



universität  
wien

# MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Forschendes Lernen zum Thema Elektrochemie in der  
Sekundarstufe I: Anpassung, Einsatz & Evaluation einer  
digitalen Lernumgebung“

verfasst von / submitted by

Elisabeth Pesendorfer, BSc BEd

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

Wien 2022 / Vienna 2022

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

UA 199 502 504

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

Masterstudium Sek (AB) Unterrichtsfach Biologie und  
Umweltkunde Unterrichtsfach Chemie

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Prof. Dipl. Ing. Mag. Dr. Brigitte Koliander



## 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, im September 2022

---

Elisabeth Pesendorfer, BSc BEd



## Zusammenfassung

Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit der Evaluierung der Einheit für die Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ von Inquiryteps.com, einer digitalen Lernplattform zur Unterstützung Forschenden Lernens. Lernende einer 7. Schulstufe arbeiteten mit der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“. Es wurden die Lernendenvorstellungen zur Elektrochemie von den Lernenden erhoben und untersucht, ob diese Lernendenvorstellung durch eine Einheit Forschendes Lernen zur Elektrochemie nachhaltig verändert werden konnten. In Zusammenhang damit wurde die Fähigkeit der Lernenden der 7. Schulstufe analysiert, die submikroskopische Ebene zur Erklärung elektrochemischer Vorgänge heranzuziehen. Des Weiteren wurde untersucht, inwieweit das digital bereitgestellte Scaffolding das selbstständige Arbeiten der Lernenden fördert. Die durch Fragebögen und Protokollmitschriften der Lernenden gesammelten Daten wurden mittels qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring ausgewertet. Die Auswertung der Daten ergab, dass Lernende einer 7. Schulstufe mit dem digital bereit gestelltem Scaffolding gut zurechtkommen, aber für diese Altersstufe bei Forschendem Lernen auf Level 2 zusätzliches Scaffolding notwendig ist. Die Lernenden zeigten die aus der Literatur bekannten Vorstellungen zur Elektrochemie. Diese konnten während des Arbeitens zwar fachlich angemessen verändert werden, zeigten sich aber vor allem auf makroskopischer Ebene als sehr beständig. Generell zeigten die Lernenden die Tendenz, die elektrochemischen Vorgänge auf makroskopischer Ebene oder mit einer Mischform aus makro- und submikroskopischer Ebene zu erklären. Rund ein Fünftel zog die submikroskopische Ebene zur Erklärung heran. Dies weist darauf hin, dass die Lernenden sich in diesem Alter in einem Übergangsstadium der kognitiven Entwicklung nach Piaget befinden.

## Abstract

In this master thesis a lesson with the learning package from the website Inquiryteps.com, a digital platform for inquiry based learning, was evaluated. 7<sup>th</sup> grade learners worked with the “Lernschachtel” (learning package) on the topic “Electrochemistry – introduction”. Preconcepts about electrochemistry were collected from the learners. It was examined, if these preconcepts could be permanently changed within one unit of inquiry based learning on electrochemistry. In this context the ability of the learners to use the submicroscopic level to explain electrochemical processes was analyzed. Furthermore it was examined, if the digitally provided scaffolding helped the learners to work mostly independent. The data collected through questionnaire and protocol notes from the learners were analyzed with Mayring’s qualitative content analysis. The evaluation of the data showed, that learners in a 7<sup>th</sup> grade can work independently with the digitally provided scaffolding, but additional scaffolding is necessary for this age group with inquiry based learning at level 2. The students showed the known preconcepts of electrochemistry from literature. Although these could be changed while working with Inquiryteps.com, the preconcepts proved to be very stable, especially on a macroscopic level. In general, the learners showed a tendency to explain the electrochemical processes on a macroscopic level or on a mixture of macro- and sub-microscopic levels. Around a fifth of the learners used the submicroscopic level for explanation. This indicates that learners at this age are in a transitional stage of Piagetian cognitive development.

## Danksagungen

Zunächst möchte ich mich bei allen Studienkolleginnen und Studienkollegen, sowie Professorinnen und Professoren für die Begleitung und gute Zusammenarbeit während meines Studiums bedanken.

Besonderer Dank gilt Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens für ihre Bereitschaft, diese Masterarbeit zu betreuen.

Ganz besonders möchte ich auch Prof. Dipl. Ing. Mag. Dr. Brigitte Koliander danken, die mich mit ihrer außerordentlich freundlichen und hilfsbereiten Art beim Verfassen dieser Masterarbeit unterstützt hat und immer ein offenes Ohr für mich hatte.

Ein großes Dankeschön möchte ich auch den Lernenden „meiner“ zwei 3. Klassen aussprechen, welche mit ihrem besonderen Arbeitseifer diese Masterarbeit erst ermöglicht haben.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Familie danken, die mich all die Jahre so liebevoll unterstützt hat:

Danke an meine Mutter und meinen Vater für die kontinuierliche Hilfe, Unterstützung und Zuwendung, die ich all die Jahre erfahren durfte. Ich möchte auch meinem Bruder Jakob danken, der mir immer wieder mit seinem fachlichen Wissen weitergeholfen hat. Ebenso danke ich meiner Schwägerin Laura, die immer ein offenes Ohr für mich hatte, wenn es einmal nicht so rund lief.

Besonders möchte ich auch meinem Ehemann Stefan danken, der mir mit seinem Humor und seiner Stärke durch manches Tief geholfen hat und mich immer wieder zum Lachen gebracht hat. Das größte Dankeschön richtet sich aber an unsere ungeborene Tochter. Sie hat mir mit der freudigen Nachricht über ihre baldige Ankunft Kraft und Motivation für den Abschluss meines Studiums gegeben.

## Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung.....	1
Zusammenfassung .....	3
Abstract .....	3
Danksagungen .....	4
Einleitung .....	8
Leitfragen des Forschungsvorhabens .....	10
<b>THEORETISCHER TEIL</b> .....	12
1. Forschendes Lernen .....	12
1.1. Definition von Forschendem Lernen .....	12
1.1.1. Einteilung von Forschendem Lernen im Unterricht in Levels .....	14
1.1.2. Merkmale von Forschendem Lernen.....	16
1.2. Ziele von Forschendem Lernen .....	18
1.3. Modelle für den Forschungsprozess und Organisationsmodelle für Forschendes Lernen .....	19
1.3.1. Modelle zur Abbildung des Forschungsprozesses .....	19
1.3.2. Organisationsmodelle für Forschendes Lernen .....	22
1.3.3. Inquirysteps.com .....	24
1.4. Scaffolding bei Forschendem Lernen.....	24
1.4.1. Cognitive Load Theory .....	25
1.4.2. Kritik an Forschendem Lernen gegenüber anderen Lehrformaten .....	25
1.4.3. Scaffolding beim Forschenden Lernen .....	26
1.4.4. Makroscaffolding .....	27
1.4.5. Mikroscaffolding.....	28
1.5. Elektronische Hilfen beim Forschenden Lernen .....	29
1.5.1. Digitales Scaffolding beim Forschenden Lernen .....	29
2. Fachliche Klärung – Elektrochemie.....	31
2.1. Atombau .....	31
2.2. Ionen .....	32
2.3. Redoxreaktionen.....	33
2.4. Die Redoxreihe und die elektrochemische Spannungsreihe.....	35
2.5. Oxidationszahl .....	39
2.5.1. Oxidationsstufen von Eisen.....	39
2.5.2. Oxidationsstufen von Kupfer .....	41
2.6.Zementation und Galvanisches Element .....	42

3.	Lernendenvorstellungen zum Thema Elektrochemie .....	45
3.1.	Definition und Erforschung von Lernendenvorstellungen .....	45
3.1.1.	Definition des Begriffs „Lernendenvorstellung“ .....	45
3.1.2.	Begründung der Erforschung von Lernendenvorstellungen .....	45
3.2.	Entstehung von Lernendenvorstellungen .....	46
3.2.1.	Präkonzepte .....	47
3.2.2.	Fehlkonzepte .....	47
3.3.	Bekannte Lernendenvorstellungen zur Elektrochemie .....	48
3.3.1.	Lernendenvorstellungen zum Aufbau der Materie und Atombau.....	48
3.3.2.	Lernendenvorstellungen zu Ionen und Salze .....	49
3.3.3.	Lernendenvorstellung: Sauerstoff in Redoxreaktionen.....	50
3.3.4.	Lernendenvorstellungen zu elektrochemischer Abscheidung, Fällungsreaktion, Zementation .....	51
3.3.5.	Lernendenvorstellungen zu Ladungstransport in Elektrolyten .....	52
4.	Didaktische Besonderheiten beim Unterrichten von Elektrochemie in der Sekundarstufe I .....	53
4.1.	Lehrplanbezug zur Elektrochemie in der Sekundarstufe I .....	53
4.2.	Kompetenzmodell Chemie – Sekundarstufe I .....	54
4.3.	Johnstone-Dreieck: Die drei Ebenen in der Chemie .....	57
4.4.	Kognitive Entwicklung nach Piaget .....	58
	<b>EMPIRISCHER TEIL</b> .....	60
5.	INQUIRYsteps – die Website Inquirysteps.com .....	60
6.	Die Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ .....	61
6.1.	Aufgabe 1: Welches von beiden Metallen kannst du oxidieren? .....	62
6.2.	Aufgabe 2: Was stimmt bei den Aussagen nicht? .....	64
6.3.	Aufgabe 3: Kannst du die Metalle vom unedelsten zum edelsten Metall ordnen? .....	68
6.4.	Aufgabe 4: Kannst du nun Vorhersagen machen? .....	72
7.	Beschreibung der Lerngruppe.....	77
7.1.	Die Lerngruppen.....	77
7.1.1.	7.Schulstufe: Klasse A .....	77
7.1.2.	7. Schulstufe: Klasse B.....	78
8.	Beschreibung der Erhebungsmethoden.....	79
8.1.	Beschreibung des Vorgehens.....	79
8.1.1.	Fragebogen: Lernendenvorstellungen zum Thema Elektrochemie in der 7. Schulstufe.....	79
8.1.2.	Protokollvorlage zur Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ .....	80

8.1.3. Abschlussbefragung .....	80
9. Darstellung und Analyse der Daten .....	82
9.1. Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring .....	82
9.1.1. Zusammenfassung durch induktive Kategorienbildung nach Mayring .....	83
9.1.2. Schritte der zusammenfassenden qualitativen Inhaltsanalyse .....	84
9.2. Fragebogen über bestehende Lernendenvorstellungen zur Elektrochemie .....	85
9.3. Daten der Protokollvorlagen .....	89
9.4. Daten aus der Abschlussbefragung .....	97
10. Interpretation .....	110
10.1. Wie gehen Lernende einer 7. Schulstufe mit der digitalen Lernumgebung von Inquirysteps.com um? .....	110
10.2. Untersuchung der Lernendenvorstellung zum Thema Elektrochemie in einer 7. Schulstufe .....	113
10.3. Fähigkeit der Lernenden zur Erklärung der chemischen Vorgänge auf submikroskopischer oder makroskopischer Ebene .....	115
11. Fazit und Ausblick .....	117
Literaturverzeichnis .....	122
Abbildungsverzeichnis .....	127
Anhang .....	130
Planungsraster zum Unterrichtsverlauf .....	130
Fragebogen zu ursprünglichen Lernendenkonzepten .....	134
Lernschachtel zur Elektrochemie .....	136
Abschlussbefragung – Elektrochemie mit Inquirysteps.com .....	142

## Einleitung

Forschendes Lernen als konstruktivistisch angelegter Unterrichtsansatz zielt darauf ab, dass Lernende je nach Level selbstständig, in ihrem eigenen Tempo und explorativ neue Fachinhalte erlernen beziehungsweise Forschungsprozesse nachempfinden können. Vor allem in Zeiten steigender Wissenschaftsskepsis ist es unter anderem wichtig, den Weg des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses nachvollziehen zu können. Viele Lernende wissen vor allem in der Sekundarstufe I nicht, wie Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler neue Erkenntnisse generieren, wie man selbstständig Hypothesen aufstellt und zu naturwissenschaftlichen Fragestellungen Untersuchungen plant, wie man Variablen kontrollieren kann oder wie man aus gewonnenen Daten Schlüsse zieht (Arnold et al., 2017; Grube, 2010). Umso wichtiger war es mir, diese Kompetenzen bereits im Anfangsunterricht von Chemie zu vermitteln. Ich wollte daher Forschendes Lernen im Rahmen meiner Masterarbeit näher behandeln.

