerkenswerten Grad der Zustimmung zum effektiveren Wissenserwerb chemischer Inhalte durch das freie Experimentieren wurde im Posttest eine ersichtliche Einbuße des Mittelwertes vorgefunden. Nach dem forschenden Lernen bewerteten die Schüler*innen die Aussage im Schnitt nur noch mit $\bar{x}$ = 4,68 (SD = 1,46 ; M = 5,0).

Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für die Mittelwertgleichheit							
						Signifikanz		Mittlere Differenz	Differenz für Standardfehler	95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Sig.	T	df	Einseitiges p	Zweiseitiges p			Unterer Wert	Oberer Wert
Chemisches Wissen aus dem NaWi-Unterricht ist weichtig und sehr hilfreich für den Alltag	Varianzen sind gleich	4,763	,035	-1,505	41	,070	,140	-,55844	,37105	-1,30780	,19091
	Varianzen sind nicht gleich			-1,514	39,484	,069	,138	-,55844	,36892	-1,30435	,18747
Chemisches Wissen aus dem NaWi-Unterricht lässt sich im Alltag immer gut anwenden	Varianzen sind gleich	,000	,995	-2,371	41	,011	,023	-,75974	,32047	-1,40694	-,11254
	Varianzen sind nicht gleich			-2,370	40,866	,011	,023	-,75974	,32054	-1,40715	-,11233
Freies Experimentieren hilft mir, mein Wissen aus dem NaWi-Unterricht sinnvoll anzuwenden	Varianzen sind gleich	,024	,878	-,655	41	,258	,516	-,25325	,38683	-1,03446	,52796
	Varianzen sind nicht gleich			-,655	40,988	,258	,516	-,25325	,38654	-1,03389	,52740
Ich merke mir Inhate aus dem NaWi-Unterricht viel besser, wenn ich sie durch das freie Experimentieren selbst erarbeite	Varianzen sind gleich	2,939	,094	1,080	41	,143	,287	,41342	,38289	-,35985	1,18669
	Varianzen sind nicht gleich			1,089	37,171	,142	,283	,41342	,37957	-,35555	1,18239

Abbildung 32: t-Test zu den Resultaten aus 2.3 bis 2.6

Die Evaluierung der Mittelwertveränderungen über den t-Test führten zu folgenden Werten:

- Frage 2.3, $t(41) = -1{,}505$; $p = 0{,}140$
- Frage 2.4, $t(41) = -2{,}371$; $p = 0{,}023$
- Frage 2.5, $t(41) = -0{,}655$; $p = 0{,}516$
- Frage 2.6, $t(41) = 1{,}080$; $p = 0{,}287$

Aus den Werten der Abbildung 32 geht hervor, dass die Mittelwertänderungen in den Datensätzen zu den Aussagen 2.3, 2.5 und 2.6 zwar zu partiell niedrigen *p*-Werten, jedoch zu keinem signifikant nachweisbaren Effekt geführt haben. Im Gegensatz dazu suggeriert der *p*-Wert des t-Tests zur Äußerung 2.4, dass die Intervention einen nachweisbaren Effekt auf die Haltung der Schüler*innen erzielte.

In der Sektion für offenes Feedback wurden keine für die Arbeit konkret relevanten Rückmeldungen vernommen. Der Abschnitt verblieb zumeist leer oder inkludierte positive Zusprüche seitens der Lernenden für die Lehrperson.

6.2. Ergebnisse im fachlichen Teil des Fragebogens

Im Fachteil wurde zunächst das Faktenwissen zu den chemischen Metalleigenschaften untersucht:

Statistiken zu den einzelnen chemischen Metalleigenschaften

Art des Testes			Wärmeleitfähigkeit	Elektrische Leitfähigkeit	Duktilität	Metallischer Glanz	Hoher Siede- und Schmelzpunkt	Magnetische Eigenschaften
Prätest	N	Gültig	21	21	21	21	21	21
		Fehlend	0	0	0	0	0	0
	Mittelwert		,1429	,2381	,0000	,0476	,0476	,0952
	Median		,0000	,0000	,0000	,0000	,0000	,0000
	Std.-Abweichung		,35857	,43644	,00000	,21822	,21822	,30079
Posttest	N	Gültig	23	23	23	23	23	23
		Fehlend	0	0	0	0	0	0
	Mittelwert		,5652	,6522	,4783	,0870	,0870	,1304
	Median		1,0000	1,0000	,0000	,0000	,0000	,0000
	Std.-Abweichung		,50687	,48698	,51075	,28810	,28810	,34435

Abbildung 33: Auswertung der Fragestellung 3 zu den einzelnen chemischen Metalleigenschaften

Die Abbildung 33 illustriert den Anteil der Lernenden aus beiden Klassen insgesamt, welche eine der sechs erwarteten chemischen Eigenschaften im Prä- oder Posttest genannt haben. Während im Prätest zumindest 14,3% (n = 3) die Wärmeleitfähigkeit und 23,8% (n = 5) die elektrische Leitfähigkeit als Metalleigenschaft genannt haben, konnte nahezu kein Vorwissen bei den magnetischen Eigenschaften (9,5%; n = 2) und beim metallischen Glanz sowie dem hohen Siede- und Schmelzpunkt von Metallen (4,76% ; n = 1) festgestellt werden. Keine Person vermerkte im Prätest die Duktilität als Metalleigenschaft.

Auf eine deutliche Verbesserung des Faktenwissens zu den Metalleigenschaften deuten die Ergebnisse des Posttests in drei der sechs Eigenschaften hin. Mehr als die Hälfte aller Schüler*innen listete die Wärmeleitfähigkeit als Metalleigenschaft auf (56,5 % ; n = 13); sogar 15 von 23 Partizipanten wussten über die elektrische Leitfähigkeit Bescheid (65,2 %). Ebenso

bemerkenswert scheint es, dass 47,8% (n = 11) aller Lernenden die Duktilität als chemische Eigenschaft von Metallen notierten, obwohl keine Person dieses Attribut im Prätest nannte. Nur sehr leichte Fluktuationen wurden bei den Werten zu den restlichen Metalleigenschaften wahrgenommen. Insgesamt zwei Schüler*innen (8,7%) beschrieben den metallischen Glanz oder den hohen Schmelz- und Siedepunkt als gesuchte Eigenschaft und nur eine zusätzliche Person konnte die magnetischen Eigenschaften als metallisches Charakteristikum identifizieren (13,0 % ; n = 3).

In der vierten Aufgabe sollten die Lernenden die Struktur einer Metallbindung skizzieren und in einer zweiten Teilaufgabe in Worten daneben beschreiben. Im Gegensatz zu den anderen Aufgaben wurde hier bei zumindest annähernd korrekter Antwortgabe ein halber Punkt vergeben.

Aufgabe 4: „Zeichnen Sie in die Box eine Skizze darüber, wie Metallatome in der Metallbindung aufgebaut sind"

Art des Testes			Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Prätest	Gültig	inkorrekte Antwort	20	95,2	95,2	95,2
		teils korrekte Antwort	1	4,8	4,8	100,0
		Gesamt	21	100,0	100,0	
Posttest	Gültig	inkorrekte Antwort	12	52,2	52,2	52,2
		teils korrekte Antwort	2	8,7	8,7	60,9
		korrekte Antwort	9	39,1	39,1	100,0
		Gesamt	23	100,0	100,0	

Abbildung 34: Aufschlüsselung der Bewertung der ersten Teilaufgabe aus Aufgabe 4

Bei der Prätest-Auswertung des ersten Teils der vierten Aufgabenstellung (Abb. 34) wurde nur eine Antwort mit korrekten Ansätzen vorgefunden (4,8%). Das fehlende Vorwissen konnte nach den Unterrichtseinheiten bei einem nahezu der Hälfte der Lernenden ergänzt werden (39,1% ; n = 9). Neben den neun korrekten Antworten haben auch zwei Lernende zumindest Ansätze einer richtigen Idee gezeigt (8,7%).

Aufgabe 4: „Beschreiben Sie Ihre Skizze daneben in Worten"

Art des Testes			Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Prätest	Gültig	inkorrekte Antwort	20	95,2	95,2	95,2
		teils korrekte Antwort	1	4,8	4,8	100,0
		Gesamt	21	100,0	100,0	
Posttest	Gültig	inkorrekte Antwort	13	56,5	56,5	56,5
		teils korrekte Antwort	3	13,0	13,0	69,6
		korrekte Antwort	7	30,4	30,4	100,0
		Gesamt	23	100,0	100,0	

Abbildung 35: Aufschlüsselung der Bewertung der zweiten Teilaufgabe aus Aufgabe 4

Idente Prätest-Resultate zur ersten Teilaufgabe konnten auch beim zweiten Abschnitt von Aufgabenstellung 4 vorgefunden werden (Abb. 35). Nur eine Person (4,8%) zeigte bereits vor dem Unterricht durch ihr Vorwissen eine annähernd richtige Idee. Insgesamt 7 Schüler*innen (30,4%) lieferten eine fachlich korrekte Erklärung nach ihrer forschenden Lernerfahrung und 3 Lernende (13,0%) konnten zumindest eine teils korrekte Antwort hinschreiben.

Aufgabe 5: Single Choice zur Metallbindung

Art des Testes			Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Prätest	Gültig	Keine Antwort	1	4,8	4,8	4,8
		Antwort A: Metalle leiten Wärme sehr gut. Die Atomrümpfe und freien Elektronen stoßen beim Erhitzen wegen dem geringen Teilchenabstand aneinander und geben dabei die Wärme in Form von Bewegungsenergie (kinetische Energie) weiter. Die Wärme breitet sich dadurch schnell aus.	8	38,1	38,1	42,9
		Antwort A und B	2	9,5	9,5	52,4
		Antwort A, B und C	1	4,8	4,8	57,1
		Antwort B: Metalle leiten Wärme sehr gut. Die positiv geladenen Atomrümpfe entziehen die Energie aus der Wärmequelle (z.B. Feuer) und geben diese an die negativ geladenen Elektronen durch die gegenseitige Anziehung weiter.	9	42,9	42,9	100,0
		Gesamt	21	100,0	100,0	
Posttest	Gültig	Keine Antwort	1	4,3	4,3	4,3
		Antwort A: Metalle leiten Wärme sehr gut. Die Atomrümpfe und freien Elektronen stoßen beim Erhitzen wegen dem geringen Teilchenabstand aneinander und geben dabei die Wärme in Form von Bewegungsenergie (kinetische Energie) weiter. Die Wärme breitet sich dadurch schnell aus.	13	56,5	56,5	60,9
		Antwort A und B	4	17,4	17,4	78,3
		Antwort B: Metalle leiten Wärme sehr gut. Die positiv geladenen Atomrümpfe entziehen die Energie aus der Wärmequelle (z.B. Feuer) und geben diese an die negativ geladenen Elektronen durch die gegenseitige Anziehung weiter.	4	17,4	17,4	95,7
		Antwort C: Metalle leiten Wärme schlecht. Das Elektronengas zwischen den Atomrümpfen isoliert das Metall vor der Ausbreitung der Wärme, wodurch nur die Oberfläche des Metalls Wärme speichern kann.	1	4,3	4,3	100,0
		Gesamt	23	100,0	100,0	

Abbildung 36: Häufigkeiten der vergebenen Antworten in Aufgabe 5

In der letzten Aufgabenstellung des Fachteils sollten Lernende eine fachlich korrekte Erklärung für das Phänomen der metallischen Wärmeleitfähigkeit basierend auf dem Elektronengasmodell von drei Auswahlmöglichkeiten wählen (Abb. 36). Bereits im Prätest konnten acht Lernende die richtige Antwort A erkennen (38,1%), während 9 Schüler*innen sich von Antwort B in die Irre führen ließen (42,9%). Trotz der Verwendung des Singulars in der Angabenformulierung „Kreuzen sie die richtige Antwort an“ wurde von zwei Personen (9,5%) die Antwort A und B zusammen angekreuzt, sowie von einer Person (4,8%) alle drei Erklärungen als richtig empfunden, unabhängig von deren gegenseitigen Widerspruch. Ein*e Partizipant*in enthielt sich ihrer Antwort.

Aus den Daten des Posttests geht hervor, dass nach dem forschenden Lernen zur Metallbindung in mehr als der Hälfte der Fragebögen ausschließlich die richtige Antwort gewählt wurde (56,5% , n = 13). Nur noch vier Personen wählten Antwort B aus (17,4%) und unerwarteterweise vermutete ein*e Schüler*in (4,3%), dass Metalle gar Wärme schlecht

leiten würden. Vier Lernende (17,4%) schienen bei ihrer Antwort unentschlossen und kreuzten sowohl Möglichkeit A als auch B an. Analog zum Prätest hinterließ auch im Posttest eine Person die Aufgabe unbeantwortet.

Aufgabe 5_1: Kreisen Sie ein, wie sicher Sie sich mit Ihrer Antwort von Aufgabe 5 sind[a]

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Ich fühle ich absolut unsicher	3	14,3	16,7	16,7
	Ich bin mir eigentlich nicht ganz sicher	14	66,7	77,8	94,4
	Ich bin mir sehr sicher, dass meine Antwort stimmt	1	4,8	5,6	100,0
	Gesamt	18	85,7	100,0	
Fehlend	Keine Antwort	3	14,3		
Gesamt		21	100,0		

a. Art des Testes = Prätest

Aufgabe 5_1: Kreisen Sie ein, wie sicher Sie sich mit Ihrer Antwort von Aufgabe 5 sind[a]

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Ich fühle ich absolut unsicher	3	13,0	15,0	15,0
	Ich bin mir eigentlich nicht ganz sicher	10	43,5	50,0	65,0
	Ich bin mir sehr sicher, dass meine Antwort stimmt	7	30,4	35,0	100,0
	Gesamt	20	87,0	100,0	
Fehlend	Keine Antwort	3	13,0		
Gesamt		23	100,0		

a. Art des Testes = Posttest

Abbildung 37: Gegenüberstellung der Antwortsicherheit im Prä- und Posttest bei Aufgabe 5.1

Die Auswertung der Antwortsicherheit zur Beantwortung der fünften Aufgabe zeichnete im Prätest ein Bild der Unsicherheit (Abb. 37, links). Insgesamt 66,7% (n = 14) aller Schüler*innen sind sich „nicht ganz sicher“ mit ihrer zuvor gegebenen Antwort, „absolut unsicher“ fühlen sich 14,3% (n = 3) über ihre Überlegungen und nur 4,8% (n = 1) der Befragten beschreiben sich als „sehr sicher“. Drei weitere Personen (14,3%) ließen diese Aufgabe aus.

Im Posttest hingegen erhöhte sich die Anzahl der Lernenden, welche mit Überzeugung hinter ihrer Antwort standen (Abb. 37, rechts). Nur noch 43,5% (n = 10) der Schüler*innen fühlten sich „nicht ganz sicher“, während 30,4% (n = 7) keine Zweifel über ihre Antwort hegten. Gleich dem Prätest waren drei Antwortgeber*innen bezüglich ihrer Wahl in Aufgabe 5 unsicher (13,0%). Ebenso nahmen drei weitere Personen zu dieser Aufgabe keine Stellung (13,0%).

Übersicht Gesamtpunktezahlen

Art des Testes			Gesamtpunktezahl Q3	Gesamtpunktezahl Q4	Gesamtpunktezahl Q5	Gesamtpunktezahl Wissensfragen
Prätest	N	Gültig	21	21	21	21
		Fehlend	0	0	0	0
	Mittelwert		,5714	,0476	,3810	,9524
	Median		,0000	,0000	,0000	1,0000
	Std.-Abweichung		,81064	,21822	,49761	1,02353
Posttest	N	Gültig	23	23	23	23
		Fehlend	0	0	0	0
	Mittelwert		2,0000	,8043	,5652	3,3696
	Median		2,0000	,0000	1,0000	3,0000
	Std.-Abweichung		1,34840	,92612	,50687	2,04060

Abbildung 38: Übersicht der erzielten Punkte in allen Aufgaben des Fachteils

In Abbildung 38 werden die im Mittel erzielten Punkte aller Teilnehmer*innen über den Fachteil aufgeschlüsselt. Im Prätest erreichten die Lernenden im Durchschnitt 0,57 (SD = 0,81 ; M = 0,0) von 6 Punkten in Aufgabe 3, 0.476 (SD = 0,22 ; M = 0,0) von 2 Punkten in Aufgabe 4

und 0.38 (SD = 0,50 ; M = 0,0) von 1 Punkt in der fünften Aufgabenstellung. Es resultierte daraus ein Gesamtergebnis von durchschnittlich 0,95 (SD = 1,02 ; M = 1,0) aus möglichen 9 Punkten vor der Teilnahme am forschenden Lernen zum Thema Metallbindung.