Digitale Unterrichtsmaterialien nehmen in den letzten Jahren, bedingt durch die Digitalisierung des Unterrichts, immer mehr an Relevanz zu. Vor allem die Corona-Pandemie hat gezeigt, welches Potential in online verfügbaren digitalen Medien steckt und wie man diese digitalen Medien sinnvoll für Unterricht nutzen kann. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde die Website [Inquirysteps.com](https://www.inquirysteps.com), eine digitale Plattform zur Unterstützung von Forschendem Lernen, gemeinsam mit zwei Klassen einer 7. Schulstufe eines Wirtschaftskundlichen Gymnasiums evaluiert. Die Lernenden führten eine Unterrichtseinheit zur Elektrochemie durch, wobei das auf der Plattform bereitgestellte Scaffolding, beispielsweise Tippkarten, Videos oder Concept Cartoons, mit den Lernenden analysiert wurde.

Elektrochemie ist ein zentrales Thema im Chemieunterricht, sowohl der Sekundarstufe I als auch der Sekundarstufe II. Ein Verstehen des Prinzips der Elektronenübertragung, also der Oxidation und der Reduktion sowie das Verstehen, wann ein Reaktionspartner oxidiert oder reduziert wird, ist ausschlaggebend, damit viele Prozesse aus Industrie und Alltag erfasst werden können. Weiters sind Redoxreaktionen als Grundlage der Elektrochemie ein wichtiges Beispiel für Reaktionen nach dem Donator-Akzeptor-Prinzip – ein zentrales Basiskonzept in der Chemie. Auch der österreichische Lehrplan sieht eine tiefgreifende Auseinandersetzung mit der Elektrochemie vor. So schreibt der Lehrstoff für die 3. Klasse AHS eines Wirtschaftskundlichen Gymnasiums ein „Verstehen der Kopplung von Oxidation und Reduktion anhand einfacher Beispiele aus den Bereichen Verbrennung, Stoffwechsel, Zersetzungen, Elektrolyse, Energiequellen und Korrosion“ vor (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2000). Viele Lernende sind von der anfänglichen Komplexität der Elektrochemie verwirrt oder gar abgeschreckt. Daher hat es mich unter anderem interessiert, wie Lernende durch den Unterrichtsansatz des Forschenden Lernens einen konstruktivistischen und selbstbestimmten Zugang zu diesem Thema erlangen und ob es so gelingt der Elektrochemie den „Schrecken“ zu nehmen.

Für das „Verstehen der Kopplung von Oxidation und Reduktion anhand einfacher Beispiele aus den Bereichen Verbrennung, Stoffwechsel, Zersetzung, Elektrolyse, Energiequellen und Korrosion“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2000) ist es für

Lehrende und Lernende notwendig, fachlich korrekte Konzepte zu entwickeln und bestehende Lernendenvorstellungen weiterzuentwickeln. Daher wurden die Lernendenvorstellungen der Lernenden erhoben und versucht, diese durch Scaffolding in fachlich korrekte Konzepte zu verändern. Lernendenvorstellungen können den Lernprozess behindern und hartnäckig sein (Barke, 2006; Reiners & Saborowski, 2017). Lernendenvorstellungen wurzeln in der Erfahrungswelt der Lernenden. Die Lernenden nehmen ihre Umwelt aufmerksam wahr, beobachten Phänomene und stellen anhand dieser Beobachtungen Erklärungen auf. Lernende der 7. Schulstufe befinden sich nach der Definition von Piaget in einem Übergangsstadium der kognitiven Entwicklung und lernen in dieser Phase abstrakte Gedanken und Formulierungen von ihrer unmittelbaren Beobachtung zu trennen. Es war daher auch interessant zu analysieren, ob und wie die Lernenden der 7. Schulstufe das Konzept der Elektrochemie, welches nur auf der submikroskopischen Ebene widerspruchsfrei erklärt werden kann, auf der submikroskopischen Ebene erklären konnten oder ob sie auf der Phänomenebene, also der makroskopischen Ebene, verbleiben.

## Leitfragen des Forschungsvorhabens

Die Website [Inquirysteps.com](https://www.inquirysteps.com) bietet Lernenden eine digitale Lernumgebung zur Unterstützung von Forschendem Lernen. Auf der Website findet man angeleitete Lerneinheiten zu Lernschachteln – das sind Boxen mit unterschiedlichem, festgelegtem Material, bei denen unterschiedliche, vorgegebene naturwissenschaftliche Fragestellungen bearbeitet und beantwortet werden sollen. [Inquirysteps.com](https://www.inquirysteps.com) bietet dabei Scaffolding gemäß dem Unterrichtsprinzip des Forschenden Lernens, das heißt Lernende können naturwissenschaftliche Praxis in unterschiedlichster Form nachempfinden und selbst Erkenntnisse generieren und werden dabei durch das Scaffolding auf der Lernplattform unterstützt oder angeleitet. Inwiefern die Lernenden selbstständig arbeiten hängt dabei vom Level des Forschenden Lernens ab (Level 0-3) (Blanchard et al., 2010). Bei der Bearbeitung der Lernschachtel zum Thema Elektrochemie wird auf Level 1 und Level 2 gearbeitet (siehe Kapitel 1.1.). Um kognitiver Überlastung entgegenzuwirken sind Scaffolds, sogenannte „Stützen“, notwendig. Man unterscheidet zwischen Microscaffolds, welche sich aus Unterrichtssituationen heraus ergeben, und Macroscaffolds. Macroscaffolds beschreiben die durch vorausschauende Unterrichtsplanung gegebenen Unterstützungen. Es werden die wichtigsten Schritte des Forschenden Lernens (Fragestellung und Hypothese formulieren, Untersuchung planen, Analyse und Interpretation der Daten) durch gezielte Hilfestellungen erleichtert (Hofer, 2020).

[Inquirysteps.com](https://www.inquirysteps.com) bietet als digitale Lernumgebung zur Unterstützung Forschenden Lernens zur Lernschachtel „Elektrochemie“ eine Vielzahl an Macroscaffolds in Form von Tippkarten (Gestufte Lernhilfen) und einen Concept Cartoon. Im Rahmen der Untersuchung soll daher folgende Forschungsfrage beleuchtet werden:

- Wie gehen die Lernenden einer 7. Schulstufe mit der digitalen Lernumgebung von [Inquirysteps.com](https://www.inquirysteps.com) um?
- Inwieweit hilft das durch die Plattform bereitgestellte Scaffolding beim selbstständigen Arbeiten?
- In welchen Punkten kann [Inquirysteps.com](https://www.inquirysteps.com) verbessert werden?

[Inquirysteps.com](https://www.inquirysteps.com) setzt bei den Untersuchungen voraus, dass die Lernenden bei Redoxreaktionen das Elektronenübertragungsprinzip kennen. Im Unterricht wurden Redoxreaktionen als Elektronenübertragungsreaktionen beschrieben. Die Untersuchung wird in einer 7. Schulstufe durchgeführt, was bedeutet, dass die Lernenden zwischen 12 und 14 Jahre alt sind. Zieht man das Modell der kognitiven Entwicklung nach Piaget heran, so befinden sich die Lernenden gerade im Übergang vom konkret-operationalem Stadium zum formal-operationalen Stadium, in dem abstraktes Denken ausgereift wird (Goerigk & Schmithüsen, 2019).

Es stellt sich in diesem Zusammenhang daher eine weitere Forschungsfrage:

- Inwieweit ist es für die Altersgruppe (7. Schulstufe) möglich, bei Redoxreaktionen auch die submikroskopische Ebene für Erklärungen heranzuziehen?
- Inwieweit bleiben sie mit ihren Erklärungen auf der makroskopischen Ebene?

Weiters ist für eine gute und vorausschauende Unterrichtsplanung und für gutes Macroscaffolding das Wissen um Lernendenvorstellungen zur Elektrochemie wichtig. Dazu wurde den Lernenden im Vorfeld der Unterrichtseinheit zur Elektrochemie, also ohne jegliches Vorwissen seitens der Lernenden, ein Versuch gezeigt, welcher im späteren Verlauf von den Lernenden auch bei [inquirysteps.com](http://inquirysteps.com) bearbeitet werden soll – es handelt sich um die elektrochemische Abscheidung von Kupfer aus einer Kupfersulfatlösung an einem Eisendraht. Mittels Fragebogen wurden die Lernenden nach einer Erklärung zum beobachteten Phänomen der Kupferabscheidung gebeten. Im Anschluss an die Unterrichtseinheit wurden die Lernenden nochmals schriftlich mittels Fragebogen zu diesem Phänomen befragt. Es soll in diesem Zusammenhang folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche Lernendenvorstellungen zeigen die Lernenden vor dem Unterricht zu Redoxreaktionen?
- In welcher Weise verändern sich die Lernendenvorstellungen durch die Einheit des Forschenden Lernens zum Thema der Elektrochemie?

# THEORETISCHER TEIL

## 1. Forschendes Lernen<sup>1</sup>

### 1.1. Definition von Forschendem Lernen

Die Bedeutung von Forschung für den Fortschritt der Gesellschaft ist vor allem auch in Zeiten der zunehmenden Wissenschaftskepsis ein besonders wichtiges Thema. Die reflektierte Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlicher Forschung sollte daher ein wesentliches Anliegen von Chemieunterricht sein. Aus diesem Grund findet auch das Konzept des Forschenden Lernens, auch Inquiry Based Learning genannt, großen Anklang in der Chemiedidaktik, jedoch ist das Konzept im praktisch durchgeführten Chemieunterricht noch nicht gänzlich implementiert (Abrams et al., 2008).

Doch was genau versteht man unter Forschendem Lernen? Anderson kritisierte noch 2007, dass die wissenschaftliche Community im Bereich der Didaktik und Pädagogik Forschendes Lernen als Unterrichtskonzept zwar gut angenommen hätte, der Begriff aber nie wirklich definiert wurde. Vielmehr nimmt man im Diskurs über Forschendes Lernen an, dass jeder weiß worüber genau gesprochen wird (Anderson, 2007).

Seit vielen Jahren wurden immer wieder Versuche unternommen eine allgemeingültige Definition für Inquiry oder auch Inquiry Based Learning zu finden. John Dewey stellte erste Überlegungen an, was Inquiry, also das Untersuchen von Phänomenen oder Fragestellungen, überhaupt ausmacht und definierte den Begriff wie folgt:

*„Inquiry is the controlled or directed transformation of an indeterminate situation into one, that is so determinate in its constituent distinctions and relations as to convert the elements of the original situation into a unified whole.“* (Dewey, 1938)

Ausgangspunkt für Inquiry ist, laut Dewey, ein Problem, ein Phänomen oder eine Situation, welche Klärung bedarf. Es wird eine fragende Haltung eingenommen und versucht, das Problem an sich zu identifizieren. Die Identifikation des Problems stellt den ersten Schritt zur Lösung desselben dar. Als nächsten Schritt im Prozess von Inquiry nennt Dewey Sammlung und Auswertung von relevanten Daten, welche dabei helfen sollen, das Anfangsproblem zu lösen beziehungsweise die anfängliche Situation kohärent darzustellen (Dewey, 1938)

Inquiry bedeutet also wissenschaftlich zu denken und neue Probleme mithilfe einer wissenschaftlichen Vorgehensweise zu bearbeiten. Wendet man nun Inquiry als Unterrichtsansatz an, so spricht man von Inquiry Based Learning, welches in dieser Arbeit als „Forschendes Lernen“ übersetzt und dem Inquiry Based Learning gleichgestellt ist. Die Ziele, die mit Forschendem Lernen im Unterricht verfolgt werden sind vielfältig und werden in einem späteren Kapitel weiter vertieft.

---

<sup>1</sup> Die Begriffe Inquiry, Inquiry Based Learning sowie Forschendes Lernen und Abwandlungen dieses Begriffes werden in dieser Arbeit als Eigennamen angesehen und somit als Nomen geschrieben

Im Grunde gilt jegliche kognitive Aktivität von Lernenden, die in irgendeiner Weise wissenschaftliche Praxis widerspiegelt als Forschendes Lernen. Beispiele dafür könnten sein: Recherche von Literatur, Beantwortung von Fragen oder Lösen von Problemen anhand wissenschaftlichen Vorgehens (Abrams et al., 2008).

Reitinger definiert den Terminus Forschendes Lernen ähnlich, geht dabei aber auf die psychologischen und sozialen Grundprinzipien ein, die beim Forschenden Lernen erfüllt werden: Forschendes Lernen sei der Prozess, bei der Lernende autonom Fragestellungen nach einem strukturierten Prozess (ähnlich wie bei Dewey beschrieben) zu beantworten versuchen. Lernende sind dabei von Neugierde angetrieben (Reitinger, 2013).

Diese Beschreibung von Forschendem Lernen kann allerdings nicht kritiklos übernommen werden, da Reitinger hier Forschendes Lernen auf Level 3 beschreibt, bei denen Lernende Fragestellung selbst formulieren und Untersuchungsmethoden selbstständig planen. Allerdings können auch Untersuchungen sowohl auf Level 1 (Fragestellung und Untersuchungsmethode sind vorgegeben, Interpretation der Daten erfolgt durch Lernende) als auch auf Level 2 (Fragestellung ist vorgegeben, Untersuchungsmethode und Interpretation der Daten erfolgt durch die Lernenden) als Forschendes Lernen angesehen werden (Abrams et al., 2008).

### 1.1.1. Einteilung von Forschendem Lernen im Unterricht in Levels

Die Klärung des Zieles, welches im Unterricht verfolgt werden soll, ist maßgeblich für die Konstruktion des Unterrichts (Abrams et al., 2008). Die Planung des Unterrichts und die Wahl des Levels (siehe unten) richtet sich aber auch nach der Fähigkeit der Lernenden Problemstellungen zu erkennen, geeignete Fragestellungen zu entwickeln oder passende Untersuchungsmethoden auszuwählen (Koliander et al., 2019).

Um das Setting besser einordnen zu können entwickelte Schwab 1962 eine Skala, die die Art und Weise der Betreuung durch die Lehrperson verortete, beziehungsweise die Offenheit des Unterrichts beschreibt (Koliander et al., 2019).

Im Folgenden sind die unterschiedlichen Levels von Forschendem Lernen (Inquiry) aufgelistet (Abrams et al., 2008; Blanchard et al., 2010; Colburn, 2000)

Bezeichnung der Levels nach Schwab	Bezeichnung der Levels nach Colburn	Bezeichnung der Levels nach Blanchard	Ursprung der Fragestellung/ der Problemstellung	Untersuchungs- -methode/ Methode zur Datenerhebung	Interpretation der Daten/ Auswertung
Level 0	Structured	Level 0: Verification	vorgegeben durch Lehrperson	vorgegeben durch Lehrperson	vorgegeben durch Lehrperson
Level 1	Guided	Level 1: Structured	vorgegeben durch Lehrperson	vorgegeben durch Lehrperson	durch Lernende
Level 2		Level 2: Guided	vorgegeben durch Lehrperson	durch Lernende	durch Lernende
Level 3	Open	Level 3: Open	durch Lernende	durch Lernende	durch Lernende

Abbildung 1: Level des Forschenden Lernen anhand der Offenheit der Aufgabestellung – Eigene Darstellung nach Abrams, Blanchard und Colburn (Abrams et al., 2008; Blanchard et al., 2010; Colburn, 2000)

- Level 0/ Structured Inquiry/Verification:  
Bei Forschendem Lernen auf dem Level 0 werden sowohl Fragestellung als auch Erhebungsmethoden und Interpretation der Daten von der Lehrperson vorgegeben. Somit zählen auch chemische Versuche, die als „Kochrezept“ konzipiert sind zum Forschenden Lernen, wenn dabei eine Frage gestellt wird und auch eine Beantwortung dieser möglich ist, da auch hier Wissen generiert wird (Blanchard et al., 2010). Level 0 entspricht Colburns „Structured Inquiry“ (Abrams et al., 2008). Versuche auf Level 0 können dazu dienen, dass Lernende Datenerhebungsmethoden und die einzelnen Schritte kennenlernen, die für Untersuchungen wichtig sind (Fragestellung konzipieren, Datenerhebung, Datenauswertung) (Koliander, 2020), oder über bestimmte Fachinhalte mehr zu lernen (Abrams et al., 2008).
- Level 1/ Guided Inquiry/Structured Inquiry:  
Fragestellung und Methode, sowie Materialien und Equipment wird von der Lehrperson vorgegeben. Die Interpretation der Daten obliegt den Lernenden. Hier wird den Lernenden Verantwortung in einem zentralen Punkt von Forschung zugetragen (Abrams et al., 2008). Level 1 stellt den ersten Schritt weg von „Kochbuchrezepten“ dar (Colburn, 2000). Level 1 bietet sich vor allem für Versuche an, bei denen der Fokus darauf liegt, dass Lernende üben, Daten aus durchgeführten Untersuchungen zu interpretieren (Koliander, 2020).
- Level 2/Guided Inquiry  
Bei Level 2 werden die Lernenden lediglich mit einer Fragestellung konfrontiert, welches zu untersuchen ist. Weiters werden ihnen Materialien zur Verfügung gestellt. Die Auswahl der Untersuchungsmethode müssen die Lernenden selbstständig treffen, sowie die Daten selbst interpretieren (Colburn, 2000). Level 2 bietet sich vor allem dann an, wenn die Lernenden unter Einbeziehung des eigenen Vorwissens mehr über wissenschaftliche Erkenntnisprozesse erfahren und diese nachempfinden sollen (Koliander, 2020). Schwabs Level 1 und 2 sowie Blanchards Kategorisierung Structured und Guided Inquiry wird bei Colburn als „Guided Inquiry“ zusammengefasst.
- Level 3/Open Inquiry  
Lernende sind frei eigene Problemstellungen zu untersuchen und geeignete Fragestellungen zu generieren. Die Planung und Durchführung der Datenerhebung, sowie die Interpretation der Daten wird ebenfalls von den Lernenden selbstständig durchgeführt. Die Lehrperson begleitet beim fachlichen und methodischen Vorgehen und gibt den organisatorischen Rahmen vor. Ähnlich wie Level 2 eignet sich Level 3, wenn wissenschaftliche Erkenntnisprozesse nachempfunden werden sollen. Zusätzlich zur selbstständigen Formulierung einer Hypothese, Auswahl einer passenden Untersuchungsmethode, sammeln und interpretieren der Daten, soll die Fragestellung durch die Lernenden selbst gewählt werden (Koliander, 2020).

Wie bereits am Anfang dieses Kapitels dargelegt, korreliert die Auswahl des Levels stark mit dem beabsichtigten Lehrziel. Es ist nicht ratsam unerfahrene Lernende eine Untersuchung auf Level 3 selbstständig durchführen zu lassen. Allerdings ist auch bei bereits erfahrenen Lerngruppen Level 3 nicht immer zielführend.

Ist das geplante Unterrichtsziel, dass die Lernenden über einen bestimmten Fachinhalt mehr lernen oder ist sowohl Zeit als auch Material knapp, so eignet sich ein eher geschlossenes Format von Forschendem Lernen – etwa Level 0 oder 1 nach Schwab. Möchte die Lehrperson jedoch, dass die Lernenden mehr über den Forschungsprozess selbst lernen und diesen auch üben, so eignet sich definitiv ein offeneres Format, wie etwa Level 2 oder 3 nach Schwab. Voraussetzung für Forschendes Lernen auf Level 2 oder 3 ist, dass jedenfalls ausreichend Zeit und genügend Material vorhanden ist, um Untersuchungen zu einer vorgegebenen (Level 2) oder einer von den Lernenden selbst formulierten Fragestellung (Level 3) zu planen und durchzuführen (Abrams et al., 2008; Koliander, 2020).

### 1.1.2. Merkmale von Forschendem Lernen

Der Ansatz des Forschenden Lernens weist gewisse Merkmale auf. Forschendes Lernen wird als kognitive Handlung verstanden, welche Forschung im schulischen Kontext mehr oder weniger realitätsnah abbilden möchte. Daraus ergeben sich vier Handlungsdomänen, die je nach Level erfüllt werden (Reitinger, 2013):

- Erfahrungsbasiertes Hypothesisieren:  
Hypothesenbildung ist ein zentraler Aspekt von Unterrichtsettings im Kontext von Forschendem Lernen. Die Lernenden werden im Unterricht mit einem Problem oder Phänomen konfrontiert und stellen aufgrund ihrer Erfahrungen und ihres Vorwissens Vermutungen und mögliche Erklärungsmuster auf (Koliander et al., 2019; Reitinger, 2013).
- Selbstständiges Explorieren:  
Bei offeneren Formen Forschenden Lernens, also beispielsweise ab Level 2, bestimmen die Lernenden selbstständig passende Untersuchungsmethoden. Dieser Vorgang wird von der Lehrperson bei Bedarf durch sogenanntes Scaffolding unterstützt und soll den Lernenden zusätzliche Sicherheit bieten. Es soll hier betont werden, dass die selbstständige Wahl der Untersuchungsmethode für eher geschlossene Formen des Forschenden Lernens, also Level 0 oder Level 1, nicht vorgesehen ist (Arnold et al., 2017; Hofer, 2020; Koliander et al., 2019; Reitinger, 2013).
- Kritischer Diskurs:  
Da durch Forschendes Lernen Wissen konstruktivistisch generiert werden soll ist ein kritischer Diskurs der Lernenden nötig, um Hypothesen, Daten und Interpretationen zu reflektieren oder den persönlichen Wertebezug zum neu Gelernten herzustellen (Reitinger, 2013). Die Lernenden können durch Diskurs voneinander lernen (Koliander et al., 2019). Die Lehrperson hat hier nur eine unterstützende Rolle und soll die

Lernenden anregen – man spricht auch von Mikroscaffolding. Unterstützung die während der Planung antizipiert wurde und welche dementsprechend vorbereitet wurde (zum Beispiel in Form von Tippkarten), wird auch Macroscaffolding genannt (Hofer, 2020).

- Conclusiobasierter Transfer:

Conclusiobasierter Transfer beschreibt entweder die Anwendung des neu erworbenen Wissens oder die Präsentation des Erlernten vor einem (Fach-)Publikum. Die Veröffentlichung von Forschungsergebnissen stellt eine gewisse Authentizität von Forschung dar. Durch die Präsentation des neu konstruierten Wissens kann ein Kompetenzerleben in den Lernenden entstehen und ist somit für die intrinsische Motivation förderlich (Deci & Ryan, 1993; Reitinger, 2013).

## 1.2. Ziele von Forschendem Lernen

Arrangements für Forschendes Lernen in der Schule sollen allgemein wissenschaftliche Arbeitsweisen und wissenschaftliches Denken begreifbar machen (C. S. Reiners, 2017).

Sowohl Wulf als auch Abrams benennen drei Ziele, die mit Arrangements für Forschendes Lernen erreicht werden können. Abrams beschreibt diese Ziele, die Forschendes Lernen verfolgt, wie folgt (Abrams et al., 2008):

- Learning about inquiry
- Learning to inquire
- Constructing learner's scientific knowledge

Auch Wulf et al., 2020 beschreiben ähnliche formulierte Ziele:

- *Forschen Lernen*
- *Forschendes Lernen*
- *Lernendes Forschen*

Wulf beschreibt diese drei Nahziele anhand einer Achse, bei der „von links nach rechts“ vorgegangen werden muss. Zuerst müssen Lernende wissenschaftliche Methoden, Arbeits- und Denkweisen erlernen (*Forschen Lernen*), bevor sie durch Forschung neue Erkenntnisse gewinnen und neue Fachinhalte erlernen können (*Lernendes Forschen*).