Gesamtpunktezahl Wissensfragen[a]

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	,00	9	42,9	42,9	42,9
	1,00	6	28,6	28,6	71,4
	2,00	4	19,0	19,0	90,5
	3,00	2	9,5	9,5	100,0
	Gesamt	21	100,0	100,0	

a. Art des Testes = Prätest

Abbildung 39: Gesamtpunktezahlverteilung im Prätest

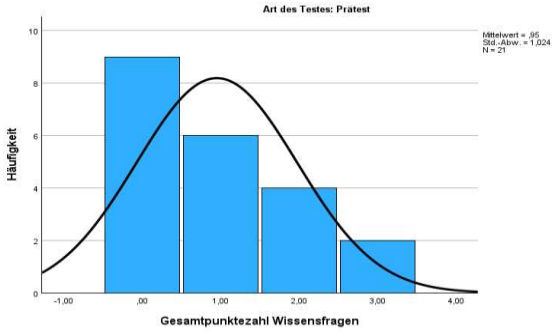


Abbildung 40: Histogramm zur Gesamtpunktezahlverteilung im Prätest

Die konkrete Verteilung aller erzielten Punkte im Prätest ist den Abbildungen 39 bzw. 40 zu entnehmen. Nahezu die Hälfte der Klassen schien kein Vorwissen zur Metallbindung mitzubringen (42,9% ; n = 9) während zumindest ein Viertel einen Punkt erzielen konnte (28,6% ; n = 6). Bei fast einem Fünftel aller Partizipanten (19,0% n = 4) wurden 2 Punkte vergeben, während zwei Lernende (9,5%) das leistungsstärkste Ergebnis der Gruppe von 3 Punkten erreichten.

Gesamtpunktezahl Wissensfragen[a]

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	,00	1	4,3	4,3	4,3
	1,00	5	21,7	21,7	26,1
	2,00	3	13,0	13,0	39,1
	3,00	3	13,0	13,0	52,2
	4,00	1	4,3	4,3	56,5
	4,50	3	13,0	13,0	69,6
	5,00	3	13,0	13,0	82,6
	6,00	3	13,0	13,0	95,7
	7,00	1	4,3	4,3	100,0
	Gesamt	23	100,0	100,0	

a. Art des Testes = Posttest

Abbildung 41: Gesamtpunkteverteilung im Posttest

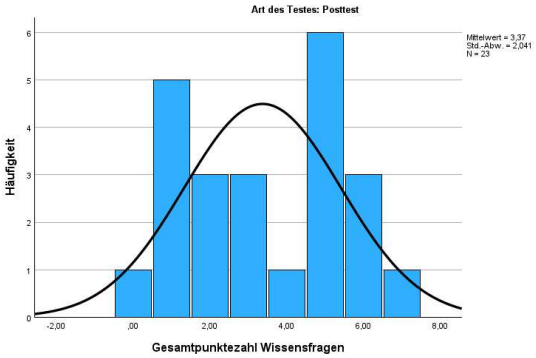


Abbildung 42: Histogramm zur Gesamtpunkteverteilung im Posttest

Im Posttest konnte eine breitere Verteilung der Leistungen aus dem Fachteil festgestellt werden (Abb. 41 und Abb. 42). Wie den obigen Abbildungen zu entnehmen ist, erzielte nur noch eine Person (4,3%) keinen Punkt bei der Wissensfeststellung. Etwas mehr als ein Fünftel aller Lernenden (21,7% ; n = 5) erreichten 1 Punkt als ihr Gesamtergebnis, während von jeweils drei Lernenden (13,0%) die Punktezahlen 2, 3, 4, 4.5, 5 oder 6 erlangten. Bei einer Person

wurden 4 richtige Antworten festgestellt (4,3%) und ein*e weitere Schüler*in (4,3%) erzielte das beste Ergebnis der Datenerhebung mit 7 Punkten.

Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für die Mittelwertgleichheit							
						Signifikanz		Mittlere Differenz	Differenz für Standardfehler	95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Sig.	T	df	Einseitiges p	Zweiseitiges p			Unterer Wert	Oberer Wert
Gesamtpunktezahl Q3	Varianzen sind gleich	2,959	,093	-4,208	42	<,001	<,001	-1,42857	,33951	-2,11373	-,74342
	Varianzen sind nicht gleich			-4,301	36,563	<,001	<,001	-1,42857	,33218	-2,10191	-,75524
Gesamtpunktezahl Q4	Varianzen sind gleich	114,985	<,001	-3,650	42	<,001	<,001	-,75673	,20735	-1,17518	-,33828
	Varianzen sind nicht gleich			-3,805	24,657	<,001	<,001	-,75673	,19889	-1,16665	-,34681
Gesamtpunktezahl Q5	Varianzen sind gleich	,481	,492	-1,215	42	,116	,231	-,18427	,15166	-,49033	,12180
	Varianzen sind nicht gleich			-1,216	41,767	,115	,231	-,18427	,15153	-,49012	,12159
Gesamtpunktezahl Wissensfragen	Varianzen sind gleich	16,398	<,001	-4,892	42	<,001	<,001	-2,41718	,49411	-3,41434	-1,42003
	Varianzen sind nicht gleich			-5,030	33,035	<,001	<,001	-2,41718	,48055	-3,39484	-1,43953

Abbildung 43: t-Test zu den Gesamtpunktzahlen des Fachteils

Aus der Signifikanzüberprüfung der Mittelwertdifferenzen im Leistungsteil gingen folgende Ergebnisse hervor:

- Gesamtpunktezahl in Aufgabe 3: $t(42) = -4{,}208$; $p < 0{,}001$
- Gesamtpunktezahl in Aufgabe 4: $t(42) = -3{,}650$; $p < 0{,}001$
- Gesamtpunktezahl in Aufgabe 5: $t(42) = -1{,}215$; $p = 0{,}231$
- Gesamtpunktezahl des Leistungsteils: $t(42) = -4{,}892$; $p < 0{,}001$

Während der *p*-Wert der t-Test-Auswertung zur Aufgabe 5 auf keinen signifikanten Effekt hindeutet, konnte ein statistisch signifikanter Einfluss auf die Leistungen in Aufgabe 3 und 4, sowie der Gesamtheit aller fachlichen Leistungen nachgewiesen werden (Abb. 43).

6.3. Auswertung der Protokolle und Poster

Im Zuge der Untersuchungen zum forschenden Lernen zur Thematik der Metallbindung haben die Schüler*innen jeden ihrer Versuche in einem Protokoll verschriftlicht. Im Folgenden sind alle unternommenen Experimente der beiden Klassen aufgelistet. Untersuchungen, welche von mehreren Gruppen durchgeführt wurden, werden nur einmal genannt.

- Wärmeleitfähigkeit von metallischen Gegenständen (Kupferdraht, Eisendraht, Münzen aus verschiedenen Legierungen, verzinkte Eisenschrauben, Aluminiumfolie)
- Schmelzpunktuntersuchung von Münzen aus verschiedensten metallischen Verbindungen (Kupfercent-Münze mit Stahlkern, alte Silbermünze, Messing bzw. Kupfer-Nickel-Euromünze
- Schmelzen von Aluminiumfolie im Vergleich zu einem Zuckerwürfel
- Schmelzen verschiedener Metalldrähte: Zink, Aluminium, Kupfer
- Schmelzen von Aluminiumfolie unter Beigabe von Graphitpulver

- Untersuchung der Duktilität einer verzinkten Eisenschraube nach Erhitzen mit dem Brenner
- Duktilitätsuntersuchungen von Kupfer-, Eisen-, Messing-, Zink- und Aluminiumdraht mit annähernd identem Durchmesser
- Versuch der Konstruktion eines Perpetuum Mobiles aus metallischen Gegenständen, welche durch mehrere Magneten kontinuierlich in Bewegung gehalten werden sollen
- Entmagnetisierung von Aluminiumdraht durch Erhitzen
- Untersuchung der Stärke magnetischer Anziehung von Kupfer-, Eisen- und Wolframpulver
- Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit von Aluminiumfolie im Stromkreis
- Serienschaltung von Batterien in einem Stromkreis mit Hilfe metallischer Leiter
- Rostentfernung von Münzen durch eine Mischung von Kochsalz und Speiseessig
- Entzündung eines Teelichtdochts durch künstliche Erzeugung eines Kurzschlusses

Die Protokolle zeigten im Großen und Ganzen alle vorgegebenen Elemente wissenschaftlicher Protokollführung. Vereinzelt wurde auf Skizzen vergessen und auch die Hypothesen fielen bei manchen Gruppen etwas unpräzise aus (z.B.: Hypothese: „eine Reaktion“).

Darüber hinaus sollten die Lernenden eines ihrer Experimente und dessen Ergebnis vor der Klasse in Zuge einer zweiminütigen Flipchart-Präsentation vorstellen. Da ein beachtlicher Anteil der Partizipanten nur an der zweiten Doppelstunde teilnahmen und diese daher keine Chance zur Exploration der Thematik in der Woche davor hatten, wurde bei jener Personengruppe von einer Präsentation abgesehen. Wie bereits bei der Protokollauswertung wurde gleichermaßen auf eine zweifache Nennung identer präsentierter Experimente verzichtet:

- Hervorrufen eines künstlichen Kurzschlusses mit dem Ziel ein Teelicht zu entzünden
- Entmagnetisierung eines Aluminiumdrahts durch Erhitzen mit einem Handbrenner
- Entfernung von Rost auf einer Münze durch eine Mischung aus Kochsalz und Speiseessig
- Vergleich: Schmelzen von Aluminiumfolie und Zuckerwürfel
- Schmelzpunktuntersuchung von einer Reihe unterschiedlicher Münzen

Die Plakate folgten in einigen Instanzen den Protokollrichtlinien, obwohl diese für die Präsentationen nicht strikt vorgegeben waren. Aus den Präsentationsthemen geht hervor,

dass nur ein Bruchteil der chemischen Eigenschaften von Metallen durch die Schüler*innen angesprochen und an ihre Kolleg*innen weitergegeben wurde.

6.4. Resultate aus den Beobachtungsbögen

Der Beobachtungsbogen wurde von der Klassenlehrperson im Zuge der Hospitation jeweils in allen vier Doppelstunden ausgefüllt. Zu den sieben Statements des Instruments sollte die hospitierende Person ihren Grad der Zustimmung mit einer Zahl von 1 (trifft überhaupt nicht zu) bis 10 (trifft vollkommen zu) ausdrücken. Im nun Folgenden werden die geschilderten Eindrücke aus den Bögen beschrieben:

Aus den quantitativen Resultaten des Beobachtungsbogens geht hervor, dass die Lernenden den Ablauf der Einheit klar verstanden zu schienen ($\bar{x}$ = 9,25 ; SD = 0,96 ; M = 9,5). Die Lernenden begannen sofort zu arbeiten, jedoch wurden einige der aufgestellten Sicherheitsregeln (z.B. Haare zusammenbinden) im Laufe der Zeit vergessen und mussten wiederholt durch die Lehrperson eingefordert werden. In der zweiten Doppelstunde begannen alle Schüler*innen umgehend konzentriert zu arbeiten an.

Die Eingebundenheit der Lernenden wurde im Schnitt mit $\bar{x}$ = 9,5 (SD = 0,87 ; M = 10,0) angegeben. Die Schüler*innen wurden sehr effektiv durch die Lehrperson in den Arbeitsverlauf miteingebunden. Ein Blick auf die Gruppen selbst deutet darauf hin, dass die Beteiligung innerhalb der Konstellationen leicht variierte und leistungsstärkere Lernende die Teamleitung übernahmen. Die spontane Gruppenteilung zwischen Schüler*innen, welche bereits in der ersten Woche Versuche unternommen haben und neu dazugekommene Kommiliton*innen führte zu einem reibungslosen Ablauf, in welchem alle an etwas arbeiten konnten. Ein um dreißig Minuten unentschuldigt verspäteter Schüler verabsäumte als Einziger die Mitarbeit in der zweiten Stunde trotz sofortiger Zuteilung zu einer Gruppe.

Der problemlose Umgang mit den Gegenständen der Materialtische wurde mit $\bar{x}$ = 8,5 (SD = 1,29 ; M = 8,5) evaluiert. Leistungsstärkere Gruppen schienen kein Problem bei der Planung eines eigenen Experiments basierend auf den zur Verfügung stehenden Utensilien zu haben, während hingegen eine leistungsschwächere Gruppe Hilfestellungen für die Veränderung von Parametern innerhalb ihres Experimentes benötigte. Einige Lernende brauchten eine erneute Sicherheitsunterweisung in der Handhabung von Handbrennern und dem Erhitzen von Feststoffen und Flüssigkeiten. In der zweiten Doppelstunde zeigten die Gruppen eine sehr

selbstsichere Arbeitshaltung, sowohl im Erarbeiten von Inhalten als auch in der Arbeitssicherheit.

Aus den Beobachtungen geht hervor, dass das forschende Lernen bei den Schüler*innen eine visuell vernehmbare emotionale Reaktion auslöst ($\bar{x}$ = 9,75 ; SD = 0,5 ; M = 10,0). Die Lernenden wirkten sichtlich begeistert über das Programm zum freien Arbeiten. Untersuchungen zur Wärmeleitung führten zu heftigen Diskussionen, andere Versuche zum Magnetismus brachten eine Gruppe zum Erstaunen. Ein Team war von der Struktur von Eisenpulver angetan und wollte dieses Zeichnen, während ein Anderes sich auf die Internetrecherche der NaCl-Struktur begab, um eine hochwertige Illustration über den Lösungsvorgang von Rückständen auf der Münze anfertigen zu können. In den zweiten Doppelstunden wirkten die Gruppen bestrebt, ihr bestes Experiment stolz der Klasse zu präsentieren und ein „sehr gut“ mit Hilfe des Plakats zu erzielen[3].

Der Unterricht vermittelte den Eindruck, dass der Schwierigkeitsgrad für die Schüler*innen angemessen wirkt ($\bar{x}$ = 9,0 ; SD = 0,82 ; M = 9,0). Das freie Experimentieren führte zur intensiven Beschäftigung mit Flammenexperimenten, dessen Ergebnisse für die Schüler*innen zunächst unklar erschienen, jedoch zum Stellen weiterführenden Fragen anregten. Eine Gruppe von Schüler*innen benötigte Hilfestellungen bei der Fortsetzung ihres Experiments, weil sie noch selbst keine Ideen zur Adaption ihrer eigenen Versuche bilden konnten. Während der Präsentationsvorbereitung in der zweiten Sequenz beschrieben sich die Mitglieder eine Gruppe bereits gegenseitig die Ergebnisse zur Wiederholung. Als Folge der Experimente in der vorherigen Einheit fand ein erkennbarer Reflexionsprozess über die Ergebnisse statt. Einige Lernende fanden mit Hilfe von einzelnen Verständnisfragen nachträglich eigenständig naturwissenschaftliche Erklärungen für ihre Beobachtungen.

Die Zusammenarbeit innerhalb der Gruppen erfolgte effektiv und zielorientiert ($\bar{x}$ = 9,25 ; SD = 0,96 ; M = 9,5). Durch die Arbeitsteilung mittels der Rollenkärtchen und einer gruppenintern entschiedenen Aufteilung der individuellen Arbeitsschritte verblieben mehr Möglichkeiten zur Diskussion über Variationen der geplanten Experimente. In einer Gruppe beteiligte sich ein Schüler am Geschehen nicht, obwohl seine Kolleg*innen an einem Versuch und dessen Protokollierung arbeiten. In der zweiten Einheit schienen die Schüler*innen in den Gruppen

[3] Anmerkung: Es wurde keine Bewertung durch den Verfasser dieser Arbeit angekündigt oder durchgeführt. Die eigentliche Klassenlehrperson inkludierte die Leistungen in die allgemeine Mitarbeit.

sehr gut miteinander bei der Arbeit zu synergieren, jedoch findet ein Schüler, der erst in der Mitte der Arbeitsphase erschienen ist, in seiner zugeteilten Gruppe wenig Anschluss.

Abschließend geht noch aus den Beobachtungen hervor, dass die Schüler*innen bei ihrer Arbeit sehr motiviert wirkten ($\bar{x}$ = 9,25 ; SD = 0,96 ; M = 9,5). Bereits die Erläuterung über den Arbeitsmodus brachte positive Reaktionen hervor („Hey cool!“) – eine Begeisterung, die zumindest über 90 Minuten anhielt, bevor bei den ersten die Konzentration nachließ und zum Handy gegriffen wurde. In der zweiten Doppelstunde zeigten viele Gruppen ein reges Forschungsinteresse und Motivation, um Erklärungen für ihre Beobachtungen zu finden. In der Präsentationsphase sowie dem Theorieabschnitt hörten sehr viele Lernende interessiert zu und diskutierten intensiv die Antworten zu ihren gestellten weiterführenden Fragen aus den Protokollen. Nur eine Person erschien bereits zu Beginn der Einheit sehr erschöpft und zog sich vollständig während der Diskussionen zurück.

7. Diskussion

Das abschließende Kapitel will durch seine kritische Reflexion der Resultate vorsichtig Schlüsse über das Potenzial forschenden Lernens für den österreichischen NaWi-Unterricht ziehen, Parallelen bzw. Kontraste zu anderen Studien sowie den erhobenen Erfahrungen aus dem Experteninterview aufzeigen und Handlungsempfehlungen für eine effektivere Implementierung basierend auf den vorliegenden Daten suggerieren.

7.1. Interpretation der Resultate aus dem allgemeinen Teil des Fragebogens

Im allgemeinen Teil der Datenerhebung wurden die Forschungsresultate zur Untersuchung des Einflusses forschender Lernerfahrungen auf die Lernmotivation und Selbstwahrnehmung in Bezug auf den naturwissenschaftlichen Unterricht erfasst. Zusätzlich untersuchten die Fragestellungen auch die Veränderung der Wahrnehmung über die Anwendbarkeit chemiebezogener curricularer Inhalte aus dem NaWi-Unterricht. Damit behandelt der allgemeine Teil die Exploration der zweiten und dritten Forschungsfrage dieser Arbeit.

Die Gesamtheit der Resultate zu den Motivationsvariablen bestätigt die Hypothese zur zweiten Forschungsfrage, jedoch unter Vorbehalt fehlender statistische Signifikanz. Es konnte daher zwar eine Förderung der Lernmotivation und Selbstwirksamkeit aufgrund des erhöhten Grades an Autonomie in dieser spezifischen Gruppe von Lernenden festgestellt werden, jedoch ist das Ergebnis nicht repräsentativ. Jegliche Schlüsse dieser Arbeit auf den allgemeinen Forschungsdiskurs sind daher nur mit Vorsicht zu ziehen.

Die Resultate zur Befragung der persönlichen Leistungseinschätzung im Unterrichtsfach NaWi suggerierten ein neutrales bis leicht positives Vertrauen der Lernenden in die eigenen Fähigkeiten bereits vor der Intervention, welches durch das forschende Lernen minimal angehoben werden konnte. Naturwissenschaften werden erfahrungsgemäß als tendenziell herausfordernd angesehen, jedoch könnte die neutrale Haltung der Lernenden auf die bereits absolvierten Unterrichtserfahrungen in ihrer bisherigen Schulhistorie zurückzuführen sein. Anders erscheint jedoch das Interesse der Lernenden an den chemischen Inhalten des Faches, welches einen komparativ höheren Wert zur Selbsteinschätzung trägt und auch in absoluten Zahlen etwas mehr von der Unterrichtserfahrung profitieren konnte. Im Gegensatz zum Prätest (M = 4,0) erwogen nach den Sequenzen die meisten Schüler*innen die Zahl 5 von 6 als passende Einschätzung ihres Interesses, welches einer sehr deutlichen Neugier gegenüber der Unterrichtsmaterie entspricht.

Besonders stachen die Ergebnisse der dritten bis sechsten Fragestellung heraus: Einerseits impliziert die Datenlage, dass freies Experimentieren im NaWi-Unterricht zu großer Freude führt und die Intervention kollektiv diesen Effekt noch verstärken konnte, andererseits deuten die leichten Fluktuationen in den Ergebnissen der vierten Fragestellung auf eine verstärktes Angstgefühl hin, obgleich das Gefühl der Überforderung insgesamt bei den Schüler*innen sank. Ebenso reduzierte sich auch der Wert der Präferenz frei zu arbeiten gegenüber angeleitetem Experimentieren. Aufgrund der vorgefundenen logischen Diskrepanz wurden die Daten im Detail nach Klasse verglichen und alle Fragen mit besonderen Unterschieden in den Einzelresultaten der Klassen hervorgehoben. Daraus kristallisierten sich zwei entgegensetzte Trends heraus, welche die Intervention bei den Schüler*innen hervorgerufen hat: Klasse 1AA empfand deutlich mehr Freude über das freie Experimentieren und bevorzugte daher diese Form des Unterrichts auch mehr, jedoch verspürte sie auch im Mittel mehr Angst davor frei zu experimentieren. Klasse 1BA hingegen startete zwar von einem weitaus höheren Mittelwert in Bezug auf ihre Begeisterung für das forschende Lernen, jedoch sank dieser Wert im Posttest. Dieser Effekt konnte auch für die anderen beiden genannten Werte festgestellt werden. Damit zeigten die Ergebnisse von Klasse 1AA Parallelen zu der Studie von Reitinger (2012a), während die Reaktion von Klasse 1BA mit den Erkenntnissen von Neber und Anton (2008) einher gehen. Eine Annahme, welche diese Entwicklung erklären könnte, ist möglicherweise eine unterschiedliche Wahrnehmung der Klassen über den Unterricht trotz der identen Abhandlung dessen. Klasse 1AA entgegnete initial dem forschenden Lernen mit einer weniger begeisterten (jedoch immer noch positiven) Einstellung als Klasse 1BA und konnte sich für das forschende Lernen enthusiasmieren lassen, jedoch hat ihre forschende Lernerfahrung auch ein Bewusstsein für die Komplexität und Arbeitsintensivität des Forschungszyklus geschaffen, welche jedoch als willkommene Herausforderung wahrgenommen wurde. Anders jedoch vermochte es in der Klasse 1BA gelaufen zu sein, welche eine höhere Grunderwartung gegenüber dem Format entgegenbrachte und durch die forschende Lernumgebung womöglich etwas entzaubert wurde, wodurch Freude, Angst, aber auch Interesse am freien Arbeiten allesamt sanken. Gleichzeitig wurden aber auch von der 1BA mehr Posttests von Lernenden abgegeben, welche aufgrund ihres Fehlens in der ersten Einheit zusätzliche Hilfestellungen in der präexperimentellen Phase und eine Verringerung der kognitiven Komplexität erfuhren. Die reduzierte Begeisterung und Bereitschaft zum freien Experimentieren widerspricht damit

Neber und Antons (2008) Resultaten ihrer zweiten Studie, da durch Verminderung des Anforderungsniveaus eigentlich ein Zuwachs zu erwarten gewesen wäre. Ein weiteres Fragezeichen gibt auch die Einigkeit der Klassen darüber, dass sie sich nach der Intervention weniger überfordert fühlten, auf. Während dieses Resultat grundsätzlich aus pädagogischer Perspektive sehr zu begrüßen ist, so bedarf es daher in Klasse 1AA einer genaueren Inspektion, woher das gesteigerte Angstgefühl seinen Ursprung entstammt, sofern eine Überforderung durch extensive Autonomie auszuschließen wäre. Mögliche Faktoren, welche zur Haltung zum forschenden Lernen beitragen und Aufschluss über diese Daten geben könnten, betreffen ein potenziell unzureichendes Vertrauen zur Lehrperson, ein schwaches Vorwissen bei den Schüler*innen oder allgemein zu wenig Erfahrung der Lernenden mit selbstgesteuerten Lernvorgängen. Vorwissen erscheint dem Experteninterview zufolge (Abschnitt 9) ein ganz wesentlicher Faktor bei der erfolgsbringenden Implementierung freien Experimentierens zu sein. Konträr zur Wahrnehmung der Lehrperson aus dem Unterrichtseinstieg ließ sich das Vorwissen der Schüler*innen zu den Metallbindungseigenschaften und der Metallbindung selbst im Prätest unzureichend feststellen. Dies würde jedoch wiederum eine Überforderung suggerieren, welche sowohl von den Lernenden im allgemeinen Teil der Datenerhebung als auch den Ergebnissen der direkten Beobachtungen aus den Beobachtungsbögen nicht hervorgebracht wurde. Es sind daher die anderen genannten Kriterien als eventuale Faktoren für die Diskrepanz in den Ergebnissen zu erwägen, da sich sowohl die bisherigen Lernerfahrungen im offenen Unterrichtsformat als auch die gemeinsame Arbeit mit der Lehrperson auf die wenigen Stunden der universitär bedingten Masterpraxis limitierten. Unabhängig davon unterstreichen jedoch insgesamt die Resultate, dass forschendes Lernen explizit von der Klasse und den individuellen Lernenden-Kompetenzen abhängig ist. Forschendes Lernen kann nicht als eine Blaupause zur Förderung selbstbestimmten Wissens- und Motivationsaufbaus verstanden werden, welche in gleicher Manier auf jeden Klassenverband angewendet werden kann. Es bestätigt sich daher der Bedarf einer zielgerichteten Planung, welche auf die Bedürfnisse und Fähigkeiten der jeweiligen Klasse abgestimmt ist, um möglichst gewinnbringend die forschende Lernumgebung zu gestalten.

Uniformere Ergebnisse zwischen den Klassen betrafen die Variablen des Selbstvertrauens sowie der Motivation über Chemie zu lernen und mehr im naturwissenschaftlichen Unterricht beizutragen. Die Intervention schien das sowohl das Selbstvertrauen als auch die Motivation in Bezug auf chemische Inhalte und den naturwissenschaftlichen Unterricht maßgeblich zu

steigern. Einhergehend verbesserte sich auch die Motivation sich am NaWi-Unterricht aufgrund der eigenen Untersuchungen mehr zu beteiligen. Das letztgenannte Ergebnis erscheint überraschend, wenn es in Relation zur vorgefundenen reduzierten Präferenz zum freien Arbeiten gesetzt wird. Eine denkbare Interpretation hierzu wäre, dass eigene Untersuchungen orientiert am persönlichen Interesse von den Schüler*innen durchaus begrüßt werden, jedoch die Hilfestellungen im Arbeitsprozess als ebenso essenziell angesehen werden.

Die Resultate des zweiten Aussagenblocks unterstreichen die vorgefundenen Daten zur Präferenz frei zu experimentieren. Während grundsätzlich die Euphorie über den Instruktionsansatz anhielt und sowohl im Prätest als auch im Posttest nur eine Person das forschende Lernen ablehnte, konnte ein Wandel in der bevorzugten Frequenz in Richtung weniger regelmäßigen freien Experimentieren festgestellt werden. Dies geht abermals einher mit den Daten aus Neber und Anton (2008), welche vermuteten, dass das gewonnene Bewusstsein über den Aufwand eines Forschungsprozesses Lernende etwas davor abschreckte. Die Person, welche das forschende Lernen grundsätzlich verneinte, begründete ihre Entscheidung damit, dass sie Gruppenarbeit über dem freien Experimentieren bevorzugte. Es ist zu vermuten, dass hierbei das konventionelle Experimentieren in Gruppen während der Nachmittagslaboreinheiten gemeint ist, da im Rahmen der Intervention durchgängig in Gruppen gearbeitet wurde.

Der abschließende Abschnitt im allgemeinen Teil der Datenerhebung beschäftigte sich mit der Anwendbarkeit chemischen Wissens aus dem naturwissenschaftlichen Unterricht. Dahingehend konnte die Hypothese zur dritten Forschungsfrage mit demselben Vorbehalt fehlender statistischer Signifikanz bestätigt werden.

In dieser Rubrik wurde nach der Intervention eine Steigerung in allen Fragestellungen festgestellt: Die Lernenden zeugten von ihrer Zustimmung darüber, dass chemisches Wissen „sehr hilfreich“, sowie „im Alltag immer gut“ anwendbar ist und deuteten das freie Experimentieren als einen maßgeblichen Prädikator für die sinnvolle Anwendung des Wissens aus dem NaWi-Unterricht. Dies weist darauf hin, dass die Problemlöseorientierung forschenden Lernens bei den Schüler*innen dazu beitrug, Anwendungsmöglichkeiten für das erworbene Wissen zu ergründen und damit ihr Faktenwissen in Richtung vollständiges Wissen in Ansätzen zu erweitern. Anders als bei der Anwendung von Wissen akkreditieren nach der

Intervention die Lernenden jedoch dem forschenden Lernen die Eigenschaft, Inhalte besser memorabel oder greifbar zu machen, zu einem geringeren Anteil. Damit widersprechen die Erfahrungen der Lernenden nicht nur den Resultaten aus dem fachlichen Teil (siehe Kapitel 6.2.), sondern auch den Erfahrungswerten der Lehrperson aus dem Experteninterview und den Ergebnissen von Wagner (2019) und Iryani et al. (2021). Man könnte diese Repugnanz auf die geringe Anzahl an in den Klassen unterrichteten Einheiten mittels forschendem Lernen, sowie der zeitnahen Befragung durch den Posttest zurückführen, wodurch ein langfristiger Wissenserwerb noch nicht abgeschätzt werden kann.

Unter allen Ergebnissen des ersten Abschnitts der Datenerhebung konnte nur in Frage 2.4 zur Anwendung im Alltag ein signifikanter Effekt nachgewiesen werden. Für alle anderen Resultate konnte der t-Test keine aussagekräftige Relation bekräftigen. Es ist zu vermuten, dass die Ursache hierfür einerseits an der niedrigen Anzahl der Partizipanten der Studie liegt, andererseits auf die stark unterschiedlichen Schüler*innen-Gruppen in den beiden Unterrichtseinheiten zurückzuführen ist (siehe Kapitel 5.7.3.). Während die kurzfristig entschiedene Gruppentrennung in der zweiten Doppelstunde zu einer forschenden Lernerfahrung für alle Lernende geführt hat, haben die unzähligen Krankheitsfälle sowie auftretende Verspätungen im Unterricht der Reliabilität der Studie trotzdem erheblich geschadet. Es gilt dabei zu betonen, dass die Untersuchung nach bestem Ermessen unter den gegebenen Umständen durchgeführt wurde und diese Arbeit das Ergebnis dieser Umstände mit widerspiegelt.

7.2. Interpretation der Resultate aus dem fachlichen Teil des Fragebogens

Der empirische Teil der Datenerhebung untersuchte die Effektivität des selbstbestimmten Wissenserwerbs vor und nach den unterrichteten Doppelstunden. Dabei wurde sowohl auf die Überprüfung von Faktenwissen als auch Transferwissen in der Konstruktion des Fragebogens geachtet. Der empirische Aspekt dieser Arbeit adressiert damit die Hypothese zur ersten Forschungsfrage.

Insgesamt ist ein selbstbestimmter Wissenserwerb durch die Intervention festgestellt worden, welcher auch als statistisch signifikant nachgewiesen werden konnte. Damit konnte bei dieser Lernendengruppe ein positiver Effekt auf die Wissensaneignung durch eine offene Lernumgebung gezeigt und die Ergebnisse von Dachauer (2022) und Wagner (2019) bekräftigt werden. Anders als bei Wagner (2019) beschäftigte sich diese Studie nicht nur mit

konzeptionellem Wissen, sondern auch der Förderung und Erfassung von prozeduralem und epistemischen Wissen durch die Protokollführung und der Auswertung von Experimenten. Obwohl die beiden letztgenannten Wissensformen nicht im Rahmen dieser Arbeit quantitativ erfasst werden konnten, zeigten viele Protokolle und Präsentationen vielversprechende Ergebnisse, die auf einen Wissenserwerb in Richtung vollständigen Wissens hinweisen.

In der dritten Frage des empirischen Teils sollten die Lernenden chemische Eigenschaften von Metallen auflisten. Sehr überraschend limitierte sich das Vorwissen fast ausschließlich auf zwei verschiedene Attribute: So konnten nur ca. ein Fünftel aller Schüler*innen die elektrische Leitfähigkeit und weniger als ein Sechstel aller Lernenden die Wärmeleitfähigkeit in Aufgabe 3 nennen. Andere Eigenschaften wurden sogar noch seltener aufgeschrieben, allen voran die Duktilität, welche auf keinem Prätest vorgefunden wurde. Dieses Ergebnis steht in starkem Kontrast nicht nur zu dem zu erwartenden Wissen, welches Kinder im Aufbaulehrgang nach mehreren Jahren naturwissenschaftlichen Unterricht in der Sekundarstufe II aufbauen sollten, sondern auch zu der prompten Deklarierung aller genannten Eigenschaften mit Ausnahme des Glanzes in der Einstiegsphase des Unterrichts. Dasselbe Wissen konnte auch bei den separierten Gruppen von Lernenden, welche nur an der zweiten Sequenz teilgenommen haben, ermittelt werden. Eine nachweisliche Begründung für diese Observation kann zwar nicht gefunden werden, jedoch sind Tagesverfassung und das schriftliche Erhebungsformat als potenzielle Stressquelle durchaus vorstellbare Faktoren, welche die Resultate des Prätests beeinflussen haben könnten.