Ziel von Forschendem Lernen ist es also nicht nur Fachinhalte zu vermitteln (*Constructing learner's scientific knowledge*), sondern den Lernenden generell das Wesen von Forschung näher zu bringen (*Learning about inquiry*). *Learning about inquiry* beschreibt, dass Lernende unter Anleitung (einer Lehrperson) erfahren, wie naturwissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden, wie man diese Erkenntnisse validieren kann und wie naturwissenschaftliche Erkenntnisse im Alltag integriert sind. Im angloamerikanischen Raum sind diese Inhalte im Begriff *Nature of Science (NOS)* impliziert, welcher eine Art Metawissen über naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen beschreibt (C. S. Reiners, 2017). *Nature of Science (NOS)* ist abzugrenzen von *Nature of Scientific Inquiry (NOSI)*. *NOSI* beschreibt die Natur der naturwissenschaftlichen Erkenntnismethode an sich. Sowohl *NOS* als auch *NOSI* sind theoretische Begriffe und beschreiben eher das Verständnis von Forschung und wissenschaftlichen Arbeitsprozessen als die prozedurale Ebene der Forschungsarbeit selbst (Arnold et al., 2017).

Ein weiteres Ziel von Forschendem Lernen ist es, selbstständig aus Daten logische Schlussfolgerungen zu ziehen und Daten zu interpretieren (*Learning to inquire*) (Abrams et al., 2008).

Die Benennung der Lehrziele ist bei der Unterrichtsplanung wichtig, um das für das angestrebte Lehrziel und für die Lernenden angemessene Level (Level 0-3) zu wählen (siehe Kapitel 1.1.1.)

### 1.3. Modelle für den Forschungsprozess und Organisationsmodelle für Forschendes Lernen

Wie schon in vorigen Kapiteln beschrieben soll Forschendes Lernen den Lernenden ermöglichen, die einzelnen Schritte eines Forschungsprozesses so realitätsnah und selbstständig wie möglich nachzugehen. Um wissenschaftliche Forschungsprozesse nachvollziehen zu können wurden mehrere Modelle entwickelt, die den Forschungsprozess abbilden sollen. Da Forschendes Lernen an diesen Forschungsprozess angelehnt ist, hat sich in fachdidaktischen Forschungskreisen über die Jahre unterschiedliche Organisationsmodelle entwickelt, welche eine Planungsgrundlage für Forschendes Lernen bieten. Im Folgenden sind einige dieser Modelle beschrieben

#### 1.3.1. Modelle zur Abbildung des Forschungsprozesses

##### Inquiry Cycle nach Barbara White und John Frederiksen

Forschendes Lernen folgt oft gewissen Forschungsphasen beziehungsweise Schritten, die in sich einen Kreislauf bilden. Im Laufe der Jahre wurde dieses Modell, oft auch *Inquiry Cycle* genannt, von vielen verschiedenen Fachdidaktikern und Fachdidaktikerinnen ähnlich beschrieben. Als Beispiel sei der Inquiry Cycle von White und Frederiksen (1998) genannt, welcher folgende Phasen im Forschungszyklus beschreibt:

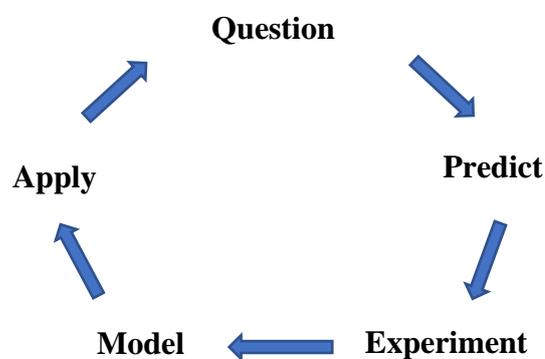


Abbildung 2: Eigene Darstellung des Inquiry Cycle nach White und Frederiksen (White & Frederiksen, 1998)

Zu Beginn soll eine wissenschaftliche Fragestellung generiert werden (*Question*). In weiterer Folge versucht man aufgrund von bestehender Erfahrung und Vorwissen Hypothesen sowie Alternativhypothesen zu bilden (*Predict*). Mit passenden Methoden soll diese Hypothese überprüft werden (*Experiment*). Anhand der generierten Daten erfolgt Interpretation und Theoriebildung (*Model*). In einem weiteren Schritt wird diese neu generierte beziehungsweise angepasste Theorie an weiteren Phänomenen getestet (*Apply*) und erweitert, indem neue Fragestellungen generiert werden (*Question*) (White & Frederiksen, 1998). In diesem Modell

nicht berücksichtigt, ist die ständige Interaktion der Lernenden sowie die übergeordnete Reflexion der einzelnen Phasen während des Forschungsprozesses durch die Lernenden. Ebenso nicht berücksichtigt wird der Diskurs mit Peers oder Lehrpersonen, sowie die Präsentation der Forschungsergebnisse.

#### Forschungsnetz nach Brigitte Koliander und Rosina Steininger

Ein Organisationsmodell des Forschenden Lernens, welches dem Inquiry Cycle ähnlich ist, ist das Forschungsnetz. Im Unterschied zum Inquiry Cycle von White und Frederiksen wird beim Forschungsnetz aber berücksichtigt, dass der Forschungsprozess selbst nicht streng linear verläuft, sondern dass während des Forschungsprozesses immer wieder neue Fragen und Probleme auftreten können, welche dazu führen, dass Fragestellungen und/oder Hypothesen angepasst werden müssen (Koliander & Steininger, 2018).

Beim Forschenden Lernen werden folgende Schritte im Forschungsnetz bearbeitet:

- Forschungsfragen entwickeln
- Hypothesen bilden
- Untersuchungen planen
- Versuche durchführen und Daten erheben
- Daten auswerten und interpretieren
- Ergebnisse präsentieren

(Koliander & Steininger, 2018)

Obwohl diese Schritte bei Unterrichtsettings im Kontext von Forschendem Lernen grundsätzlich zirkulär durchlaufen werden, wird in diesem Modell die Möglichkeit beschrieben, dass immer wieder Schritte „zurück“ gemacht werden können, um Fragestellungen oder Methoden an neue Erkenntnisse anzupassen. Nach der Präsentation der Ergebnisse werden neue Fragen generiert (Koliander & Steininger, 2018).

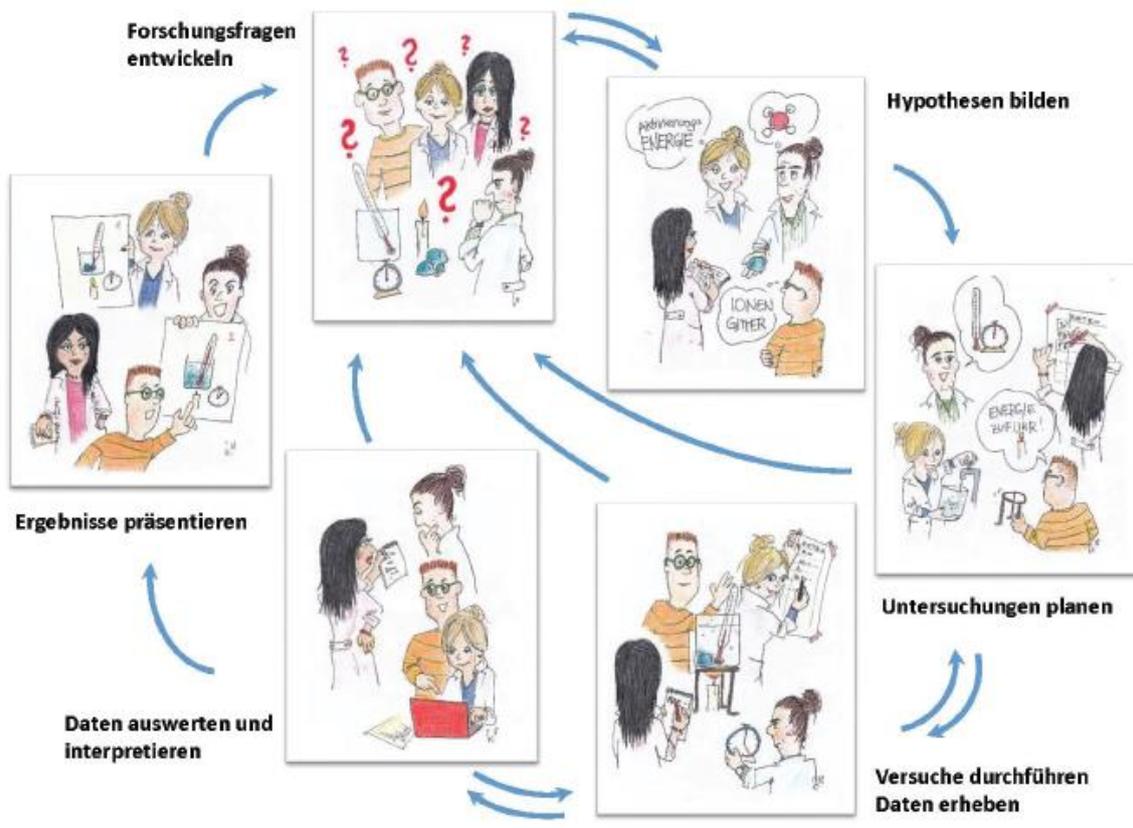


Abbildung 3: Forschungsnetz (Koliander & Steininger, 2018)

### 1.3.2. Organisationsmodelle für Forschendes Lernen

#### Das 5E-Modell nach Rodger Bybee

Ein weiteres Organisationsmodell für Forschendes Lernen ist das sogenannte 5E-Modell nach Rodger Bybee. Nach diesem Modell sollten im Unterricht vier Phasen durchlaufen werden:

- *Engage*
- *Explore*
- *Explain*
- *Extend*

Diesen vier Phasen übergeordnet ist die *Evaluate*-Phase, welche begleitend zu den anderen vier Phasen läuft (Bybee, 2015; Hofer et al., 2016).

- *Engage:*

In der Engage-Phase soll das Interesse der Lernenden geweckt werden (Hofer et al., 2016). Die Lehrperson bewerkstelligt dies durch Aufzeigen eines kognitiven Konflikts oder Präsentieren eines Phänomens, welches in den Lernenden eine fragende Haltung oder Neugier erzeugen soll (Bybee, 2015).

- *Explore:*

Die Neugier, die in den Lernenden während der Engage-Phase ausgelöst wurde, soll nun in der Explore-Phase aufgegriffen werden. Bei dieser Phase soll nach Belegen für die in der Engage-Phase aufgeworfene Fragestellung gesucht werden, während die Lehrperson eine beratende Rolle übernimmt (Bybee, 2015). Die Lernenden planen Untersuchungen, führen diese durch und sammeln Daten (Hofer et al., 2016).

- *Explain:*

In der Explain-Phase präsentieren und diskutieren die Lernenden ihre Untersuchungsergebnisse aus der Explore-Phase. Weiters führt die Lehrperson wissenschaftliche Konzepte ein, mit denen das Beobachtete oder Untersuchte aus der Engage- und der Explore-Phase mit wissenschaftlichen Konzepten und Fachbegriffen verknüpft werden kann (Bybee, 2015).

- *Elaborate:*

In der Elaborate-Phase wird das neu generierte Wissen an noch unbekanntem Problemen getestet und weiter vertieft (Hofer et al., 2016). Auch hier soll im Anschluss präsentiert werden, wobei den Lernenden mehrere Möglichkeiten der Präsentation offen sind: graphisch, auditiv, mathematisch und vieles mehr. Der Diskurs mit Peers und Lehrperson hilft dabei, das Wissen weiter zu vertiefen (Bybee, 2015).

- *Evaluate:*

Die Evaluate-Phase läuft parallel zu den anderen vier Phasen. Die Lehrperson evaluiert laufend den Lernfortschritt der Lernenden, überprüft den Outcome und nutzt diese Information, um weitere Unterrichtsprozesse zu planen. Wichtig ist, dass die Lehrperson schon im Vorfeld die

Kriterien der Feststellung des Lernerfolgs festlegt und sich überlegt, wie sie diesen überprüfen kann (Bybee, 2015).

### CHiK-Modell nach Reinhard Demuth, Cornelia Gräsel und Ilka Parchmann

Das Organisationsmodell CHiK fokussiert auf den Alltagsbezug und die lebensweltliche Anbindung chemischer Themenbereiche. Die Abkürzung CHiK steht für „Chemie im Kontext“. Schwerpunkt dieses Modells ist die verstärkte Einbettung von Kontexten speziell in den Chemieunterricht, die es den Lernenden erleichtern chemische Phänomene in den Alltag einzuordnen (Demuth et al., 2008).

Ähnlich wie im 5E-Modell von Bybee lässt sich Unterricht nach dem CHiK-Modell in Lernbeziehungsweise Unterrichtsphasen untergliedern. Es werden vier Phasen unterschieden:

- Begegnungsphase
  - Neugier- und Planungsphase
  - Erarbeitungsphase
  - Vernetzungs- und Vertiefungsphase
- (Demuth et al., 2008)

Auch in diesem Organisationsmodell gibt es Schritte der Fragestellung, der Planung und der Erarbeitung. Somit zeigt sich auch im CHiK-Modell ein Bezug zum Forschenden Lernen.

- Begegnungsphase:

In dieser Phase werden die Lernenden an ein Thema herangeführt, indem eine Frage oder ein Problem aufgeworfen wird. Als Beispiel nennen die Autoren die Anwendung und Funktion von Batterien und Akkumulatoren. Die Lernenden können zum Beispiel durch ihre Handyakkus einen Alltagsbezug herstellen (Demuth et al., 2008).

- Neugier- und Planungsphase:

Die Neugier- und Planungsphase stellt die Verbindung zwischen den Vorerfahrungen der Lernenden und des behandelten naturwissenschaftlichen Konzepts dar. Aus einem breitgefächerten Thema sollen die Lernenden Fragestellungen generieren. Weiters zählt das Planen von geeigneten Untersuchungsmethoden zu der Neugier- und Planungsphase (Demuth et al., 2008).

- Erarbeitungsphase:

Anhand der geplanten Untersuchungsmethoden sollen in dieser Phase Problemaspekte eigenständig erarbeitet und anschließend präsentiert werden. Die Lehrperson hat dazu eine geeignete Lernumgebung zu schaffen (Demuth et al., 2008).

- Vernetzungs- und Vertiefungsphase:

In dieser Phase sollen allgemeingültige chemische Konzepte herausgefiltert und vernetzt werden. Das erarbeitete Wissen soll auf neue Kontexte transferiert werden. Die Autoren nennen hier als Beispiel den Transfer der Funktionsweise von Akkumulatoren und Batterien auf die Funktionsweise einer Brennstoffzelle. Auch im CHiK-Modell gilt, dass die Lehrperson den Lernprozess fortlaufend evaluieren sollte und Methoden zur Überprüfung des Lernerfolgs im Vorfeld planen sollte (Demuth et al., 2008).

### 1.3.3. Inquirysteps.com

Die Website [Inquirysteps.com](http://Inquirysteps.com) bietet zu ausgewählten naturwissenschaftlichen Themenbereichen Scaffolding für Unterrichtseinheiten zu Forschendem Lernen an. Unter anderem gibt es eine Einheit, die sich mit Elektrochemie befasst. Es lässt sich sagen, dass sich die Einheit zur Elektrochemie, aufgrund des Ablaufs, dem Modell des Forschungsnetzes nach Brigitte Koliander und Rosina Steininger zuordnen lässt. Schritte wie das Bilden einer Hypothese oder die Formulierung einer Fragestellung sind explizit formulierte Aufgaben bei [Inquirysteps.com](http://Inquirysteps.com) und sprechen daher für das Forschungsnetz als verfolgtes Modell für den Forschungsprozess. Ein Punkt der ebenfalls für die Zuordnung zum Forschungsnetzes spricht ist, dass die einzelnen Aufgaben auf [Inquirysteps.com](http://Inquirysteps.com) zwar in einer festgelegten Reihenfolge absolviert werden sollen, es ist den Lernenden allerdings jederzeit möglich Schritte zurückzugehen, zu evaluieren und neue Wege einzuschlagen. [Inquirysteps.com](http://Inquirysteps.com) orientiert sich in gewissen Punkten an den vorgestellten Organisationsmodellen für Forschendes Lernen, stellt aber ein neu gestaltetes Unterrichtsetting dar und lässt sich nicht eindeutig dem 5E-Modell nach Bybee oder dem ChiK-Modell nach Demuth, Gräsel und Parchmann zuordnen.

## 1.4. Scaffolding bei Forschendem Lernen

Forschendes Lernen ist eine konstruktivistisch angelegter Unterrichtsansatz. Lernende konstruieren und generieren ihr Wissen selbst, indem sie, je nach Level, Fragestellungen, Hypothesen sowie Untersuchungsmethoden entwickeln und Daten eigenständig und kritisch analysieren. Durch einige mögliche kognitive Überlastung (*cognitive load*) ab Level 2 wurde beziehungsweise wird des Unterrichtsansatz des Forschenden Lernens von manchen Didaktikern und Didaktikerinnen kritisiert. Auf diese Kritik wird in diesem Kapitel noch näher eingegangen.

Um den *cognitive load* zu verringern ist eine strukturierte Lernbegleitung, sogenannte Scaffolds, notwendig. Bei Forschendem Lernen auf Level 0 bis 1 ist es wichtig, den Lernenden inhaltliche und methodische Scaffolds bereitzustellen. Wird Forschendes Lernen auf einem offeneren Level betrieben, also Level 2 bis 3, helfen Scaffolds den Lernenden strukturiert vorzugehen. Art und Weise der Scaffolds können variieren und werden in diesem Kapitel genauer beschrieben.

#### 1.4.1. Cognitive Load Theory

Sweller stellte 1998 erstmals die sogenannte Cognitive Load Theory (CLT) auf. Die CLT verweist darauf, dass das menschliche Arbeitsgedächtnis begrenzt ist. Lernprozesse selbst führen immer zu einer kognitiven Belastung. Sweller unterscheidet zwischen intrinsischem cognitive load, welches die kognitive Belastung durch den Lerngegenstand selbst beschreibt, und dem extrinsischen cognitive load, welcher die kognitive Belastung durch die Gestaltung des Lernmaterials beschreibt (Sweller, 2011). Ist die kognitive Belastung zu gering oder zu hoch, kann der Lernprozess beeinträchtigt werden. Durch adäquate Unterstützung durch die Lehrperson oder entsprechend gestaltetes Unterrichtsmaterial kann diese Belastung minimiert werden, um den bestmöglichen Lernfortschritt zu erzielen und neue Schemata in bestehende Konstrukte einzubauen.

#### 1.4.2. Kritik an Forschendem Lernen gegenüber anderen Lehrformaten

Kirschner, Sweller und Clark führten eine Untersuchung durch, welche die Effektivität von Forschendem Lernen auf Basis der Cognitive Load Theory in Frage stellt. Zwei Gruppen von Lernenden wurde untersucht: eine Gruppe bekam keinerlei Anweisungen außer dem Lernziel, welches erreicht werden sollte. Die andere Gruppe wurde genau instruiert. Die instruierte Gruppe hatte in späteren Tests höhere Scores. Die Autoren behaupten, dass Forschendes Lernen laut ihrer Definition die konstruktivistische Lernweise von Menschen ignoriert und nie so effektiv sein kann wie geführtes Lernen. Sie gehen sogar so weit zu sagen, dass Lernende, die Wissenschaft ohne Anleitung und ohne Instruktionen lernen, eher frustriert sind und eher Fehlvorstellungen aufbauen (Kirschner et al., 2006).

Kirschner, Sweller und Clark fassen die Begriffe Forschendes Lernen (Inquiry Based Learning), discovery learning und problemorientiertes Lernen als *minimally guided forms of instructions* zusammen. Es ist hier anzumerken, dass die Einordnung von Forschendem Lernen in *minimally guided forms of instructions*, so wie Kirschner, Sweller und Clark dies tun, nicht Forschendem Lernen entspricht, da selbst auf Level 3 die Lehrperson den Lernprozess begleitet und die Lernenden berät (siehe Kapitel 1.1.2.).

Eine weitere Studie aus dem Jahr 2004, durchgeführt von Klahr und Nigram, kam zu einem ähnlichen Schluss (Blanchard et al., 2010). Klahr und Nigrams Studie fehlte allerdings eine instruierende Lehrkraft, die als „Sicherheitsnetz“ im Klassenzimmer anwesend sein soll, sowie angemessene Lernunterstützung in Form von Scaffolding. Dies wäre nach den Prinzipien von Forschendem Lernen wichtig – es soll eine Begleitung erfolgen (Reitinger, 2013).

Man sollte sich bewusst machen, dass beide Studien Level 3 des Forschenden Lernens ansprechen, das heißt die Lehrperson tritt eher in den Hintergrund und nimmt eine beratende Rolle ein. Fragestellung, Untersuchungsmethode und Interpretation der Daten werden vorrangig von den Lernenden gewählt. Um auf Level 3 arbeiten zu können, sollten die Lernenden schon geübt sein, das heißt Lehrpersonen sollten in ihrem Unterricht nicht mit Level 3 beginnen, da dies die Lernenden überfordern kann. Bevor die Lernenden Forschendes Lernen

auf einem höheren Level betreiben können, muss das vorherige Level ausreichend geübt worden sein. Allerdings gilt, egal auf welchem Level Forschendes Lernen praktiziert wird: es braucht immer eine Lehrperson, die Lernunterstützung, sogenanntes Scaffolding, bietet (Abels et al., 2020)

#### 1.4.3. Scaffolding beim Forschenden Lernen

Forschendes Lernen zielt darauf ab wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen nachzuempfinden sowie eigenständig Wissen zu konstruieren. Um kognitive Über- oder Unterbelastung zu vermeiden muss die Lehrperson wissen, wann und in welcher Form in den Lernprozess eingegriffen und instruiert werden muss. Diese Unterstützung kann durch eine Lehrkraft oder durch unterstützendes Unterrichtsmaterial erfolgen. Das unterstützende Unterrichtsmaterial sollte, wenn möglich, keine direkten Instruktionen beinhalten, da diese den Verlauf naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen nicht authentisch abbilden. Vielmehr haben unterstützende Unterrichtsmaterialien den Anspruch, Lernende nach dem Prinzip des konstruktivistischen Lernens Hilfestellungen anzubieten. Hierbei sei nochmal erwähnt, dass die Anwesenheit einer Lehrkraft, die die Lernenden beim Forschenden Lernen unterstützt, wichtig ist (Arnold et al., 2017).

Damit Lernende eigenständig wie möglich arbeiten können ist die richtige Unterstützung maßgeblich. Man spricht hierbei auch von Scaffolding (deutsch „Gerüst“). Der Begriff Scaffolding wird in der Didaktik vorrangig als Synonym für jegliche Art von Unterstützung im Lernprozess verwendet. Es braucht aber nach Arnold eine ständige Diagnose und Anpassung der Unterstützungsmaßnahmen, um den cognitive load auf einem optimalen Niveau zu halten (Arnold et al., 2017).

Ziel ist es, die Lernenden durch gezieltes Scaffolding in die „Zone der nächsten Entwicklung“ zu bringen. Die „Zone der nächsten Entwicklung“ beschreibt Aufgabenstellungen, die die Lernenden durch Hilfestellungen gut bewältigen können und die Lernenden anregt, sich auf die Aufgabe und die Herausforderung einzulassen und sowohl weder unterfordernd noch überfordernd sind (Vygotsky, 1978, zitiert nach Hofer, 2020). Durch die angemessene Unterstützung der Lehrperson soll der Schritt in die nächste Entwicklungsstufe erleichtert werden (Koliander et al., 2019).

Scaffolding beim Forschenden Lernen kann schon die Auswahl der Levels nach Schwab sein. Bei neuen Fachinhalten oder Geräten und Untersuchungsmethoden, die den Lernenden noch unbekannt sind, wählt man Aufgaben auf Level 0 oder Level 1. Sind die Lernenden auf Level 0 und Level 1 geübt können Untersuchungen auf Level 2 und später auf Level 3 durchgeführt werden, damit der cognitive load nicht zu gering ist (Puddu, 2017, zitiert nach Koliander et al., 2019).