In den Posttest-Ergebnissen war ein Anstieg in allen Kategorien feststellbar, obgleich dieser für die Kategorien „metallischer Glanz“, „hoher Siede- und Schmelzpunkt“ und „magnetische Eigenschaften unbedeutend klein erfolgte. Besonders ist hingegen die Duktilität hervorzuheben, welche fast von der Hälfte der Lernenden in der zweiten Erhebung genannt wurde. Die erhöhte Häufigkeit der Antworten thermische bzw. elektrische Leitfähigkeit und Duktilität, sowie die nahezu unverändert gebliebenen Ergebnisse zum metallischen Glanz in Aufgabe 3 spiegeln auch die unternommenen Experimente der Lernenden wieder. Dem ist jedoch entgegenzusetzen, dass die vielen Versuche, metallische Gegenstände zum Schmelzen zu bringen zu keinem maßgeblichen Lerneffekt geführt haben. Ebenso verblieb auch ein Wissenserwerb zu den magnetischen Eigenschaften von Metallen größtenteils aus. Dieses Ergebnis erschien überraschend, da in den Schüler*innen-Präsentationen auch ein

Experiment zum Thema Magnetismus präsentiert wurde. Es ist daher zu vermuten, dass in der Nachbesprechung zu den chemischen Eigenschaften nicht ausreichend zeitliche Ressourcen zum Magnetismus von Metallen aufgewandt wurden.

Ebenfalls rätselhaft erscheint, dass der hohe Schmelz- und Siedepunkt von Metallen im Posttest nur selten genannt wurde, obwohl dies eine Eigenschaft von zentralem Interesse für mehrere Gruppen gewesen ist. Es ist zu mutmaßen, dass das Ausbleiben einer visuell erfassbaren Aggregatszustandsänderung des Metalls durch Wärmezufuhr mittels Handbrenner als keine eigene chemische Eigenschaft von den Schüler*innen verstanden wurde.

Die meisten Punkteverluste in der Aufgabe 3 sind allerdings auf fehlende Antworten zurückzuführen. Unter den wenigen als inkorrekt gewerteten Rückmeldungen wurden unter anderem die Nukleonen sowie metallische Elemente genannt.

In der darauffolgenden Aufgabe wurden beide Antwortrubriken in nahezu allen Prätests leer gelassen. Im Posttest hingegen konnte nahezu die Hälfte der Schüler*innen bei der Skizzierung punkten. Prominente Fehlerquellen bei der Zeichnung bestanden darin, dass von vier Personen statt einer Metallbindung ein Ionengitter ohne frei bewegliche Elektronen illustriert wurde. Eine Abgabe inkludierte stattdessen die Abbildung eines Atoms. Die Verwechslungen sind darauf zu schließen, dass mit den Lernenden kürzlich vor der Intervention über die Ionen- und Atombindung intensiv behandelt wurde und dies womöglich zu einer fehlenden Abgrenzung der Bindungs- und Atomstrukturen und einer Vermischung der Konzepte geführt hat. Ebenfalls ist in dieser Hinsicht die Studie von Taber (1998) zu nennen, welche similäre Schwierigkeiten in der Differenzierung von ionischen, kovalenten und metallischen Bindungen festgestellt hat. Bemerkenswert war jedoch die Rücksichtnahme auf die Größenverhältnisse zwischen Atomrümpfen und freien Elektronen bei den fachlich korrekten Skizzen, wie es bereits in den Concept Cartoons während der fachtheoretischen Behandlung hervorgehoben wurde.

Bei der Beschreibung der Zeichnung konnten weniger Schüler*innen einen Punkt erzielen als bei der Skizzierung der Metallbindung. Ein Großteil der eingereichten Antworten konnte gewertet werden, allerdings zeichnete sich Aufgabe 4 auch im Posttest durch viele leergelassene Antwortfelder aus. Da diese Aufgabe von den Schüler*innen verlangt, auf der submikroskopischen Ebene zu überlegen, geht ein hohes Schwierigkeitslevel von ihr aus. Der

Sprung in die submikroskopische Ebene erfolgte erst in der Theoriephase der letzten halben Stunde der Intervention, wodurch nicht nur Lernende, welche nur am Ersttermin teilgenommen haben, erhebliche Schwierigkeiten bei der Beantwortung gehabt hatten, sondern auch diejenigen, dessen Konzentration bereits zu diesem Zeitpunkt am Schwinden war.

Die Beantwortung der abschließenden fünften Fragestellung setzte den Wissenstransfer von der submikroskopischen Modellvorstellung der Metallbindung zur Eigenschaft der Wärmeleitfähigkeit voraus. Damit wurde ein hoher Anspruch an die Lernenden gesetzt, welcher durch das single-choice Antwortformat jedoch etwas ausgeglichen wurde. Die Herausforderung bestand darin, die plausibel klingende Antwort B, welche gegenseitige Anziehung als Mittel zur Übertragung von Wärme suggerierte, auszuschließen. Um diese Aufgabe zu lösen waren die Informationen aus dem theoretischen Aufklärungsteil der Intervention bzw. den bereits erlernten physikalischen Grundlagen zur Teilchenbewegung ausschlaggebend. Damit ist auch zu begründen, warum sich die Anzahl derjenigen, welche sich im Prätest für die irreführende Antwort B entschieden haben, im Posttest halbierte und stattdessen mehr als die Hälfte der Lernenden die richtige Erklärung erkannte. Enigmatisch erschien die Wahl von Antwort C (keine Wärmeleitfähigkeit) einer Person, welche gleichzeitig die thermische Leitfähigkeit als Metalleigenschaft in Aufgabe 3 genannt hat. Darüber hinaus impliziert die repräsentative Anzahl an Mehrfach-Antworten im single-choice Format, dass bei der fünften Aufgabe durch die Angabenformulierung ein Verständnisproblem für einige aufgetreten ist. Eine denkbare Deutung wäre eine Schwäche der Lese- und Sprachkompetenz seitens der Lernenden, da die Erhebung nicht in der Erstsprache der meisten Schüler*innen gehalten wurde. Eventuell wäre aber auch eine Reformulierung wie beispielsweise „Kreuzen Sie die einzige richtige Aussage an“ sinnvoll gewesen, um das Antwortformat für die Lernenden transparenter zu gestalten. Ergänzend zur Beantwortung der Aufgabe 5 sollten die Lernenden auch aus drei Vorschlägen auswählen, wie sicher sie sich über die Richtigkeit ihrer Entgegnung sind. Obwohl noch in der Hälfte aller Rückmeldungen des Posttests das Mittelmaß „Ich bin mir eigentlich nicht ganz sicher“ ausgewählt wurde, fühlten sich nach der Intervention zusätzliche 6 Personen bereits sehr überzeugt über ihre Wahl der Antwort in Aufgabe 5. Es ist davon auszugehen, dass der Unterrichtsstoff noch mehr Gelegenheiten zur Wiederholung benötigt hätte, um die Selbstsicherheit diesbezüglich weiter zu erhöhen.

Insgesamt konnte für die tendenziell schwachen Leistungssteigerungen im fachlichen Teil trotzdem ein signifikanter Effekt durch die Intervention nachgewiesen und die aufgestellte Hypothese bestätigt werden. Die Lernenden zeigten zwar deutliche Fortschritte zu den Transferaufgaben, konnten jedoch unerwarteterweise bei der grundsätzlichen Nennung von Metalleigenschaften die Erkenntnisse aus dem Plenum nicht in einen markanten Wissenszuwachs überführen. Knapp mehr als die Hälfte der Partizipanten erzielten drei oder weniger Punkte und lagen damit unter dem Durchschnitt der gesamten Gruppe. Die Punkteverteilung der Lernenden suggeriert eine Spaltung zwischen den zwei Faktionen der leistungsstärkeren und leistungsschwächeren Schüler*innen. Eine Erklärung hierfür wäre, dass ein substanzieller Anteil von Lernenden durch die vielfältigen Anforderungen des eigentlichen Forschungsprozesses bereits so eingenommen war, dass ein Lerneffekt beim Faktenwissen ausständig blieb.

Abgesehen von den Untersuchungsumständen sind noch andere Faktoren für die ausgebliebene statistische Signifikanz der Resultate im allgemeinen Teil der Datenerhebung und die durchwachsenen Leistungen im empirischen Abschnitt zu nennen. Die intendierte Verbindung der Konzepte des forschenden Lernens und der freien Arbeit führte zu einer Lernumgebung, die sich bereits Level 3 annäherte. Die Anforderungen dieser stellten sich trotz mehrjährigen Unterrichts in Naturwissenschaften inklusive Laborunterricht für die in Bezug auf das forschende Lernen noch unzureichend erfahrene Gruppe von Schüler*innen, ungeachtet von deren persönlichen Einschätzungen, als weit über deren Kompetenzlevel heraus, wodurch sowohl der selbstbestimmte Wissenserwerb als auch die Steigerung der Motivationsvariablen (Lernmotivation und Selbstwahrnehmung) nur bedingt stattfinden konnten. Daher möchte diese Arbeit basierend auf den analysierten Daten Vorschläge zur Sublimierung des Unterrichtskonzeptes hervorbringen, welche die Effektivität des forschenden Lernens potenzieren könnten:

- Mehrmalige Erprobung einzelner Schritte des Forschungszyklus, bevor diese zu einem größeren Ganzen kombiniert werden
- Herabsetzung des Inquiry-Levels auf Level 1 bis 2 für alle Schüler*innen
- Entlastung der Protokollarbeit durch Arbeitsblätter, welche bereits die Protokollstruktur vorgeben

Idealerweise sollten die Lernenden auf eine offene Lernumgebung hintrainiert werden. Hierfür können einzelne Schritte eines Forschungszyklus den Lernenden übertragen werden (z.B.: Lehrpersonenexperiment mit einhergehender Aufstellung einer Hypothese durch die Schüler*innen), um die Schüler*innen auf die Bedeutung dieser Schritte aufmerksam zu machen und diese stufenweise zu automatisieren. Sollte bereits etwas Erfahrung vorhanden sein, so könnten durch eine Reduktion des Komplexitätslevels mehrere Aspekte des Forschens miteinander kombiniert werden, ohne dass Lernende den Fokus auf den Forschungs- oder Fachwissensaspekt ihrer Tätigkeit aufgrund von Überforderung verlieren. Dies könnte beispielsweise durch eine klare Aufgabenverteilung erfolgen, in welcher Gruppen zunächst per Losverfahren eine zu untersuchende Eigenschaft und Materialvorschläge zugeteilt bekommen. Eine Unterteilung birgt auch den Vorteil, dass alle Metalleigenschaften dadurch im Unterricht behandelt werden können.

Aus den Beobachtungsbögen ging auch hervor, dass die schiere Menge an Richtlinien (Arbeitsvorschrift, Protokollvorschrift, Sicherheitsvorschrift) zu viel auf einmal viele Lernende erschien und dadurch einige Regeln schnell in Vergessenheit gerieten. Es wäre daher ratsam, ergänzend zur Einteilung der zu untersuchenden Eigenschaften, auch Arbeitsblätter mit vorgegebenen Strukturen für die Protokolle zu implementieren, um die Last der zahlreichen Protokollrichtlinien zu reduzieren und den Fokus auf den Erkenntnisgewinn zu richten. Im Rahmen einer Protokollrubrik zu offenen Fragen können Problemstellungen durch die Schüler*innen generiert werden, die mit angepassten Hilfestellungen in Folgestunden auf einem höheren Offenheitsgrad (sofern von den Lernenden erwünscht) bearbeitet werden können. In der Gesamtheit ergibt sich die Sinnhaftigkeit der vorgeschlagenen Adaptionen aus den Bedürfnissen und Fähigkeiten der jeweiligen Klassen bzw. den für sie verfügbaren (Zeit-)Ressourcen.

Nichtsdestotrotz ist auch zu erwähnen, dass die Erhebung des Fachwissens sich auf die Erfassung chemischen Wissens beschränkt hat. Die empirische Untersuchung erfasste nicht den prozeduralen Wissenserwerb über den allgemeinen Forschungsprozess und konnte daher unzählige bemerkenswerte Leistungen, welche während der Intervention passierten, nicht berücksichtigen. Dies betrifft unter anderem eine nachvollziehbare Protokollführung, sowie die Planung, Durchführung und Parameteradaption von Untersuchungen. In dieser Hinsicht stach eine Gruppe besonders hervor, welche die Entzündung einer Kerze über einen

künstlichen hervorgerufenen Kurzschluss untersuchte. Sie erstellte im Verlauf einer Doppelstunde eine Versuchsserie aus fünf verschiedenen Lösungsansatzen basierend auf ihren erarbeiteten Erkenntnissen und protokollierte jeden dieser separat. Dies entspricht einem immensen, nicht erfassten prozeduralen Wissenszuwachs, welcher durch den gezielten Fokus der Studie auf die Erfassung des fachlichen Wissenserwerb, auf den ersten Blick bezogen auf die Leistungsdaten verloren geht und daher für etwaige Beurteilungen über die Effektivität des Instruktionsansatzes in Evidenz gehalten werden sollte.

7.3. Interpretation der Beobachtungen seitens anderer Lehrpersonen

Die Auswertung der Beobachtungsbögen zeichnet ein ähnliches Bild zum forschenden Lernen wie die Selbsteinschätzungen der Lernenden in den Fragebögen. Entgegen den Überlegungen zu einer potenziellen Überforderung der Lernenden durch das hohe Komplexitätslevel der offenen Lernumgebung, wirkten die Lernenden überwiegend nicht mit der Aufgabenstellung überfordert und schienen eine klare Idee über den Arbeitsprozess zu haben. Dies geht womöglich darauf zurück, dass viele Lernende durch ihre bereits gesammelten Erfahrungen im Experimentalunterricht ein höheres Level an prozeduralen Fähigkeiten mitbrachten und sich daher auf andere Aspekte des Zyklus konzentrieren konnten. Einhergehend damit ist das beobachtete Kompetenzlevel über den nahezu problemlosen Umgang mit den Materialien. Diese Vermutungen würden jedoch wiederum den Deutungen der quantitativen Ergebnisse widersprechen, weswegen von einer Diskrepanz zwischen den Leistungen der Lernenden und den Beobachtungen dieser gesprochen werden kann.

Da die Lernenden Gruppenarbeit vom Laborunterricht gewohnt sind, schien es auch nicht erstaunlich, dass die soziale Eingebundenheit unter den Gruppen gegeben war. Die Rollenkärtchen zeigten sich als effektive Methode, um den Arbeitsprozess zu simplifizieren und die Lernenden schneller dazu zu bringen, mit ihrer Planung anzufangen. Um jedoch dem beobachteten Phänomen entgegenzuwirken, dass leistungsstärkere Schüler*innen die Gruppenarbeit allein tragen, könnte man auch diese zusammen in eine Gruppe situieren oder die Rollen direkt an die Lernenden verteilen, um sicherzustellen, dass auch leistungsschwächere Lernende mehr zum Experimentieren bzw. Protokollieren kommen.

Die Beobachtungen der emotionalen Reaktion zum forschenden Lernen zeigen Parallelen zu den Daten der motivationalen Variablen im Fragenbogen. Dadurch, dass Lernende im vorgegebenen Rahmen ihre Untersuchungen auf die persönlichen Interessen abstimmen und

den Lernprozess selbst steuern konnten, orientierte sich die Lernumgebung an der intrinsischen Motivation der Schüler*innen. Da jedoch einige nicht den vollen Umfang der Experimentierzeit konzentriert nutzen konnten, wäre eine stufenweise Hinführung, in welcher die Zeit für freie Arbeit graduell zunimmt, sinnvoll.

Das Schwierigkeitslevel der Lernumgebung wirkte laut den Beobachtungsbögen sehr passend für die Lernenden. Ausgehend von den fachlichen Leistungen wirkt diese Observation überraschend, jedoch konnten die Lernenden sich in prozeduralen Aspekten des Forschungszyklus erproben und in vielen dieser verbessern. Auch die Dichte an fortführenden Fragen auf den Protokollen weist darauf hin, dass ein effektiver Lernprozess bei den Schüler*innen stattgefunden hat.

7.4. Limitationen der Studie und Empfehlung für weitere Forschung

Der Auswertung dieser Arbeit gehen einige Limitationen voran. Diese Studie zeigte einen Zugang zum forschenden Lernen, welcher sich durch seinen hohen Offenheitsgrad an einer selbstgesteuerten Lernumgebung orientierte. Ähnlich den unzähligen Definitionen zum forschenden Lernen gibt es auch eine Myriade von Zugängen, um diesen Instruktionsansatz umzusetzen. Diese Arbeit versuchte einen Überblick über wesentliche Grundsätze zum forschenden Lernen zu schaffen, welche diese Zugänge vereinen und eine Variation davon empirisch anzuwenden. Es ist daher zu betonen, dass die Daten dieser Studie nicht repräsentativ für das forschende Lernen als Gesamtes gewertet werden können.