Im Allgemeinen unterscheidet man zwischen Makroscaffolding und Mikroscaffolding (Hofer, 2020).

#### 1.4.4. Makroscaffolding

Makroscaffolding, oder auch „hard scaffolding“ genannt (Arnold et al., 2017), beschreibt Unterstützungsmaßnahmen, die schon während der Unterrichtsplanung konzipiert wurden. Durch präzise und vorausschauende Unterrichtsvorbereitung kann jeder Schritt im Forschendem Lernen (Fragstellung finden, Hypothesen finden, Daten erheben, Daten analysieren und interpretieren, Untersuchungsergebnisse präsentieren) gestützt und unterstützt werden. Zum Beispiel können während des Findens einer Fragestellung gewisse Anregungen gegeben werden, eine Auswahl an Hypothesen bereitgestellt werden, Protokollvorlagen vorgelegt werden oder Leitfragen zur Analyse und Interpretation von Daten aufgezeigt werden (Hofer, 2020).

Arnold nennt konkret zwei Möglichkeiten des Makroscaffoldings beziehungsweise des „hard scaffoldings“ (Arnold et al., 2017):

- Gestufte Lernhilfen:

Bei gestuften Lernhilfen handelt es sich um eine Weiterentwicklung von Lösungsbeispielen. Während Lösungsbeispiele zuerst das Problem formulieren, dann den Lösungsschritt und final die Lösung vorgeben, geben gestufte Lernhilfen immer nur schrittweise Lösungsschritte, zum Beispiel in Form von Tippkarten, als Hinweise vor. Der Vorteil von gestuften Lernhilfen ist, dass die Lernenden nur bei Bedarf auf diese zugreifen können. Wenn keine Unterstützungsmaßnahme benötigt wird können die Lernenden die gestuften Lernhilfen selbstständig weglassen. Die gestuften Lernhilfen sind also eine Möglichkeit, differenziert Hilfestellung zu geben und eignen sich als Scaffolding, vor allem für offenere Levels, wie zum Beispiel Level 2 nach Schwab (Koliander et al., 2019).

- Concept Cartoons:

Concept Cartoons beschreibt ein Format, welches Lernende zur Diskussion anregen soll, es handelt sich um diskursiv-reflexive Szenarien. „Concept Cartoons beinhalten die Darstellung verschiedener Figuren (Cartoons), die über Sachverhalte diskutieren und dienen als Impulse zur Äußerung von Vorstellungen, deren Diskussion und der Ko-Konstruktion von Wissen.“ (Arnold et al., 2017, S.26).

Eine weitere Möglichkeit des Macroscaffolding stellen vorgefertigte Protokollbögen dar, die den Lernenden eine Unterstützung bezüglich der Dokumentation von Hypothesenbildung, Versuchsplanung sowie Dokumentation und Auswertung der Daten bieten (C. S. Reiners, 2017).

#### 1.4.5. Mikroscaffolding

Mikroscaffolding, oder auch soft scaffolding genannt (Arnold et al., 2017), beschreibt die Unterstützungsmaßnahmen, die sich dynamisch während des Unterrichtsgeschehens entwickeln. Die Lehrperson gibt situationsabhängig Hilfestellungen, je nach Anliegen oder Problem der Lernenden. Die Lehrperson muss dabei aufmerksam sein und entscheiden, welches Scaffold, welche Unterstützungsmaßnahme in der jeweiligen Situation angemessen ist, ohne die Lernenden zu stark zu instruieren. Als Beispiel für Mikroscaffolding sei hier das Paraphrasieren von Aussagen von Lernenden genannt (Arnold et al., 2017; Hofer, 2020).

## 1.5. Elektronische Hilfen beim Forschenden Lernen

Elektronische Hilfen sind mittlerweile aus dem Unterrichtsalltag nicht mehr wegzudenken. Digitale Medien und vor allem Smartphones mit Internetzugang werden von Jugendlichen immer mehr genutzt. Eine Studie zur Smartphone- und Social Media Nutzung des österreichischen Bundesministeriums für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz aus dem Jahre 2018 zeigt, dass die Smartphones bei Jugendlichen im Alter zwischen 11 und 15 Jahren im Mittel mehr als zwei Stunden pro Tag verwendet werden (Felder-Puig et al., 2020). Diese Medien entsprechen der Lebenswelt der Lernenden, so können sie auch im Unterricht eingesetzt werden.

Im Folgenden wird näher auf elektronische Hilfen und ihr Einsatz in Bezug auf Forschendes Lernen eingegangen.

### 1.5.1. Digitales Scaffolding beim Forschenden Lernen

Digitale Medien gewinnen in der Schule immer mehr an Bedeutung. Beispielsweise wurde in Österreich für das Schuljahr 2022/23 das Unterrichtsfach *Digitale Grundbildung* als verpflichtender Gegenstand in Sekundarstufe I eingeführt (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2022). Lehrpersonen stellen sich daher die Frage, wie digitale Medien, welche der Lebenswelt der Lernenden entsprechen, sinnvoll und gezielt in den Unterricht integriert werden können. Wichtig dabei ist, dass die digitalen Medien didaktisch so integriert werden, dass ein Mehrwert entsteht (Schaumburg, 2015). Schaumburg betont allerdings, wie andere Autoren und Autorinnen auch, dass digitale Medien nur einen Teil der didaktischen Planung von Unterricht darstellen und die Kompetenz der Lehrperson nicht ersetzen (Schaumburg, 2015).

Digitale Medien können für Lehrpersonen und Lehrende in Unterrichtsettings im Kontext Forschenden Lernens eine Unterstützung darstellen: Individualisierung des Unterrichts wird erleichtert, indem verschiedenstes Material genutzt werden kann, welches im rein analogen Unterricht nicht so schnell zugänglich wäre. Beispiele wären Texte, Videos, Übungsaufgaben zur Überprüfung des Lernfortschritts sowie der Diskurs mit echten Expertinnen und Experten. Zusätzlich können die Lernenden im gewissen Rahmen ihr Lerntempo selbst bestimmen, was eine zusätzliche Individualisierung begünstigt (Heinen & Kerres, 2015).

Der Einsatz von digitalen Medien im Unterricht sollte folgenden Ansprüche genügen:

- Selbstständiges Arbeiten und Arbeiten in der Gruppe soll ermöglicht werden
- Die Lernenden sollen sich mit Lerninhalten auseinandersetzen
- Fortschritte sollen dokumentiert und evaluiert werden
- Arbeitsphasen in Kooperation mit anderen Gruppen soll ermöglicht werden (Heinen & Kerres, 2015)

Bei genauerer Betrachtung dieser Ansprüche kann man eine gewisse Deckungsgleichheit mit den Kriterien des Forschenden Lernens feststellen: Selbstständiges Explorieren, kritischer Diskurs und conclusiobasierter Transfer (Reitinger, 2013).

Hui-Ling Wu und Susan Pedersen untersuchten 2011 den Einfluss von digitalen Scaffolds in Kombination mit Scaffolding durch die Lehrperson auf den Wissenszuwachs von Lernenden beim Forschenden Lernen. Überprüft wurde dabei der Zuwachs an Scientific Content Knowledge, also inhaltlichem Wissen und der Scientific Inquiry Skills. Wu und Pedersen kamen zu dem Schluss, dass eine Kombination aus digitalen Scaffolds und Unterstützung durch die Lehrperson am effektivsten sei, damit Lernende neu erarbeitetes Wissen bestmöglich integrieren können (Wu & Pedersen, 2011).

Digitale Scaffolds ermöglichen es, die Lernenden durch gezielte Fragestellungen und Hinweise (wie zum Beispiel digitale Concept Cartoons oder gestufte Lernhilfen) individuell durch den Forschungsprozess zu leiten. Daher ist es wichtig, dass diese Scaffolds von Beginn bis Ende des Forschungsprozesses angeboten werden (Koliander et al., 2019)

Vor allem bei Arrangements für Forschendes Lernen auf Level 2 können digitale Scaffolds von Vorteil sein, da einerseits die Lernenden von der Komplexität des Forschungsprozesses selbst überwältigt sein könnten, andererseits sind Lehrpersonen oft durch die Vielfalt an Datenerhebungsmethoden, die die Lernenden einsetzen können, überfordert. Digitales Scaffolding könnte hier eine Entlastung bringen, indem jeder einzelne Schritt im Forschungsprozess einerseits angeleitet wird und andererseits nach jedem Schritt ein Diskurs verlangt wird. Die Lernenden werden also digital bei der Hypothesenbildung, der Auswahl der Erhebungsmethode, der Datenerhebung selbst sowie deren Interpretation angeleitet, zusätzlich soll jeder Schritt protokolliert und begründet werden (Koliander et al., 2019).

## 2. Fachliche Klärung – Elektrochemie

Die Elektrochemie ist ein Teilbereich der Chemie, der in unserem Alltag allgegenwärtig ist. Reduktions-Oxidations-Reaktionen, kurz Redoxreaktionen genannt, gehören zu den am häufigsten vorkommenden Reaktionen in unserer Umwelt. Dazu zählen beispielweise die Bildung von Rost bei Eisen, das Braunwerden von Früchten, Batterien und Akkus in elektronischen Geräten oder auch Stoffwechselfvorgänge in Organismen, wie zum Beispiel die Zellatmung (Brown et al., 2011).

Im Folgenden werden einige Aspekte, die für das Verstehen der Elektrochemie notwendig sind, näher erläutert.

### 2.1. Atombau

Der Atombau hat auf den ersten Blick nicht viel mit Elektrochemie zu tun. Allerdings wurzeln viele Lernendenvorstellungen zur Elektrochemie in diesem grundlegenden Bereich. Daher wird hier nochmals genauer auf den Atomaufbau und in einem späteren Kapitel auch auf den Ionenbegriff eingegangen.

Nach dem Atommodell von Niels Bohr setzen sich Atome aus einem Kern und Bahnen, auf denen Elektronen kreisen, zusammen. Im Kern befindet sich fast die gesamte Masse des Atoms, während die Hülle den Großteil des Volumens einnimmt (Riedel & Meyer, 2019).

Im Kern eines Atoms befinden sich positiv geladene Elementarteilchen, die Protonen, sowie die ungeladenen Elementarteilchen, die Neutronen. Die Elementarteilchen im Kern werden auch Nukleonen genannt (Mortimer, 2020). Der Atomkern ist bei chemischen Reaktionen nicht beteiligt. Ausschlaggebend für das Reaktionsverhalten sind andere Elementarteilchen, die negativ geladenen Elektronen, die um den Kern kreisen. Betrachtet man das Atommodell nach Bohr beziehungsweise auch das Orbitalmodell, so sind vor allem die Elektronen des äußersten Aufenthaltsraum, auch Valenzelektronen genannt, für das Reaktionsverhalten maßgeblich (Brown et al., 2011).

Protonen und Elektronen sind, wie schon erwähnt, elektrisch geladene Teilchen. Ihre Ladung wird auch Elementarladung genannt und beträgt:

$e = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  ( $C = \text{Coulomb}$ , SI-Einheit für elektrische Ladung) (Riedel & Meyer, 2019)

Elektronen haben die Ladung  $-e$ , Protonen die Ladung  $+e$  (Mortimer, 2020). Die Elementarladung kann immer nur ein ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung eines Elementarteilchens sein. Daher wird die Ladung eines Ions ganzzahlig angegeben. Da sich in einem Atom immer gleich viele Elektronen in der Hülle wie Protonen im Kern befinden ist ein Atom nach außen hin ungeladen (Riedel & Meyer, 2019).

## 2.2. Ionen

In der Natur kommen nur wenige Stoffe vor, die auf der submikroskopischen Ebene aus einzelnen nach außen ungeladenen Atomen aufgebaut sind. Die meisten Elemente gehen Verbindungen ein und liegen auf der submikroskopischen Ebene als Moleküle oder Ionen vor (Mortimer, 2020).