Forschendes Lernen zeichnet sich durch einen hohen Komplexitätsgrad und der lebensnahen Orientierung an den Lernenden aus. Es ist daher nicht verwunderlich, dass keine forschende Lernumgebung bzw. dessen hervorgebrachten Erkenntnisse auf den gesamten Bildungsdiskurs generalisierbar bzw. auf andere Schultypen und Klassen in identer Weise anwendbar ist. Dies wurde in den kontrastierenden Ergebnissen des allgemeinen Teils zwischen den Klassen 1AA und 1BA evident.

Aufgrund der Komplikationen während der Durchführung, sowie der grundsätzlich geringen Teilnehmeranzahl der Studie lassen sich ebenfalls alle Schlüsse dieser Arbeit nur vorsichtig ziehen. Zu viele Lernende fehlten während einer der beiden Doppelstunden, wodurch spontane Adaptionen in der Unterrichtsplanung vorgenommen werden mussten, dessen spürbarer Einfluss auf die Aussagekraft der Ergebnisse unverkennbar ist. Aus diesen Gründen

lassen sich die Schlüsse aus dieser Studie daher keinesfalls großzügig auf den österreichischen Schulkontext verallgemeinern.

Die empirische Erhebung dieser Arbeit fokussierte sich auf die Erörterung von fachlichem Wissen, jedoch umfasst forschendes Lernen im Unterrichtsfach Chemie bzw. Naturwissenschaften nicht nur fachspezifische Wissensaneignung, sondern auch die Erlernung von Forschungskompetenzen. Dieser Aspekt wurde zwar durch die Analyse von Lernprodukten (Protokoll, Präsentation) berücksichtigt, allerdings nicht quantitativ erfasst. Die vorliegenden Daten portraitieren daher nur einen Teil des tatsächlich stattgefundenen Lernprozesses durch die Intervention.

Aus diesen Limitationen ergeben sich aber auch Impulse für weitere Forschung in diesem Feld. Weiterführende Untersuchungen mit stabileren Forschungsverhältnissen bezüglich der Anwesenheit der Schüler*innen während der Erhebung und der Intervention, sowie einer größeren Vertrautheit mit der Lehrperson und dem Unterrichtsformat, können für den Bildungsdiskurs aufschlussreichere und statistisch aussagekräftigere Ergebnisse liefern.

Eine weitere Forschungslücke im Feld betrifft Studien, welche nicht forschendes Lernen punktuell, sondern als langfristigen Instruktionsansatz untersuchen. Durch eine sukzessive Erlernung des Forschungsprozesses über mehrere Semester können Forschungskompetenzen und fachliche Kompetenzen in einem verträglicheren Lerntempo angeeignet und damit potenzieller Überforderung entgegengewirkt werden. Eine Untersuchung des Einflusses forschendes Lernens auf die Lernmotivation à la longue orientiert sich an dem elementaren Ziel der Schule, der Etablierung des lebenslangen Lernens.

Ebenfalls interessant wäre die Anwendung forschenden Lernens in Folge einer theoretischen Aufarbeitung chemischer Inhalte. Während diese Intervention die Lernenden dazu veranlasste, induktiv auf Gesetzmäßigkeiten aufgrund ihrer phänomenologischen Eindrücke zu schließen, führt eine nachträgliche Forschung zu einer deduktiven Anwendung der Inhalte. Durch einen Vergleich zwischen induktiver und deduktiver Erarbeitung chemiebezogener Themen könnte sich eruieren lassen, welche curricularen Bereiche sich für einen induktiven bzw. deduktiven Ansatz tendenziell besser eignen.

Insgesamt erlebt der österreichische chemiebezogene NaWi-Unterricht nach wie vor im Kontrast zum regulären Chemieunterricht wenig akademische Aufmerksamkeit trotz der

hohen Anzahl an Schulen, welche die Naturwissenschaften als ein kombiniertes Fach unterrichten. Es ist daher wichtig, mehr Studien zum forschenden Lernen, welche mit anderen Zugängen, anderen Offenheitsgraden und anderen Themenbereichen im NaWi-Unterricht arbeiten, durchzuführen.

8. Conclusio

Diese Arbeit setzte sich das Ziel, die Evokation selbstbestimmten Wissensaufbaus im NaWi-Unterricht via forschendem Lernen quantitativ zu erfassen. Darüber hinaus verfolgte diese Studie den Einfluss forschender Lernerfahrungen auf die Untersuchungsvariablen der Lernmotivation und Selbstwahrnehmung von Kompetenz sowie auf die Schüler*innen-Wahrnehmung zur Anwendbarkeit chemischer Inhalte des NaWi-Unterrichts. Hierfür wurde eine offene Lernumgebung zwischen Inquiry Level 2 und 3 zum Thema Metallbindung nach dem Modell des freien Arbeitens geschaffen, in welcher Gruppen von Lernenden frei nach ihren Interessen eigenständige Untersuchungen zu Metallen und ihren Eigenschaften unternehmen konnten. Die Effekte der Intervention wurde durch einen Prätest und einen Posttest statistisch erhoben und mit Daten aus Beobachtungsbögen, einem Experteninterview und Lernprodukten der Schüler*innen ergänzt. Es wurde hypothetisiert, dass die Möglichkeit zum selbstbestimmten Wissensaufbau durch forschendes Lernen zu einem deutlichen Wissenszuwachs, einer Steigerung der Lernmotivation und Selbstwirksamkeit, sowie einem positiveren Zugang zum Alltagstransfer chemischer Inhalte aus dem Unterricht führen würde.

Die Resultate der Datenerhebung offenbarten eine leichte Leistungssteigerung der Lernenden beim Abruf von Faktenwissen in Bezug auf chemische Metalleigenschaften. Die Verbesserungen variierten jedoch stark zwischen den zu nennenden Eigenschaften wodurch evident wurde, dass die Wissensaneignung dieser wesentlichen Inhalte durch die Intervention nicht allesamt in derselben Qualität gefördert werden konnten. Ebenso führten die forschenden Lernerfahrungen dazu, dass mehr Lernende ein Modell der Metallbindung skizzieren und erklären konnten. Basierend auf dem Elektronengasmodell schafften mehr Schüler aufgrund der Intervention ihr Wissen anzuwenden und in einer Auswahl von drei möglichen Deutungen auf die fachkorrekte Erklärung der thermischen Leitfähigkeit von Metallen auch selbstsicherer zu schließen. Der empirisch erfasste Lerneffekt zeigte positive Tendenzen, jedoch auch noch viel Luft nach oben – es ist zu vermuten, dass die geringe Erfahrung der Lernenden mit Lernformaten hohen Offenheitsgrads dazu führte, dass sich die Schüler*innen auf den prozeduralen Arbeitsprozess stärker fokussieren mussten und dabei der sachfachlichen Wissensaneignung nur mehr limitiert Aufmerksamkeit geschenkt werden konnte. Dahingehend ist davon auszugehen, dass Lernende neben den empirisch ermittelnden Kompetenzen sich auch in ihren Forschungskompetenzen verbessern konnten,

obgleich dieser Zuwachs nicht quantitativ festgestellt wurde. Summa summarum konnte jedoch der hypothetisierte Leistungsanstieg in einem Lernsetting, welches selbstbestimmten Wissensaufbau ins Zentrum stellt, bestätigt und der positive Lerneffekt des forschenden Lernens demonstriert werden.

Die Untersuchung der Lernmotivation und Selbstwahrnehmung ergab einen erkennbaren Anstieg beider Variablen durch die Intervention. Die Lernenden zeigten deutliche Begeisterung und Interesse am forschenden Lernen, wurden sich jedoch auch des erheblichen Arbeitsaufwands des Formats bewusst. Ebenfalls konnte auch eine positive Veränderung bezüglich der Wahrnehmung der Anwendbarkeit chemischer Inhalte des NaWi-Curriculums festgestellt werden. Im Gegensatz zu den sachfachlichen Leistungen konnten die persönlichen Veränderungen der Lernenden größtenteils nicht statistisch signifikant belegt werden. Als naheliegende Ursache erscheinen die herausfordernden Umstände, unter welchen diese Forschung stattgefunden hat. Es gilt daher hervorzuheben, dass die Resultate der Untersuchung nur unter Bedacht der fehlenden statistischen Signifikanz die zugehörigen Hypothesen bekräftigen.

Es kann aus den Ergebnissen dieser Arbeit daher vorsichtig darauf geschlossen werden, dass forschendes Lernen durch seinen problemlösungsfokussierten Charakter zur Aneignung vollständigen Wissens, dem Entgegenwirken der Generation von inertem Wissen und dem effektiven Wissenstransfer in den außerschulischen Alltag beiträgt. Als komplexes Instruktionsformat fördert forschendes Lernen die Erarbeitung von konzeptuellem, prozeduralem und epistemischem Wissen und unterstützt damit das Erreichen einer vollumfassenden naturwissenschaftlichen Grundbildung. Gleichzeitig spricht forschendes Lernen auch Selbstwirksamkeit und Lernmotivation als tragende Prädikatoren für den Lernerfolg an und ebnet somit den Weg für die Verinnerlichung der Idee des lebenslangen Lernens. Diese Studie illustrierte aber auch die hohen Anforderungen des forschenden Lernens an die Lehrperson und die Schüler*innen und exemplifizierte die Notwendigkeit einer langfristigen Hinführung der Lernenden zum freien Arbeiten, da die schlagartige Zunahme an Autonomie bei den Schüler*innen sonst auch zu Überforderung führen kann. Diese Studie offenbart damit das hohe Potenzial forschenden Lernens, aber auch die Herausforderungen in der Etablierung einer selbstgesteuerten Lernumgebung.

Damit in Zukunft Ausbildung und Curricula den problemorientierten Unterricht und das forschende Lernen stärker in den Fokus rücken und dafür mehr zielgerichtete Materialien in den österreichischen Schulbüchern gedruckt werden, wäre weitere und langfristigere Forschung in diesem Feld von großer Bedeutsamkeit. Die Naturwissenschaften als empirische Forschungsgegenstände bieten sich für das forschende Lernen besonders an, um Lernende Phänomene ihrer Lebenswelt eigenständig entdecken zu lassen und induktiv die abstrakt wirkenden Gesetzmäßigkeiten der Chemie zu erlernen. Forschendes Lernen sieht sich dabei nicht in einer Alleinstellung, effektiv Naturwissenschaften zu übermitteln, doch setzt es anders als konventionelle Zugänge an einem ganz natürlichen Element des intrinsischen Triebs zum Lernen an, welches besonders in Kindern zum Vorschein kommt - der Neugier.

9. Bibliografie

Abels, Simone; Becker, Ralf; Kern, Gerhard.; Kerschbaumer, Manfred; Koliander, Brigitte; Langer, Elisabeth; Lembens, Anja; Puddu, Sandra; Steininger, Rosina. 2012. *Die kompetenzorientierte Reifeprüfung Chemie. Richtlinien und Beispiel für Themenpool und Prüfungsaufgaben*. Wien: Bundesministerium für Bildung und Frauen.

Abels, Simone, & Lembens, Anja. 2015. „Mysteries als Einstieg ins Forschendes Lernen im Chemieunterricht“, *Chemie & Schule*, 30(1b), 3-5.

Abels, Simone; Koliander, Brigitte. 2017. Forschendes Lernen als Beispiel eines inklusiven Ansatzes für den Fachunterricht. In: Schörkhuber, Bernhard; Rabl, Martina; Svehla, Heidemarie (Hrsg.), *Vielfalt als Chance – Vom Kern der Sache*, 53-60.

Abrams, Eleanor. 2008. Assessing student understanding in an inquiry-based learning environment. In: Abrams, E.; Southerland, S. A.; Silva, Peggy Clohessy (Hrsg.), *Inquiry in the Classroom. Realities and Opportunities*, 150-157.

Abrams, Eleanor; Southerland Sherry. A.; Evans, Celia A. 2008. Introduction: Inquiry in the classroom: Identifying necessary components of a useful definition. In: Abrams, Eleanor; Southerland, Sherry A.; Silva, Peggy Clohessy (Hrsg.), *Inquiry in the Classroom. Realities and Opportunities*, xi-xlii.

Anderson, Ronald D. 2002. „Reforming science teaching: What research says about inquiry“, *Journal of Science Teacher Education* 13(1), 1-12.

Anton, Michael A. 2019. Chemieunterricht verstehen: Zur Didaktik und Mathetik der Chemie. Riga: Lehrbuchverlag.

Bader, Hans-Joachim; Lühken, Armin. 2019a. Experiment im Chemieunterricht versus Experiment in der Forschung. In: Sommer, Katrin; Wambach-Laicher, Judith; Pfeifer, Peter (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie*, 461-462.

Bader, Hans-Joachim; Lühken, Armin. 2019b. Funktion des Experiments in der Unterrichtsstunde. In: Sommer, Katrin; Wambach-Laicher, Judith; Pfeifer, Peter (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie*, 467-470.

Bader, Hans-Joachim; Lühken, Armin. 2019c. Legitimation des Experiments für den Chemieunterricht. In: Sommer, Katrin; Wambach-Laicher, Judith; Pfeifer, Peter (Hrsg.), Konkrete Fachdidaktik Chemie, 462-463.

Bader, Hans-Joachim; Lühken, Armin; Sommer, Katrin. 2019. Das Schülerexperiment und seine Bedeutung im Chemieunterricht. In: Sommer, Katrin; Wambach-Laicher, Judith; Pfeifer, Peter (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie*, 461-462

Barke, Hans-Dieter. 2006. *Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin: Springer.

Baur, Armin; Emden, Markus. 2020. „How to open inquiry teaching? An alternative teaching scaffold to foster students’ inquiry skills“, *Chemistry Teacher International* 3(1), 1-12.

Baur, Armin; Xenofontos, Nikoletta; Papaevripidou, Marios. 2022. Inquiry-based Learning (Forschendes Lernen). In: Baur, Armin; Baumgartner-Hirscher, Natalie; Lehtinen, Antti; Neudecker, Caroline; Nieminen, Pasi; Papaevripidou, Marios; Rohrmann, Susanne; Schiffl, Iris; Schuknecht, Martina; Virtbauer, Lisa; Xenofontos, Nikoletta (Hrsg.), *Differenzierung beim Inquiry-based Learning im naturwissenschaftlichen Unterricht*, 34-59.

Ben-Zvi, Ruth; Bat-Sheva, Eylon, Silberstein, Judith. „Is an atom of copper malleable?", *Journal of Chemical Education* 63(1), 64-66.

Beyerlin, Simone; Gotzen, Susanne; Linnartz, Dagmar. 2020. Herausforderungen für Lehrende beim Forschenden Lernen – Ergebnisse einer qualitativen Studie an der TH Köln. In: Wulf, Carmen; Haberstroh, Susanne; Petersen, Maren (Hrsg.), *Forschendes Lernen. Theorie, Empirie, Praxis*, 157-170.

Blanchard, Margaret R.; Southerland, Sherry A.; Osborne, Jason W.; Sampson, Victor. D.; Annetta, Leonard A.; Granger, Ellen 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.

BMUKK. 2009. Naturwissenschaftliche Bildungsstandards – Berufsbildende Höhere Schulen. Das Kompetenzmodell. https://aeccc.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/z_aeccc/AECC_Chemie/Fuer_Lehrer_innen/Offizielle_Dokumente/Kompetenzmodell_NAWI_BHS_2016.pdf (17.08.2024).

Bransford, John D.; Vye, Nancy; Kinzer, Charles; Risko, Victoria 1990. Teaching thinking and content knowledge: Toward an integrated approach. In: Jones, Beau Fly; Idol, Lorna (Hrsg.), *Dimensions of Thinking and Cognitive Instruction*, 381-413.

Buck, Laura B.; Bretz, Stacey Lowery; & Towns, Marcy H. 2008. „Characterizing the level of inquiry in the undergraduate laboratory", *Journal of College Science Teaching*, *38*(1), 52–58.

Claussen, Claus. 1995. Freie Arbeit als Element eines Konzepts der Öffnung von Schule und Unterricht. In: Claussen, Claus (Hrsg.), *Handbuch Freie Arbeit: Konzepte und Erfahrungen*, 13-23.

Coll, Richard K.; Taylor, Neil. 2001. „Alternative conceptions of chemical bonding held by upper-secondary and tertiary students", *Research in Science and Technological Education* 19(2), 171-191.

Crawford, Barbara. A. 2014. From inquiry to scientific practices in the science classroom. In: Lederman, Norman G.; Abell, Sandra K. (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education* (2), 515-541.