Ionen entstehen durch Aufnahme oder Abgabe von Elektronen aus nach außen neutralen Atomen. Durch die Abgabe eines Elektrons entsteht ein netto positiv geladenes Ion, auch **Kation** genannt. Durch die Aufnahme eines Elektrons entsteht ein netto negativ geladenes Ion, auch **Anion** genannt. Je nachdem wie viele Elektronen auf- oder abgegeben werden wird die Ladung als Vielfaches der Elementarladung angegeben. Als Beispiel: gibt ein Natriumatom sein Valenzelektron ab, so erhöht sich die Elementarladung um  $1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , also um  $1 e$ . Das dadurch entstandene Ion wird nun als  $\text{Na}^{1+}$  beziehungsweise  $\text{Na}^+$  angeschrieben. Die Atome der Elemente der Nebengruppen (Gruppe 3 bis 12) können unterschiedlich viele Elektronen abgeben. Zu erklären ist dies mit dem Orbitalmodell. Die äußerste Schale von Atomen der Nebengruppenelemente wird von einem s-Orbital gebildet. Bilden Atome der Nebengruppenelemente Ionen, so werden die Elektronen aus dieser s-Unterschale abgegeben, zusätzlich können aber auch unterschiedlich viele Elektronen aus inneren d-Orbitalen abgegeben werden. Es gibt daher mehrere mögliche Ionen: beispielsweise  $\text{Cu}^+$  oder  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  oder  $\text{Fe}^{3+}$  (Mortimer, 2020).

Neben einatomigen Ionen, wie zum Beispiel  $\text{Na}^+$  oder  $\text{Cu}^{2+}$  gibt es auch mehratomige Ionen, wie beispielsweise  $\text{SO}_4^{2-}$  (Sulfat) (Brown et al., 2011; Riedel & Meyer, 2019).

Allgemein kann man sagen, dass Metallatome eher Elektronen abgeben und zu Kationen werden und Nichtmetallatome eher Elektronen aufnehmen und zu Anionen werden (Brown et al., 2011). Diesen Umstand kann man mit der Ionisierungsenergie und der Elektronegativität erklären. Die **Ionisierungsenergie** ist ein Maß für die Energie, die aufgewendet werden muss, um ein Elektron aus der Hülle zu entfernen, wodurch ein Kation entsteht. Die Ionisierungsenergie ist vor allem bei Alkali- und Erdalkalimetallen verhältnismäßig niedrig, während die Ionisierungsenergie bei steigender Kernladungszahl durch die stärkere Anziehung zwischen Kern und Hülle zunimmt (Riedel & Meyer, 2019).

Die **Elektronegativität** ist ein Maß für die Energie, die freigesetzt wird (negatives Vorzeichen) oder aufgewendet werden muss (positives Vorzeichen), damit ein Atom ein Elektron in seine Hülle aufnehmen kann und ein Anion entstehen kann. Vor allem die Elemente der 6. und 7. Hauptgruppe haben im Verhältnis zu Elementen niedrigerer Hauptgruppen (zum Beispiel Hauptgruppe 1 und 2) eine hohe Elektronegativität, es ist für diese Atomsorten also energetisch günstig, Elektronen aufzunehmen (Riedel & Meyer, 2019).

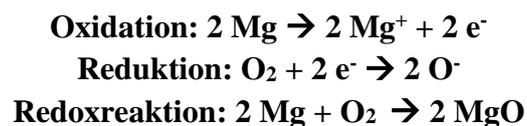
Wichtig zu erwähnen ist, dass, obwohl ein Ion und das dazugehörige Atom fast den gleichen Aufbau besitzen, sie sich in ihren Eigenschaften und ihrem Reaktionsverhalten grundlegend unterscheiden (Brown et al., 2011). Ein Beispiel sei das hochreaktive elementare Natrium im Vergleich zum reaktionsträgen Natriumion, welches man zum Beispiel in Kochsalz findet.

### 2.3. Redoxreaktionen

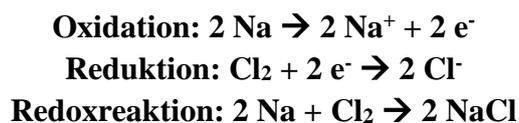
Der Begriff Redoxreaktion setzt sich zusammen aus den Begriffen „Reduktion“ und „Oxidation“. Als Antoine Laurent de Lavoisier im 18. Jahrhundert Verbrennungsreaktionen untersuchte kam er zu dem Schluss, dass für jede Verbrennungsreaktion Sauerstoff verbraucht wird. Er führte daher für jegliche Reaktion, bei der ein Stoff mit Sauerstoff reagierte den Begriff Oxidation ein. Umgekehrt wurde für Reaktionen, bei denen Sauerstoff entzogen wurde, der Begriff Reduktion verwendet (Riedel & Meyer, 2019).

Nach der heute üblichen Definition ist Sauerstoff für eine Redoxreaktion nicht zwingend notwendig. Eine Redoxreaktion wird als eine Elektronenübertragungsreaktion verstanden. Findet eine Redoxreaktion statt, so werden Elektronen von einem Teilchen, das oxidiert wird (Oxidation), auf ein Teilchen, das reduziert wird (Reduktion), übertragen. Oxidation bezeichnet die Elektronenabgabe, Reduktion die Elektronenaufnahme (Brown et al., 2011).

Beispiel für eine Redoxreaktion mit Beteiligung von Sauerstoff nach der heute üblichen Definition:



Beispiel für eine Redoxreaktion ohne Beteiligung von Sauerstoff nach der heute üblichen Definition (Riedel & Meyer, 2019):



Es muss jedoch nicht immer zu einer vollständigen Elektronenübertragung kommen. Man kann Redoxreaktionen auch dadurch definieren, dass sich bei einer Oxidation die Oxidationszahl erhöht, während bei einer Reduktion die Oxidationszahl erniedrigt wird.

Reduktionen und Oxidationen laufen immer gekoppelt ab. Es gibt ein Oxidationsmittel, welches Elektronen abgibt und somit selbst reduziert wird. Gekoppelt daran benötigt die Reaktion ein Reduktionsmittel, welches Elektronen aufnimmt und selbst oxidiert wird (Riedel & Meyer, 2019).

Vereinfacht kann man diese Kopplung so darstellen:

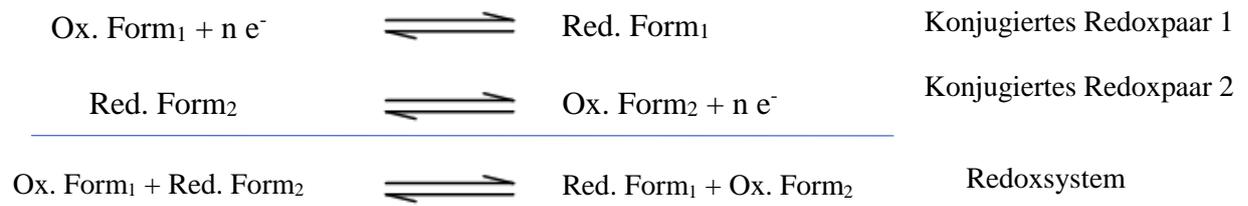


Abbildung 4: Kopplung der Redoxreaktion. Eigene Darstellung nach Latscha (Latscha et al., 2011)

## 2.4. Die Redoxreihe und die elektrochemische Spannungsreihe

Reduktionen und Oxidationen laufen immer gemeinsam ab, wobei immer zwei Redoxpaare miteinander reagieren. Unter einem Redoxpaar versteht man die oxidierte und die korrespondierende reduzierte Form eines Reaktionspartners, zum Beispiel  $\text{Na}^+/\text{Na}$  oder  $\text{Cl}_2/2\text{Cl}^-$ . Da es sich auch bei Redoxreaktionen um eine Gleichgewichtsreaktion handelt, sind an Redoxreaktionen immer zwei Redoxpaare beteiligt (siehe Abbildung 4) (Riedel & Meyer, 2019). Dabei gilt: „Je stärker bei einem Redoxpaar die Tendenz der reduzierten Form ist, Elektronen abzugeben, umso schwächer ist die Tendenz der korrespondierenden Form, Elektronen aufzunehmen.“ (Riedel & Meyer, 2019, S.226). Anhand dieser Tendenz Elektronen aufzunehmen oder abzugeben werden Redoxpaare in einer sogenannten Redoxreihe aufgereiht, wobei Reduktionsmittel (wirken reduzierend, werden selbst oxidiert) weiter oben in der Redoxreihe stehen und Oxidationsmittel (wirken oxidierend, werden selbst reduziert) weiter unten stehen (Riedel & Meyer, 2019). Daraus lässt sich eine Vorhersage über die Freiwilligkeit einer Reaktion ableiten: reduzierte Redoxpaare geben ihre Elektronen nur an oxidierte Redoxpaare ab, welche in der Redoxreihe darunter stehen (Riedel & Meyer, 2019).

	Oxidierte Form	+	Elektronen		Reduzierte Form
Zunehmende Tendenz der <b>Elektronenaufnahme</b> ; zunehmende <b>oxidierende Wirkung</b>	$\text{Na}^+$	+	$e^-$	$\rightleftharpoons$	Na
	$\text{Zn}^{2+}$	+	$2e^-$	$\rightleftharpoons$	Zn
	$\text{Fe}^{2+}$	+	$2e^-$	$\rightleftharpoons$	Fe
	$\text{Fe}^{3+}$	+	$3e^-$	$\rightleftharpoons$	Fe
	$2\text{H}_3\text{O}^+$	+	$2e^-$	$\rightleftharpoons$	$\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$
	$\text{I}_2$	+	$2e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\text{I}^-$
	$\text{Cu}^{2+}$	+	$2e^-$	$\rightleftharpoons$	Cu
	$\text{Fe}^{3+}$	+	$e^-$	$\rightleftharpoons$	$\text{Fe}^{2+}$
	$\text{Br}_2$	+	$2e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\text{Br}^-$
	$\text{Cl}_2$	+	$2e^-$	$\rightleftharpoons$	$2\text{Cl}^-$
					Zunehmende Tendenz der <b>Elektronenabgabe</b> ; zunehmende <b>reduzierende Wirkung</b>

Abbildung 5: Ausschnitt der Redoxreihe, eigene Darstellung nach Riedel & Meyer (Riedel & Meyer, 2019). Reaktionspartner, die in reduzierter Form vorliegen reagieren mit Reaktionspartnern, die in oxidiert Form und in der Reihe darunter liegen, also edler sind – gekennzeichnet durch den roten Pfeil.

Die Spontanität oder Freiwilligkeit, mit der eine Redoxreaktion abläuft oder nicht, lässt sich mit dem thermodynamischen Gleichgewicht eines Redoxsystems erklären. Reagiert ein Metall in reduzierter Form mit einem Metall in oxidiert Form, welches in der Reihe darunter steht, so hat das Metall in reduzierter Form ein negatives Normalpotential  $E^0$  als das Metall in oxidiert Form (Atkins & de Paula, 2013). Das Normalpotential wird später in diesem Kapitel noch genauer erläutert.

Anhand der Gleichung zur Errechnung der Freien Enthalpie kann man ermitteln, ob eine Redoxreaktion freiwillig abläuft oder nicht:

$$\Delta_{\text{R}}G = -z \cdot F \cdot (E^0_{\text{red}} - E^0_{\text{ox}})$$

$\Delta_{\text{R}}G$ .....Freie Enthalpie

$E^0_{\text{red}}$ .....Normalpotential des Reaktionspartners in reduzierter Form

$E^0_{\text{ox}}$ .....Normalpotential des Reaktionspartners in oxidierter Form

$z$ .....Anzahl der übertragenen Elektronen

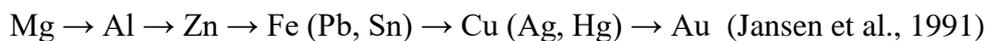
$F$ .....Faraday-Konstante = 96485 C·mol<sup>-1</sup>

Ergibt  $\Delta E^0$ , also  $(E^0_{\text{red}} - E^0_{\text{ox}})$ , einen negativen Wert so ist  $\Delta G > 0$  und die Redoxreaktion verläuft nicht spontan. Ist  $\Delta E^0$  positiv, so ist  $\Delta G < 0$  und die Redoxreaktion verläuft spontan (Atkins & de Paula, 2013).