Dachauer, Jennifer. 2022. „Forschendes Lernen als Anlass zur Entdeckung von Struktur-Eigenschafts Beziehungen und zwischenmolekularen Wechselwirkungen am Beispiel des Löslichkeitsverhaltens ausgewählter Inhaltsstoffe von Alltagsprodukten". Masterarbeit, Universität Wien.

DeCillia Karin; Brugger, Andreas; Faissner, Erich; Herzog, Sabrina; Huber-Siedler, Barbara; Mader, Wolfgang; Weikmann Bernhard. 2021. *NaWi@HAK 1 (Praxis Teil 2)*. Wien: Veritas.

Decy, Edward L.; Ryan, Richard M. 2004. *Handbook of self-determination research*. Rochester: University of Rochester Press.

Deitering, Franz G. 1998. Selbstgesteuertes Lernen. In: Greif, Siegfried; Kurz, Jürgen. *Handbuch Selbstorganisiertes Lernen*, 155-160.

Dewey, John. 1938. *Logic. The theory of inquiry*. New York: Henry Holt and Company.

Dijkstra, Sanne. 1997. „The integration of instructional system design models and constructivistic design principles", *Instructional Science* 25, 1-13.

Driver, Rosalind; Guesne, Edith; Tiberghien, Andrée (Hrsg.). 1985. *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open Univ. Press.

Driver, Rosalind; Asoko, Hilary; Leach, John; Scott, Philip; Mortimer, Eduardo. 1994. „Constructing scientific knowledge in the classroom", *Educational Researcher* 23(7), 5-12.

Ebert, Veronika; Zürcher, Reinhard; Koliander, Brigitte. 2019. *Starke Sache: Chemie in Alltag und Wirtschaft (Naturwissenschaften HAK II)*. Wien: Hölzel Verlag.

Frauendorfer, A. 2012. Innovative Learning Environments. Perspektiven- und Paradigmenwechsel in der Bildungsreformdiskussion. In: Schrittesser, I; Frauendorfer, A; Krainz-Dürr, M. (Hrsg.), *Innovative Learning Environments: Fallstudien zu pädagogischen Innovationsprozessen*, 10-24.

Funke, Joachim. 2011. Problemlösen. In: Betsch, Tilmann; Funke, Joachim; Plessner, Henning (Hrsg), *Denken – Urteilen, Entscheiden, Problemlösen. Allgemeine Psychologie für Bachelor*, 137-159.

Groß, Katharina; Reiners, Christiane S. 2012. „Experimente alternative dokumentieren: Ein Beitrag zur Möglichkeit der Differenzierung und Diagnose im Chemieunterricht", *Chemkon* 19(1), 13-20.

Gschöpf, Sybille; Prantl-Maresch, Ursula; Jestl, Katharina; Schachtner, Jasmin. 2022. *Erlebnis Naturwissenschaften 1 (HLW) NEU*. Wien: Hölder-Pichler-Tempsky.

Haim, Kurt; Lederer-Gamberger Johanna. 2007. *Chemie macchiato*. München: Pearson.

Haim, Kurt; Strasser, Joachim; Mader, Ines. 2019. *Expedition Chemie: Experimente für Schülerinnen und Schüler*. Wien: E Dorner.

Hammond, Jennifer; Gibbons, Pauline. 2005. „Putting scaffolding to work: The contribution of scaffolding in articulating ESL education", *Prospect* 20(1), 6-30.

Heumann-Rupprecht, Doris. 2004. „Entdeckendes Lernen durch Experimentieren in Chemie". Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München.

Hildebrandt, Henry. 1999. „Das Schülerexperiment in der chemiedidaktischen Lehre und in der Schulwirklichkeit", *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* 46(1), 47-49.

Hönigsperger, Daniela. 2015. „Welche Erfahrungen machen Schüler und Schülerinnen beim Forschenden Lernen?". Diplomarbeit, Universität Wien.

Hofer, Elisabeth; Lembens, Anja. 2021. „Forschendes Lernen – Eine Einführung". *Plus Lucis* 1, 4-7.

Hofer, Elisabeth; Puddu, Sandra. 2020. Forschendes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht – Begrifflichkeiten, Ausprägungen, Zielsetzungen. In: Eghtessad, Axel; Kosler, Thorsten; Oberhauser, Claus (Hrsg.), *transfer: Forschung <-> Schule* (6), 57-71.

Instance, David; Dumont, Hannah. 2010. Future Directions for Learning Environments in the 21st Century. In: OECD (Hrsg.), *The nature of learning: Using research to inspire practice*, 317-338.

Iryani; Bayharti; Iswendi; Regi, Fadila Putra. 2021. „Effect of using guided inquiry-based chemical bonding modules on student learning outcomes", *Journal of Physics: Conference series* 1788(1), 1-6.

Karl-Franzens-Universität Graz. n.d. Regeln zur Transkription qualitativer Interviews. Transkriptionsregeln-fr-Interviews.pdf (uni-graz.at) (28.09.2024).

Kitchener, Karen Strohm; King, Patricia M. 1981. „Reflective judgment: Concepts of justification and their relationship to age and education", *Journal of Applied Developmental Psychology* 2(2), 89-116.

Koliander, Brigitte. 2017. „Laborpraxis im Chemieunterricht – Ziele und Wege österreichsicher Lehrpersonen". Dissertation, Universität Wien.

Koliander, Brigitte, Steininger, Rosina. 2018. „Forschendes Lernen auf Level 2: Schülerinnen und Schüler planen selbstständig die Durchführung von Versuchen", *Chemie & Schule* 1(33), 11–12.

Lederman, Norman G. 2006. Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. In: Flick, Lawrence B.; Lederman, Norman G. (Hrsg.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning and teacher education*, 301-307.

Lederman, Norman G. 2008. What did you do in Science today? In: Abrams, Eleanor, Southerland, Sherry A., Silva, Peggy Clohessy (Hrsg.), *Inquiry in the classroom. Realities and Opportunities*, 25-35.

Leimer, Christiane. 2011. *Vereinbarungskultur an Schulen*. Wien: BMUKK.

Levin, Anna; Arnold, Karl Heinz. 2009. Selbstgesteuertes und selbstreguliertes Lernen. In: Arnold, Karl Heinz; Sandfuchs, Uwe; Wiechmann, Jürgen (Hrsg.), *Handbuch Unterricht* (2. Auflage), 154-159.

Loewenstein, George. 1994. „The psychology of curiosity: A review and reinterpretation", *Psychological Bulletin* 116(1), 65-98.

Mahner, M.; Bunge, M. 2000. *Philosophische Grundlagen der Biologie*. Berlin: Springer.

Magyar, Roderich; Liebhart, Wolfgang; Jelinek, Gabriela; Faber, Wolfgang; Strnad, Andrea. 2020. *EL-MO I: Elemente*. Wien: ÖBV.

Matys, Thomas. 2006. *Macht, Kontrolle und Entscheidungen in Organisationen. Eine Einführung in organisationale Mirko-, Meso- und Makropolitik*. Wiesbaden: VS Verlag.

Meltafina, M.; Wiji, Wiji; Mulyani, Sri. 2019. „Misconceptions and threshold concepts in chemical bonding", *Journal of Physics: Conference series* 1157(4), 1-5.

Messner, Rudolf. 2009. Forschendes Lernen aus pädagogischer Sicht. In: Messner, Rudolf (Hrsg.), *Schule forscht. Ansätze und Methoden zum forschenden Lernen*, 15-30.

Moritz, Petra. 2016. *Chemie auf Schritt und Tritt (4. Klasse AHS/NMS)*. Eisenstadt: E. Weber.

Mortimer, Charles E.; Müller Ulrich. 2020. *Chemie: Das Basiswissen der Chemie* (13. Auflage). Stuttgart: Thieme.

Moser, Alfred. 2007. *Chemie 1: Allgemeine und anorganische Chemie*. Wien: Westermann Jugend & Volk.

National Research Council. 1996. *National science education standards*. Washington DC: The National Academy Press.

National Research Council. 2000. *Inquiry and the national science education standards*. Washington DC: The National Academy Press.

Neber, Heinz. 1978. Selbstgesteuertes Lernen (lern- und handlungspsychologische Aspekte). In: Neber, Heinz; Wagner, Angelika C.; Einsiedler Wolfgang (Hrsg.), *Selbstgesteuertes Lernen. Psychologische und pädagogische Aspekte eines handlungsorientierten Lernens*, 33-44.

Neber, Heinz. 1993. Training der Wissensnutzung als objektgenerierende Instruktion. In: Klauer, Karl Josef (Hrsg.), *Kognitives Training*, 217-243.

Neber, Heinz. 1997. „Wissensgenerierung durch Lernaufgaben; Lernen mit Beispielen und problemorientierter Erwerb im Bereich technischen Rechnens“, *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 11, 27-39.

Neber, Heinz. 1998. Kooperatives Lernen. In: Rost, Detlef H. (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*, 268-271.

Neber, Heinz. 1999. Entdeckendes Lernen. In: Perleth, Christoph; Ziegler, Albert (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie – Grundlagen und Anwendungsfelder*, 229-238.

Neber, Heinz. 2006. Entdeckendes Lernen. In: Rost, Detlef H. (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*, 115-120.

Neber, Heinz. 2007. Entdeckung, Erfahrungsorientierung und Problemlösung. In: Standop, Jutta; Eiko, Jürgens (Hrsg.), *Taschenbuch Grundschule*, 1-13.

Neber, Heinz. 2008. „Epistemic questions: Fostering knowledge-generation by the students“, *Korean Journal of Thinking and Problem Solving* 18(1), 7-20.

Neber, Heinz; Anton, Michael A. 2008. „Förderung präexperimenteller epistemischer Aktivitäten im Chemieunterricht“, *Zeitschrift für pädagogische Psychologie* 22(2), 143-150.

OECD. 2014. „Sind 15-Jährige kreative Problemlöser?“, *Pisa im Fokus* 38(1), 1-4.

OECD. 2016. *PISA 2015 Ergebnisse: Exzellenz und Chancengerechtigkeit in der Bildung*. München: Bertelsmann Verlag.

OECD. 2018. PISA for development assessment and analytical framework: Reading, mathematics and science. https://www.oecd-ilibrary.org/education/pisa-for-development-assessment-and-analytical-framework_9789264305274-en (21.09.2024).

Parthey, Heinrich; Wahl, Dietrich. 1966. *Die experimentelle Methode in Natur- und Gesellschaftswissenschaften*. Berlin: VEB.

Pesendorfer, Elisabeth. 2022. „Forschendes Lernen zum Thema Elektrochemie in der Sekundarstufe I: Anpassung, Einsatz & Evaluation einer digitalen Lernumgebung“. Masterarbeit, Universität Wien.

Posada, José Maria de. 1997. „Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: Structure and evolution”. Science Education 81(4), 445-467.

Reischauer, Isabelle. 2022. „Forschendes Lernen im Distance-Chemieunterricht: Entwicklung einer digitalen Lernschachtel zum Thema Säuren und Basen“. Masterarbeit, Karl-Franzens-Universität Graz.

Reitinger, Johannes. 2012a. Differenziertes forschendes Lernen in den Naturwissenschaften mit leistungsheterogenen Schüler/-innengruppen. Eine empirische Studie zur Performanz und Wirksamkeit des AuRELIA-Kozeptes. In: Bohl, Thorsten; Bönsch, Manfred; Trautmann, Matthias; Wischer, Beate (Hrsg.), *Binnendifferenzierung. Didaktische Grundlagen und Forschungsergebnisse zur Binnendifferenzierung im Unterricht. Teil 1*, 107-133.

Reitinger, Johannes. 2012b. Schüler als Bildungsforscher – Forschender Unterricht nach dem AuRELIA-Konzept als Herausforderung am Gymnasium. In: Lin-Klitzing S.; Di Fuchia S.; Müller-Frerich, G. (Hrsg.), *Aspekte gymnasialer Bildung – Beiträge zu gymnasialer Bildungstheorie, Unterrichts- und Schulentwicklung*, 93-115.

Reitinger, Johannes. 2013a. *Forschendes Lernen: Theorie, Evaluation und Praxis in naturwissenschaftlichen Lernarrangements*. Kassel: Prolog-Verlag.

Reitinger, Johannes. 2013b. Forschendes Lernen und Reflexion. In: Weinberger, A. (Hrsg.), *Reflexion im pädagogischen Kontext*, 9-37.

Riedel, Erwin; Janiak, Christoph. 2015. *Anorganische Chemie* (9. Auflage). Berlin: De Gruyter.

RIS 2014. Lehrplan HAK Naturwissenschaften. https://aeccc.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/z_aeccc/AECC_Chemie/Fuer_Lehrer_innen/Offizielle_Dokumente/Lehrplan_HAK_NAWI_2014_mit_Link.pdf (21.09.2024).

RIS 2015a. Lehrplan Naturwissenschaften HLW. https://aeccc.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/z_aeccc/AECC_Chemie/Fuer_Lehrer_innen/Offizielle_Dokumente/Lehrplan_HLW_NAWI_2015_mit_Link.pdf (21.09.2024).

RIS 2015b. Lehrplan Naturwissenschaften HTL/HTBLA. https://aeccc.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/z_aeccc/AECC_Chemie/Fuer_Lehrer_innen/Offizielle_Dokumente/Lehrplan_HTL_NAWI_2015_mit_Link.pdf (21.09.2024).

RIS 2016a. Lehrplan Chemie AHS Oberstufe. https://aeccc.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/z_aeccc/AECC_Chemie/Fuer_Lehrer_innen/Offizielle_Dokumente/Lehrplan_AHS_Oberstufe_Chemie_2016_mit_Link.pdf (21.09.2024).

RIS 2016b. Lehrplan Chemie BAFEP. https://aeccc.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/z_aeccc/AECC_Chemie/Fuer_Lehrer_innen/Offizielle_Dokumente/Lehrplan_BAFEP_Chemie_2016_mit_Link.pdf (21.09.2024).

RIS 2016c. Lehrplan Angewandte Naturwissenschaften BAFEP. https://aeccc.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/z_aeccc/AECC_Chemie/Fuer_Lehrer_innen/Offizielle_Dokumente/Lehrplan_BAFEP_Angewandte_NAWI_2016_mit_Link.pdf (21.09.2024).

RIS 2023a. Lehrplan Chemie Mittelschule. https://aeccc.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/z_aeccc/AECC_Chemie/Fuer_Lehrer_innen/Offizielle_Dokumente/Lehrplan_Mittelschule_komplett_2023.pdf (21.09.2024).

RIS 2023b. Lehrplan Chemie AHS Unterstufe. https://aeccc.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/z_aeccc/AECC_Chemie/Fuer_Lehrer_innen/Offizielle_Dokumente/Lehrplan_AHS_komplett_2023.pdf (21.09.2024).

Schäfer, Cornelia. 2023. „Forschendes Lernen anhand einer Lernschachtel: Lebensmittelfarbstoffe als Säure-Base-Indikatoren“. Diplomarbeit, Universität Wien.

Schüttengruber, Helga. 2021. „Forschendes Lernen anhand forensischer Experimente im Chemieunterricht“. Diplomarbeit, Karl-Franzens-Universität Graz

Selje-Aßmann, Natascha. 2020. Forschendes Lehren und Lernen – ein mehrdimensionales Modell für die Lehrpraxis aus Perspektive der empirischen Wissenschaften. In: Wulf, Carmen; Haberstroh, Susanne; Peterson, Maren (Hrsg.), *Forschendes Lernen – Theorie, Empirie, Praxis*, 65-80.

Settlage, John, Southerland, Sherry. A. 2007. *Teaching science to all children: Using culture as a starting point*. New York: Routledge.

Sommer, Katrin; Pfeifer, Peter. 2019. Wege der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. In: Sommer, Katrin; Wambach-Laicher, Judith; Pfeifer, Peter (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie*, 71-75.

Statista. 2023. Schulen und Klassen. https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/bildung/schulbesuch/schulen-und-klassen (03.08.2024).

Stephens, Lillian S. 1974. *The teachers guide to open education*. New York: Paulist Press.

Taber, Keith S. 1998. „An alternative conceptional framework from chemistry education”. *International Journal of Science Education* 20(5), 597-608.

Tobin, K. 1990. „Research on science laboratory activities”, *School Science & Mathematics* 90, 403-418.

Wagner, Anna. 2019. „Inquiry Lernen im Naturwissenschaftlichen Labor der neunten und zehnten Schulstufe“. Masterarbeit, Universität Wien.

Wedel-Wolff, Annegret von. 1995. Schritte zur Freiarbeit. In: Claussen, Claus (Hrsg.), *Handbuch Freie Arbeit: Konzepte und Erfahrungen*, 157-163.

White, Barbara Y.; Fredrikson, John R. 1998. „Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students“, *Cognition and Instruction* 16(1), 3-118.

Vosniadou, Stella; Brewer, William F. 1987. „Theories of knowledge restructuring in development", *Review of educational research* 57(1), 51-67.

Vygotsky, Lew. 1978. „Interaction between learning and development", In: Cole, Michael; John-Steiner, Vera; Scribner, Sylvia; Souberman, Ellen (Hrsg.), *Mind and society*, 79-91.

Whitehead, Alfred North. 1929. *The aims of education and other essays*. New York: Macmillan.

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Experiment als Forschungszyklus (Neber und Anton 2010, zit. nach Anton 2019: 272) 26
Abbildung 2: Ziele forschenden Lernens und ihr methodischer Fokus (Selje-Aßmann 2020: 70) 30
Abbildung 3: Charakteristische Merkmale forschenden Lernens und deren Variationen (NRC 2000: 29) 32
Abbildung 4: Mögliche Wege im Forschungsnetz (Koliander & Steininger 2018: 11) 33
Abbildung 5: OPeRA Organisationsmodell (Reitinger 2016: 43) 40
Abbildung 6: Elektronengasmodell eines Aluminiumkristalls (Riedel 2015: 180) 49
Abbildung 7: Bändermodell (Riedel 2015: 184) 50
Abbildung 8: Beispiele von Energiebänderdiagrammen (Riedel 2015: 186) 52
Abbildung 9: Fragestellungen 1.1 und 1.2 in der Datenerhebung 60
Abbildung 10: Fragestellungen 1.3 - 1.9 in der Datenerhebung 60
Abbildung 11: Fragestellung 2-2.2 zur Frequenz autonomen Experimentierens im NaWi-Unterricht. 61
Abbildung 12: Fragestellungen 2.3-2.6 in der Datenerhebung 62
Abbildung 13: Aufgabenstellung 3 62
Abbildung 14: Aufgabenstellung 4 63
Abbildung 15: Aufgabenstellung 5 63
Abbildung 16: Aufgabenstellung 5.1 64
Abbildung 17: Rubrik für direktes Feedback 64
Abbildung 18: Leitfragen des Beobachtungsbogens 65
Abbildung 19: Materialtisch 68
Abbildung 20: Rollenkarten 71
Abbildung 21: Beispiel für gestufte Lernhilfen zur elektrischen Leitfähigkeit 72
Abbildung 22: Auswertung der Fragestellungen 1.1 und 1.2 78
Abbildung 23: t-Test zu den Resultaten aus 1.1 und 1.2 79
Abbildung 24: Auswertung der Fragestellungen 1.3 bis 1.6 79
Abbildung 25: Vergleich von 1.3, 1.4 und 1.6 nach Klasse 80
Abbildung 26: t-Test zu den Resultaten aus 1.3 bis 1.6 81
Abbildung 27: Auswertung der Fragestellungen 1.7 bis 1.9 81
Abbildung 28: t-Test zu den Resultaten aus 1.7 bis 1.9 82
Abbildung 29: Erhebung der bevorzugten Frequenz freien Arbeitens 83
Abbildung 30: Bevorzugte Häufigkeit des freien Experimentierens 83
Abbildung 31: Auswertung der Fragestellungen 2.3 bis 2.6 84
Abbildung 32: t-Test zu den Resultaten aus 2.3 bis 2.6 85
Abbildung 33: Auswertung der Fragestellung 3 zu den einzelnen chemischen Metalleigenschaften . 86
Abbildung 34: Aufschlüsselung der Bewertung der ersten Teilaufgabe aus Aufgabe 4 87
Abbildung 35: Aufschlüsselung der Bewertung der zweiten Teilaufgabe aus Aufgabe 4 87
Abbildung 36: Häufigkeiten der vergebenen Antworten in Aufgabe 5 88
Abbildung 37: Gegenüberstellung der Antwortsicherheit im Prä- und Posttest bei Aufgabe 5.1 89
Abbildung 38: Übersicht der erzielten Punkte in allen Aufgaben des Fachteils 89
Abbildung 39: Gesamtpunktezahlverteilung im Prätest 90
Abbildung 40: Histogramm zur Gesamtpunktezahlverteilung im Prätest 90
Abbildung 41: Gesamtpunkteverteilung im Posttest 90
Abbildung 42: Histogramm zur Gesamtpunktezahlverteilung im Posttest 90
Abbildung 43: t-Test zu den Gesamtpunktzahlen des Fachteils 91

11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wissensbereiche für den naturwissenschaftlichen Unterricht 24
Tabelle 2: Schwab und Herons Stufen von Inquiry nach Abrams et al. (Abrams et al. 2008: xx) 36
Tabelle 3: Transkriptionszeichen für die Interviewtranskription (übernommen von der Karl-Franzens-Universität Graz)..... 67
Tabelle 4: Unterrichtsplan für die erste Doppelstunde..... 73
Tabelle 5: Unterrichtsplan für die zweite Doppelstunde 75

12. Appendix

12.1. Vorlage der Fragebögen

Prätest

Hallo! Das Beantworten der Fragen in diesem Dokument hilft mir dabei, meine Masterarbeit zu verfassen. Die Daten dieses Fragebogens werden anonym behandelt (= Sie schreiben bitte auch nicht Ihren Namen auf diesen Zettel) und werden **nur von mir** und sonst niemandem, auch nicht Ihrer Professorin, eingesehen. Bitte beantworten Sie die Fragen ehrlich. Vielen Dank! :)

Ich fühle mich folgendem Geschlecht zugehörig: männlich ☐ weiblich ☐ divers ☐

Mein Alter: _____

1. Bitte kreuze **die Zahl an, welche** deine Einstellung zu den Aussagen am besten widerspiegelt, wobei **6 = Ich stimme vollkommen zu** und **1 = Ich stimme absolut nicht zu.**

	stimme absolut gar nicht zu					stimme vollkommen zu
1.1. Ich schätze mich als sehr gut im Unterrichtsfach NaWi ein	1	2	3	4	5	6
1.2. Ich finde chemische Inhalte im Unterrichtsfach NaWi besonders interessant	1	2	3	4	5	6

Fragen zum freien Arbeiten im NaWi-Unterricht (z.B. Experimentieren mit Metallen)

	stimme absolut gar nicht zu					stimme vollkommen zu
1.3. Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht bereitet mir sehr große Freude	1	2	3	4	5	6
1.4. Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht macht mir große Angst	1	2	3	4	5	6
1.5. Beim freien Experimentieren im NaWi-Unterricht fühle ich mich oft überfordert	1	2	3	4	5	6
1.6. Mir ist es viel lieber, im NaWi-Unterricht frei zu arbeiten, als nach einer Versuchsanleitung	1	2	3	4	5	6
1.7. Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht steigert in jedem Fall mein Selbstvertrauen im Fach NaWi	1	2	3	4	5	6
1.8. Freies Experimentieren im NaWi-Unterricht motiviert mich besonders über die Chemie zu lernen	1	2	3	4	5	6
1.9. Eigene Untersuchungen anzustellen, motiviert mich sehr im NaWi-Unterricht mehr zu tun	1	2	3	4	5	6

2. **Ich könnte mir vorstellen, öfters frei im NaWi-Unterricht zu experimentieren.** Ja ☐ Nein ☐

2.1. **Wenn „ja" – Wie oft?** Bei jedem Experiment ☐ jedem zweiten Experiment ☐ zumindest 1x im Monat ☐

2.2. **Wenn „nein" – Warum nicht?**

_____

Fragen zur Anwendbarkeit curricularer Inhalte:

	stimme absolut gar nicht zu					stimme vollkommen zu
1.1. Chemisches Wissen aus dem NaWi-Unterricht ist wichtig und sehr hilfreich für den Alltag	1	2	3	4	5	6
1.2. Chemisches Wissen aus dem NaWi-Unterricht lässt sich im Alltag immer gut anwenden	1	2	3	4	5	6
1.3. Freies Experimentieren hilft mir, mein Wissen aus dem NaWi-Unterricht sinnvoll anzuwenden	1	2	3	4	5	6
1.4. Ich merke mir Inhalte aus dem NaWi-Unterricht viel besser, wenn ich sie durch das freie Experimentieren selbst erarbeite	1	2	3	4	5	6

Wissensfragen

2. Nennen Sie alle chemischen Eigenschaften von Metallen, die Sie kennen:

_____

3. Zeichnen Sie in die Box eine Skizze darüber, wie Metallatome in der Metallbindung aufgebaut sind. Beschreiben Sie ihre Skizze daneben in Worten.

_____
_____
_____
_____
_____

4. Kreuzen Sie die richtige Aussage an:

a) Metalle leiten Wärme sehr gut. Die Atomrümpfe und freien Elektronen stoßen beim Erhitzen wegen dem geringen Teilchenabstand aneinander und geben dabei die Wärme in Form von Bewegungsenergie (kinetische Energie) weiter. Die Wärme breitet sich dadurch schnell aus. ☐

b) Metalle leiten Wärme sehr gut. Die positiv geladenen Atomrümpfe entziehen die Energie aus der Wärmequelle (z.B. Feuer) und geben diese an die negativ geladenen Elektronen durch die gegenseitige Anziehung weiter. ☐

c) Metalle leiten Wärme schlecht. Das Elektronengas zwischen den Atomrümpfen isoliert das Metall vor der Ausbreitung der Wärme, wodurch nur die Oberfläche des Metalls Wärme speichern kann. ☐

4.1. Kreisen Sie ein, wie sicher Sie sich mit Ihrer Antwort von Aufgabe 5 (direkt darüber) sind:

Ich bin mir sehr sicher, dass meine Antwort stimmt. Ich bin mir eigentlich nicht ganz sicher. Ich fühle mich absolut unsicher.

5. Gibt es noch etwas, dass Sie mir sagen möchten?

_____

Posttest

Hallo! Das Beantworten der Fragen in diesem Dokument hilft mir dabei, meine Masterarbeit zu verfassen. Die Daten dieses Fragebogens werden anonym behandelt (= Sie schreiben bitte auch nicht Ihren Namen auf diesen Zettel) und werden **nur von mir** und sonst niemandem, auch nicht Ihrer Professorin, eingesehen. Bitte beantworten Sie die Fragen ehrlich. Vielen Dank! :)

Ich fühle mich folgendem Geschlecht zugehörig: männlich ☐ weiblich ☐ divers ☐

Mein Alter: _____

Ich war nur am 18.01 dabei ☐ Ich war nur am 25.01 dabei ☐ Ich war am 18. und 25. Jänner dabei ☐

1. Bitte kreuze **die Zahl an, welche** deine Einstellung zu den Aussagen am besten widerspiegelt, wobei **6 = Ich stimme vollkommen zu** und **1 = Ich stimme absolut nicht zu.**

	stimme absolut gar nicht zu					stimme vollkommen zu
1.1. Ich schätze mich als sehr gut im Unterrichtsfach NaWi ein	1	2	3	4	5	6
1.2. Ich finde chemische Inhalte im Unterrichtsfach NaWi besonders interessant	1	2	3	4	5	6

<u>Fragen zum freien Arbeiten im NaWi-Unterricht (z.B. Experimentieren mit Metallen)</u>

	stimme absolut gar nicht zu					stimme vollkommen zu
1.3. Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht bereitet mir sehr große Freude	1	2	3	4	5	6
1.4. Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht macht mir große Angst	1	2	3	4	5	6
1.5. Beim freien Experimentieren im NaWi-Unterricht fühle ich mich oft überfordert	1	2	3	4	5	6
1.6. Mir ist es viel lieber, im NaWi-Unterricht frei zu arbeiten, als nach einer Versuchsanleitung	1	2	3	4	5	6
1.7. Das freie Experimentieren im NaWi-Unterricht steigert in jedem Fall mein Selbstvertrauen im Fach NaWi	1	2	3	4	5	6
1.8. Freies Experimentieren im NaWi-Unterricht motiviert mich besonders über die Chemie zu lernen	1	2	3	4	5	6
1.9. Eigene Untersuchungen anzustellen, motiviert mich sehr im NaWi-Unterricht mehr zu tun	1	2	3	4	5	6

2. **Ich könnte mir vorstellen, öfters frei im NaWi-Unterricht zu experimentieren.** Ja ☐ Nein ☐

2.1. **Wenn „ja" – Wie oft?** Bei jedem Experiment ☐ jedem zweiten Experiment ☐ zumindest 1x im Monat ☐

2.2. **Wenn „nein" – Warum nicht?**

_____

Fragen zur Anwendbarkeit curricularer Inhalte:

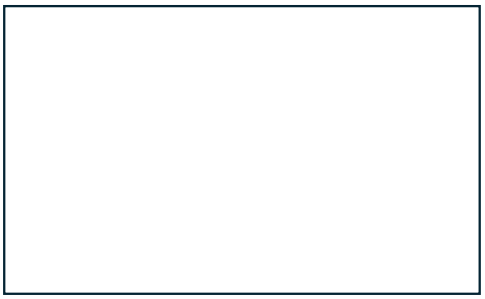
	stimme absolut gar nicht zu					stimme vollkommen zu
1.1. Chemisches Wissen aus dem NaWi-Unterricht ist wichtig und sehr hilfreich für den Alltag	1	2	3	4	5	6
1.2. Chemisches Wissen aus dem NaWi-Unterricht lässt sich im Alltag immer gut anwenden	1	2	3	4	5	6
1.3. Freies Experimentieren hilft mir, mein Wissen aus dem NaWi-Unterricht sinnvoll anzuwenden	1	2	3	4	5	6
1.4. Ich merke mir Inhalte aus dem NaWi-Unterricht viel besser, wenn ich sie durch das freie Experimentieren selbst erarbeite	1	2	3	4	5	6

Wissensfragen

2. Nennen Sie alle chemischen Eigenschaften von Metallen, die Sie kennen:

_____

3. Zeichnen Sie in die Box eine Skizze darüber, wie Metallatome in der Metallbindung aufgebaut sind. Beschreiben Sie ihre Skizze daneben in Worten.



_____
_____
_____
_____
_____

4. Kreuzen Sie die richtige Aussage an:

a) Metalle leiten Wärme sehr gut. Die Atomrümpfe und freien Elektronen stoßen beim Erhitzen wegen dem geringen Teilchenabstand aneinander und geben dabei die Wärme in Form von Bewegungsenergie (kinetische Energie) weiter. Die Wärme breitet sich dadurch schnell aus. ☐

b) Metalle leiten Wärme sehr gut. Die positiv geladenen Atomrümpfe entziehen die Energie aus der Wärmequelle (z.B. Feuer) und geben diese an die negativ geladenen Elektronen durch die gegenseitige Anziehung weiter. ☐

c) Metalle leiten Wärme schlecht. Das Elektronengas zwischen den Atomrümpfen isoliert das Metall vor der Ausbreitung der Wärme, wodurch nur die Oberfläche des Metalls Wärme speichern kann. ☐

4.1. Kreisen Sie ein, wie sicher Sie sich mit Ihrer Antwort von Aufgabe 5 (direkt darüber) sind:

Ich bin mir sehr sicher, dass meine Antwort stimmt. Ich bin mir eigentlich nicht ganz sicher. Ich fühle mich absolut unsicher.

5. Gibt es noch etwas, dass Sie mir sagen möchten?

_____

12.2. Vorlage des Beobachtungsbogens

Beobachtungsbogen zum Forschenden Lernen „Metallbindung“ (adaptiert von Reischauer 2021: 95)

Klasse: **Datum:**

Leitfragen	Skala von 1 (trifft überhaupt nicht zu) bis 10 (trifft vollkommen zu)	Beobachtung
1. Der Ablauf ist allen Schüler*innen klar.		
2. Alle Schüler*innen sind in die Arbeit miteingebunden.		
3. Die Schüler*innen können mit den zur Verfügung gestellten Materialien problemlos umgehen.		
4. Alle Schüler*innen zeigen klar Emotionen (Begeisterung, Freude, Desinteresse, …).		
5. Der Schwierigkeitsgrad für alle Schüler*innen ist angemessen.		
6. Alle Schüler*innen arbeiten effektiv in ihrer Gruppe zusammen.		
7. Alle Schüler*innen wirken bei ihrer Arbeit motiviert.		

Platz für spontane Notizen:

12.3. Interviewtranskription

1. [00:00:00] A: Interview vom 31. Jänner 2024 mit [Anonym], Lehrperson für Naturwissenschaften an einer Wiener Handelsakademie und Handelsschule. Sehr geehrte*r [Anonym], vielen Dank, dass Sie sich für dieses Interview Zeit genommen haben. Ich möchte Sie nochmals darüber informieren, dass es Ihnen jederzeit freisteht zu einer Frage keine Stellungnahme zu nehmen. Die Inhalte der heutigen Aufnahme werden ausschließlich zur Ergänzung meiner Masterarbeit verwendet und nicht anderweitig veröffentlicht.

2. [00:00:30] A: Beginnen wir nun mit der ersten Frage. Welche Erfahrungen haben Sie bereits mit dem forschenden Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht gemacht?

3. [00:00:40] B: Dankeschön für das Interview. Forschendes Lernen ist für mich insofern sehr wichtig, als ich viel praktische Arbeit im Unterricht machen lasse. Wir haben speziell an unserer Schule in den ersten Handelsakademieklassen eigene Laborblöcke, das heißt wir nutzen einen Teil der vorgesehenen Unterrichtsstunden in einem Block, [Pause] den wir alle drei Wochen am Nachmittag abhalten. Und dieser Block ist ausschließlich für praktische Arbeit oder für Lehrausgänge vorgesehen. Dort machen wir begleitend zu dem theoretischen Fachunterricht eben Übungen, die wir ja von ganz einfach uhm starten lassen, also wir machen ganz einfache Handhabungsübungen mit den Schülerinnen wie man Laborgeräte einsetzt und begleitend dazu in den jeweiligen Kapiteln Dichteuntersuchungen, einfache ph-Wert-Untersuchungen, Arbeiten mit den uhm Elektrobaukasten usw., bis hin zu Mikroskopieübungen oder auch Pflanzenbestimmungsübungen. Das konkrete forschende Lernen, also nach der Definition was man unter forschendem Lernen versteht, also wo wir die Schüler vollkommen frei arbeiten lassen, das mache ich normalerweise in meinem Unterricht nicht. Uhm, aus verschiedenen Gründen, die ich dann noch später noch erläutern werde. Ich habe aber jetzt im Zuge dieser Masterarbeit das forschende Lernen beobachten können, wie eine etwas höhere Klasse damit umgeht, das heißt wenn die Schülerinnen auf Wissen aufbauen können, funktioniert das grundsätzlich [Pause] besser.

4. [00:02:34] A: Vielen Dank. Wie kann denn aus Ihrer Sicht die Aufbereitung naturwissenschaftlicher Inhalte durch forschendes Lernen den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler unterstützen?

5. [00:02:49] B: Ah, hier geht's ums Tun und wir haben in der deutschen Sprache ein sehr schönes Wort dafür nämlich das Begreifen. Also wenn wir etwas einen Lehrstoff wirklich verstanden haben, dann begreifen wir ihn. Das hat auch tatsächlich etwas mit den Händen was zu tun, das ist nämlich dasselbe Vokabel, ja. Wir greifen etwas an, wir begreifen etwas und uhm diese ja dieses gleiche Vokabel beschreibt eigentlich sehr schön, dass wenn die Schüler etwas tun, sie diesen Stoff besser verstehen, also begreifen. [Pause] Ja und dieser Lernerfolg lässt sich direkt ablesen, weil ein Lehrstoff, der nur theoretisch vermittelt wird uhm, der wird auch nicht verstanden, nicht begriffen und uhm wenn wenn Schüler eine [Pause] ein Phänomen selber erforscht haben können oder selbst erforscht haben dann sind ihnen manche Zusammenhänge einfach besser im im Gedächtnis geblieben.

6. [00:04:05] A: Alles klar. Worin sehen Sie denn die Stärken und Potenziale der Methode des forschenden Lernens im NaWi-Unterricht zusätzlich zu dem bereits genannten?

7. [00:04:16] B: Uhm, ja die Schülerinnen und Schüler können Naturphänomene viel besser beobachten und sie lernen darüber hinaus auch noch diese Erscheinungen besser beschreiben, ja. Sie müssen ja Protokoll anfertigen, also bei mir gibt es üblicherweise keine Übungen ohne, dass sie nicht auch ein Protokoll darüber verfassen müssen, und durch diese Tatsache schauen sie auch ganz anders hin. Wenn sie wissen sie müssen das, was sie beobachten das was sie sehen auch niederschreiben, uhm, man schaut konkret da hin. Und sie überlegen sich viel besser, was sie da eigentlich sehen und uhm durch dieses Beschreiben verankert sich das das neuerworbene Wissen auch viel besser im Gehirn und [Pause] ja, der Lernerfolg ist dadurch auch auch viel viel deutlicher spürbar auch bei den Schülern und bleibt länger verankert. Also die die Ergebnisse aus diesen Übungen, die können sie zum Teil Jahre danach noch benennen. Ja, da haben wir was gemacht und diesen und jenen Versuch haben wir da gemacht uhm im Gegensatz zu dem theoretischen Wissen ja, an das kann man sich nicht mehr erinnern aber an die Übungen sehr wohl.

8. [00:05:35] A: Okay und uhm in Angesichts dessen, wo sehen Sie da die Herausforderungen beim forschenden Lernen speziell im NaWi-Unterricht bei den Schülerinnen und Schüler?

9. [00:05:46] B: Ja. Ich habe beobachten können und auch als Rückmeldung von vielen Schülerinnen und Schülern bekommen, wenn sie nur Material zur Verfügung gestellt bekommen und jetzt darauf los forschen können, was auch immer sie wollen, uhm, dann sehen sie sich zum Teil vollkommen überfordert. Sie wissen nicht was sie zu tun haben oder was sie tun können, sie kommen gar nicht auf die Idee, weil ihnen Vorwissen fehlt. Also meines Erachtens äh hat forschendes Lernen oder vielleicht sollte man besser sagen experimentelles Lernen uhm viel mehr Sinn, wenn man auf Vorwissen aufbauen kann. Also ich kann den Schülerinnen und Schülern diese mühevolle Arbeit die Jahrhunderte lang Forscherinnen und Forscher gemacht haben, ich kann ihnen diese Arbeit vorwegnehmen, kann ihnen ein Grundgerüst an Wissen anbieten und dann lass ich sie forschen. Also die Berichte, die ich bis jetzt gelesen habe und die Beobachtungen, die ich dazu habe, wenn wirklich echtes forschendes Lernen in der Schule gemacht werden soll, führt das führt das eher zu einem absoluten Frust bei den Schülerinnen und Schülern, weil sie überhaupt nicht wissen, keine Idee haben, was sie überhaupt machen könnten mit diesen Dingen. Also ein bisschen ein Vorwissen ist erforderlich und dann tun sie sich leichter auch Fragen zu entwickeln, weil wer nichts weiß, kann auch keine Fragen bilden. Und das ist glaub ich ein Hauptproblem beim echten forschenden Lernen.

10. [00:07:23] A: Vielen Dank. Im Kontrast zu den Herausforderungen seitens der Schüler und Schülerinnen – worin sehen sie da die Herausforderungen im forschenden Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht für die Lehrperson selbst?

11. [00:07:35] B: Ich muss vor allem dieses Vorwissen einmal bereitstellen. Also ein gewisses Maß an Vorwissen, ja. Ich muss ihnen nicht alle Erklärungen liefern aber ein gewisses Vorwissen, dass einmal die Neugierde geweckt wird. Das ist einmal das eine und das Zweite ist fast noch wichtiger. Ich muss eine sichere Lernumgebung schaffen. Das heißt die Schülerinnen und Schülern müssen in der Handhabe der wichtigsten Geräte überhaupt vertraut sein. Das muss ihnen bekannt sein, wie ich manche Geräte handhabe, wie ich Laborgeräte die die Glasgeräte, Spatel, eine Pipette, einen Brenner usw. handhabe und sie müssen mit den Laborregeln vertraut sein. Wenn das nicht bekannt ist, dann wird's nur gefährlich, dann funktioniert auch forschendes Lernen nicht. Also wenn ich sicher im Umgang mit diesen Geräten bin, dann kann und ein bisschen ein Vorwissen habe, dann kann ich mit dem Experimentieren beginnen und dann wird das

auch funktionieren. Und dann ist auch der Erfolg bei den Schülerinnen da und dann macht es Spaß.

12. [00:08:42] A: Mhm, und im Bezug nicht nur auf die Qualifikationen, die Sie den Schülerinnen und Schülern im Vorhinein beibringen müssen, aber auch im Unterrichtsgeschehen selbst, haben Sie da vielleicht in während der Beobachtung Schwierigkeiten oder Herausforderungen festgestellt?

13. [00:09:03] B: Uhm, die Herausforderungen ja konkret bei der Lehrperson es kommt auf die Gruppengröße auch darauf an. Wenn ich sehr große Klassen habe und ich bin alleine drinnen, dann ist es natürlich schwierig alle Gruppen zu beobachten und gerade auf die Sicherheit auch zu achten, ja. Man kriegt mit dem Lauf der Zeit dann schon ein Gefühl, wo etwas äh passiert und Lehrer haben auch hinten Augen, man spürt, ob irgendwo ein Problem besteht. Uhm, das kriegt man zum Teil erst im Laufe längerer Unterrichtserfahrung und auch wenn die Klassen kenne dann kann ich so etwas durchführen und von den Klassen machen lassen [Pause] Uhm, die, den Überblick zu bewahren und alles zu sehen was an Problemen auftauchen könnte ist nicht nur bei der Forschungsfrage, sondern auch im tatsächlichen Tun, das ist wirklich eine eine große Herausforderung, ja. Also die Kinder, die Klassen im Überblick zu bewahren, zu halten, uhm, was sie tun oder wo, nicht nur beim Experimentieren, sondern in der Klassendynamik selbst wo Schwierigkeiten auftreten uhm, das im Überblick zu bewahren ist eine der größten Herausforderungen.

14. A: (Okay.)

15. [00:10:28] A: Und insgesamt wovon hängt Ihrer Meinung nach der Lernerfolg bei den Schülerinnen und Schüler beim forschenden Lernen ab?

16. [00:10:38] B: Meiner Meinung nach muss die Fragestellung der Lehrkräfte so konkret wie möglich sein. Das heißt, ich kann den Schüler natürlich jetzt nicht die eigentlichen Forschungsfragen vorwegnehmen, aber ich muss ihnen schon ganz konkret sagen können, worum es jetzt hier geht. Außer es ist genau mein Setting, dass ich jetzt sage, ihr könnt forschen, was auch immer ihr wollt, dann muss ich mich auch darauf einlassen. Aber wenn ich als Lehrkraft ein spezielles Ziel verfolge, dann muss ich auch so weit wie möglich den Schülerinnen und Schülern sagen, worum es hier geht. Also die

Rahmenbedingungen, was sie einhalten sollen, muss ich den Schülerinnen und Schülern so konkret wie möglich sagen. Also, wenn ich forschendes Lernen durchführen möchte und ich sag ihnen vorweg schon die Forschungsfragen, führt das nicht zum Ziel, weil dann habe ich kein forschendes Lernen. Aber, ich kann ihnen zum Beispiel die Rahmenbedingungen sagen, es darf kein Feuer verwendet werden und es muss mit Metallen zu tun haben, zum Beispiel. Oder, ich muss eine Versuchsdurchführung muss mit Pflanzen zu tun haben oder mit dem Pflanzenmaterial, das ich vorne zur Verfügung stelle. Es muss in jedem Versuch eine Pflanze eingebunden sein, zum Beispiel. Oder es muss in jedem Versuch muss Wasser vorkommen. Also so konkret wie möglich uhm, diese Anleitung geben, dass die Schüler sich dann konkrete Fragen zu dem Thema überlegen.

17. [00:12:18] A: Nun möchte ich auch noch uhm möchte ich auch noch wissen, wie kann aus Ihrer Sicht forschendes Lernen zu einem selbstbestimmten Wissensaufbau im naturwissenschaftlichen Unterricht beitragen?

18. [00:12:35] B: Ja die Schülerinnen und Schüler brauchen [Pause] Anleitungen, das heißt in der Vorbereitung zu diesem eigentlichen forschenden Lernen Einheiten uhm, müssen so gut durchgeführt worden sein, dass sich die Schüler auch sicher sind in der in der Durchführung ihrer Versuche und ihrer Experimente oder Beobachtungen, ja, es kann ja auch nur eine Beobachtung sein, die die Schüler durchführen. Uhm, die Schülerinnen werden mehr Erfolg haben beim forschenden Lernen, wenn sie bereits auf theoretischem Wissen aufbauen können. Ja, also wenn sie ein gewisses Wissen schon haben, dann ist das selbst erarbeitete Wissen, oder der Erfolg beim selbst erarbeiteten Wissen deutlich größer. Das habe ich schon mehrfach beobachten können, wenn die Schüler quasi nur reingestellt werden in so einen Experimentiersaal und nicht wissen, was sie eigentlich tun sollen, oder auch Berichte von Schülerinnen, die so etwas erlebt haben, gibt's oft wochenlange Vorbereitungen zum Erarbeiten einer Forschungsfrage und als Feedback ist mir dann berichtet worden, wir haben überhaupt nicht gewusst, was wir überhaupt da tun sollen. Da ist ein unglaublicher Frust, der dann da durchkommen soll, kann, uhm, wenn sie ein Vorwissen haben und wissen welche Richtung es gehen kann, dann äh, ist da der Erfolg besser. Wir können von den Schülern nicht voraussetzen, dass sie dieselbe Begeisterung äh zeigen wie Wissenschaftlerinnen

und Wissenschaftler, die jahrelange Studium hinter sich haben. Da ist es klar, dass ich viele Fragen generieren kann. Da kann ich mir überlegen, welche Fragen ich da stellen könnte. Ein Schüler hat kein Vorwissen. Wenn ich kein Vorwissen habe oder ein sehr geringes Vorwissen habe, dann kann ich auch keine Fragen erarbeiten. Und das selbstbestimmte Wissensaufbau funktioniert dann gut, wenn ich Fragen stellen kann. Also das ist eine Kette, die sich da ergibt. Theoretisches Vorwissen, Sicherheit im Umgang mit den Geräten und [Pause] ja, ein gewisses theoretisches Wissen.

19. [00:14:48] A: Jetzt haben sie angesprochen, dass uhm, es sein kann, dass Schülerinnen und Schüler sich etwas überfordert fühlen durch ganz freies Handhaben der Experimentierphase. Wie kann man Ihrer Meinung nach die Motivation derjenigen Personen direkt im Unterrichtsgeschehen steigern? Dass die sich auch auf diese Experimentierphase auf diese einlassen können?

20. [00:15:12] B: Ich glaub, einiges kann man schon vorwegnehmen. Wenn alle Schülerinnen und Schüler gut vorbereitet werden. Jetzt kann es natürlich sein, wenn Schüler gerade in der Phase, wo ich die Vorbereitung habe, krank waren, dann wäre es eine Möglichkeit, dass ich sie zumindest Skripten oder manche Anleitungen vielleicht auflege im Saal, wo ich Experimente durchführe, dass die Schülerinnen zumindest eine Chance haben, gewisse Teile des Wissens nachzulesen. Die brauchen dann natürlich auch mehr Anleitung von der Lehrperson oder Hilfestellung von der Lehrperson, dass ich sie zumindest zu einfachen Versuchen hinführe und sage, na was könnte man denn mit diesen und jenen uhm Geräten oder oder Untersuchungsgegenständen durchführen? Was wäre denn da spannend? Dass man gezielte Fragen stellt, um die Schüler dorthin zu führen, wo ein Experiment möglich wäre. Also da muss ich dann schon von diesem Setting forschendes Lernen weggehen, uhm, dass ich ihnen quasi die Fragen so stelle, dass sie zu den Forschungsfragen rascher hinkommen, wo anderer vielleicht mehr Vorbereitungszeit schon gehabt haben. Uhm, [lange Pause], jetzt wollte ich noch etwas dazu sagen. Direkt im Unterricht, ja Leute, es gibt auch immer wieder Schülerinnen und Schüler, die ansich schwer zu motivieren sind irgendetwas zu tun. Uhm, die könnte man aus solchen Gruppen dann herausnehmen und sie alleine experimentieren lassen. Das ist auch eine Möglichkeit, oder ich bilde eine konkrete Gruppe aus den zwei, drei Schülern, die nicht arbeiten wollen, weil sie halt, ja, in der bequemen Rolle des Zusehers,

der Zuseherin sind. Ich könnte genau diese Schüler rausnehmen und sagen so, ihr zwei seids jetzt eine Gruppe. Jetzt arbeitets ihr. Das kann ich bewusst setzten oder rein zufälligerweise gehen sich halt die Gruppen, dass diese Schüler, die sich normalerweise eher in der Zuseherrolle sehen, dann eine eigene Gruppe bilden. Dass ich sie dann quasi zwinge dazu, ja. Also diese Dynamik in der in der Klasse, das hat man als Lehrer dann bald einmal heraus. Es sind immer wieder dieselben Schüler, die halt nur zusehen wollen und dann bilde ich halt einmal die Gruppen genau so, dass sie arbeiten müssen.

21. [00:17:43] A: Gut. Damit wären alle meine Fragen beantwortet. Vielen Dank nochmals, dass Sie sich für dieses Interview Zeit genommen haben.

22. [00:17:50] B: Ja, danke ebenfalls.