Anhand dessen kann man aus der Redoxreihe ablesen, dass beispielsweise folgende Redoxreaktionen freiwillig ablaufen:

- $\text{Fe} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}$
- $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$

Setzt man mehrere **Metalle** in Relation zueinander und betrachtet ihre oxidierende und reduzierende Wirkung, so ergibt sich folgende Redoxreihe (oxidierende Wirkung nimmt von links nach rechts zu):



Bei Redoxreaktionen findet aufgrund der Elektronenübertragung ein Ladungsaustausch statt. Je freiwilliger eine Redoxreaktion abläuft, umso größer ist die EMK = Elektromotorische Kraft (Mortimer, 2020). Das Reduktions- beziehungsweise Oxidationsvermögen eines Redoxpaares wird als Potential mit der Einheit Volt angegeben (Riedel & Meyer, 2019). Experimentell ist es nicht möglich, das Potential eines einzelnen Redoxpaares zu messen, sehr wohl lässt sich aber die Potentialdifferenz zwischen zwei miteinander reagierenden Redoxpartnern messen. Um das Standardpotential eines Redoxsystems tabellarisch anzugeben wird die Potentialdifferenz des Redoxsystems zu einem Bezugssystem gemessen: der Standardwasserstoffelektrode. Das Standardpotential der Standardwasserstoffelektrode sei gleich 0 ( $E_{\text{H}} = 0$ ). Um das Standardpotential verschiedener Redoxpaare zu ermitteln, misst man ihre EMK in Bezug zu einer Standardwasserstoffelektrode. Es wird mit  $\Delta E^0$  angegeben (Riedel & Meyer, 2019).

Metalle, deren Atome oder Ionen in Kombination mit der Standardwasserstoffelektrode Elektronen abgeben (oxidieren), also ein negatives Potential haben, nennt man **unedle Metalle**. Metalle, deren Atome oder Ionen in Kombination mit der Standardwasserstoffelektrode Elektronen aufnehmen (reduzieren) und demnach ein positives Potential haben, nennt man **edle Metalle** (Riedel & Meyer, 2019).

Man kann diesen Umstand auch auf der makroskopischen Ebene beobachten: als unedel geltende Metalle, also Metalle, die in Kombination mit der Standardwasserstoffelektrode ein negatives Potential aufweisen, reagieren mit sauren Lösungen unter Gasentwicklung (Bildung von Wasserstoffgas:  $\text{Fe} + 2 \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ ), während edle Metalle nicht mit sauren Lösungen unter  $\text{H}_2$ -Entwicklung reagieren (Riedel & Meyer, 2019).

Wenn man die Redoxpaare nun nach aufsteigendem Standardpotential ordnet, so erhält man die elektrochemische Spannungsreihe. Erweiternd zu der Redoxreihe gilt hier wieder:

**Redoxreaktionen laufen nur dann freiwillig ab, wenn eine reduzierte Form mit einer in der elektrochemischen Spannungsreihe darunter stehenden oxidierten Form reagiert** (Latscha et al., 2011; Riedel & Meyer, 2019).

Reduzierte Form		Oxidierter Form	Normalpotential $E^0$
Ca	$\rightleftharpoons$	$\text{Ca}^{2+} + 2e^-$	-2,76 V
Mg	$\rightleftharpoons$	$\text{Mg}^{2+} + 2e^-$	-2,40 V
Al	$\rightleftharpoons$	$\text{Al}^{3+} + 3e^-$	-1,68 V
Zn	$\rightleftharpoons$	$\text{Zn}^{2+} + 2e^-$	-0,76 V
Fe	$\rightleftharpoons$	$\text{Fe}^{2+} + 2e^-$	-0,44 V
$2 \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$	$\rightleftharpoons$	$2 \text{H}_3\text{O}^+ + 2e^-$	0,00 V
Cu	$\rightleftharpoons$	$\text{Cu}^{2+} + 2e^-$	+0,35 V
$\text{Fe}^{2+}$	$\rightleftharpoons$	$\text{Fe}^{3+} + e^-$	+0,77 V
Ag	$\rightleftharpoons$	$\text{Ag}^+ + e^-$	+0,80 V
Au	$\rightleftharpoons$	$\text{Au}^{3+} + 3e^-$	+1,50 V

Zunehmende Tendenz der Elektronenaufnahme; zunehmende oxidierende Wirkung

Zunehmende Tendenz der Elektronenabgabe; zunehmende reduzierende Wirkung

Abbildung 6: Ausschnitt aus der elektrochemischen Spannungsreihe. Eigene Darstellung nach Riedel & Meyer sowie Latscha (Latscha et al., 2011; Riedel & Meyer, 2019)

Anhand der elektrochemischen Spannungsreihe lassen sich, erweitert aus der Redoxreihe, Voraussagen treffen, welche Redoxreaktionen freiwillig ablaufen und welche nicht (Latscha et al., 2011).

Metalle mit positiverem Potential (edle Metalle) werden von Metallen mit negativerem Potential (unedle Metalle) reduziert, die Ionen der edleren Metalle nehmen Elektronen auf und bauen ein Metallgitter auf (Latscha et al., 2011).

## 2.5. Oxidationszahl

Um anhand der Reaktionsgleichung feststellen zu können, ob es sich bei der Reaktion um eine Redoxreaktion handelt, ermittelt man die Oxidationszahl (OZ), wobei bei einer Oxidation die OZ zunimmt und bei einer Reduktion die OZ abnimmt (Brown et al., 2011). Die OZ gibt die „Valenz“ eines Atoms, Ions oder Moleküls an und beschreibt die theoretische Zuordnung von Elektronen zum elektronegativeren Bindungspartner (Hu, 2018). Sie wird als hochgestellte arabische oder römische Zahl angegeben, oder in römischen Ziffern in Klammer hinter das Elementsymbol geschrieben (Latscha et al., 2011).

Im elementaren Zustand hat ein Atom beziehungsweise ein Molekül mit gleicher Atomsorte die OZ 0 (zum Beispiel  $\text{H}_2^0$ ,  $\text{O}_2^0$ ), während bei Ionenverbindungen die OZ gleich der Ladungszahl ist (zum Beispiel  $\text{Na}^{1+}\text{Cl}^{1-}$ ). Bei kovalenten Bindungen entspricht die OZ einer fiktiven Ionenladungszahl (zum Beispiel  $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^{1+}\text{Cl}^{1-}$ ). Die meisten Elemente treten in mehreren möglichen Oxidationszahlen auf, wobei jedes Element nur eine Spanne von maximal acht Oxidationszahlen besitzen kann (Riedel & Meyer, 2019).

OZ														
+1	H	Li	Na	K	Rb	Cs	Cu	Ag	Au	Tl	Cl	Br	I	
+2	Mg	Ca	Sr	Ba	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Sn	Pb
+3	B	Al	Cr	Mn	Fe	Co	N	P	As	Sb	Bi	Cl		
+4	C	Si	Sn	Pb	S	Se	Te	Xe						
+5	N	P	As	Sb	Cl	Br	I							
+6	Cr	S	Se	Te	Xe									
+7	Mn	Cl	I											
+8	Os	Xe												
-1	F	Cl	Br	I	H	O								
-2	O	S	Se	Te										
-3	N	P	As											
-4	C													

Abbildung 7: Die häufigsten Oxidationszahlen ausgewählter Elemente. Eigene Darstellung nach Latscha, 2011 (Latscha et al., 2011)

Im Folgenden wird näher auf die Oxidationsstufen der Metalle Eisen und Kupfer eingegangen, die eine Rolle bei der empirischen Untersuchung spielen:

### 2.5.1. Oxidationsstufen von Eisen

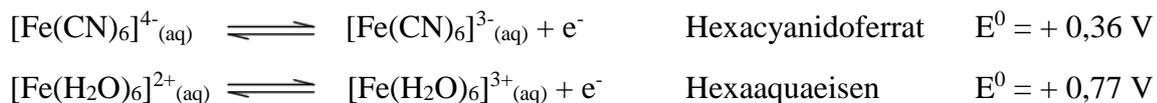
Für das Element Eisen beträgt die maximale Oxidationszahl +VI, wobei in dieser Oxidationsstufe keine stabilen Oxoanionen gebildet werden können. Eisen(VI)-Ionen  $[\text{FeO}_4]^{2-}$  sind sehr starke Oxidationsmittel – sie haben also eine starke Tendenz, Elektronen aufzunehmen, also reduziert zu werden. Die Oxidationskraft von Eisen(VI)-Ionen ist sogar stärker als die Oxidationskraft von Permanganationen (Gutmann & Hengge, 1971).

Die Oxidationskraft nimmt mit sinkender Oxidationsstufe ab, Eisen(II)-Salze wirken gemäß ihres Redoxpotentials reduzierend. Eisen(II)-Ionen können zu Eisen(III)-Ionen oxidieren.

Umgekehrt können Eisen(III)ionen nicht zu Eisen(II)ionen reduzieren (Gutmann & Hengge, 1971).

Es soll nochmals erwähnt werden, dass Metalle, die gemäß der elektrochemischen Spannungsreihe ein positives Normalpotential gegenüber der Standardwasserstoffelektrode haben, als edel gelten und eher eine oxidierende Wirkung haben, also Elektronen aufzunehmen, während Metalle, deren Normalpotential negativ ist, als unedel gelten und eine eher reduzierende Wirkung haben, also Elektronen abgeben. (siehe Kapitel 2.4.). Betrachtet man die Normalpotentiale der unten aufgelisteten Redoxpaare, so kann man nochmals sehen, dass Eisenionen mit der Oxidationsstufe +III als edler gelten als solche mit der Oxidationsstufe +II (Riedel & Meyer, 2019).

Ein weiterer Faktor, welcher die Reduktionswirkung der einzelnen Oxidationsstufen beeinflusst, ist die Entropiebilanz: Viele Eisenverbindungen liegen als Komplexe vor. Als Beispiel: Hexacyanidoferrat(II)-Ion ( $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ ) und Hexaaquaeisen(II)-Ion ( $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ). Beide Male liegt das Eisenion in Oxidationsstufe II vor, jedoch kann das Hexacyanidoferrat(II)-Ion leichter zum Hexacyanidoferrat(III)-Ion oxidiert werden, also Elektronen abgeben, als das Hexaaquaeisen(II)-Ion. Grund dafür ist die Veränderung der Ladung des Gesamtkomplexes: während bei Hexaaquaeisen die Absolutladung durch die Oxidation des Eisen(II)-Ions von 2 auf 3 ansteigt, sinkt die Absolutladung bei der Oxidation von Hexacyanoferrat von 4 auf 3:



Die Oxidation von Hexacyanidoferrat setzt die Ladungsdichte herab, was dazu führt, dass die Hydrathülle in wässriger Lösung weniger geordnet ist, die Hydratationsentropie nimmt zu. Bei der Oxidation des Hexaaquaeisen(II)-Ions zum Hexaaquaeisen(III)-Ions nimmt die Entropie hingegen ab. Ein Hexaaquaeisen(II)-Ion kann daher schwerer zu einem Hexaaquaeisen(III)-Ion oxidiert werden (Binnewies et al., 2006)

Äußerlich lassen sich Eisen(II)- und Eisen(III)-Salze farblich unterscheiden: während Eisen(II)-Salze eine eher blassgrüne Farbe aufweisen, sind Eisen(III)-Salze meist gelb bis gelbbraun (Binnewies et al., 2006; Gutmann & Hengge, 1971)

### 2.5.2. Oxidationsstufen von Kupfer

Kupfer tritt hauptsächlich in den Oxidationsstufen +I und +II auf. Man findet auch Verbindungen mit den Oxidationsstufen 0, +III und +IV, diese sind allerdings selten beziehungsweise nur bei niedrigen Temperaturen stabil. Kupfer(I)-Verbindungen umfassen Wasserstoffverbindungen (z.B. polymeres Kupfer(I)hydrid CuH = „Wurtzit Struktur“), Halogenverbindungen (CuX, X= Halogen), sowie Sauerstoffverbindungen (z.B. das rote Kupfer(I)oxid Cu<sub>2</sub>O, welches bei der Fehling-Probe als Nachweis gilt). Kupfer mit der Oxidationszahl +II bildet zahlreiche Verbindungen, beispielsweise Kupfer(II)-oxid (CuO), Halogenverbindungen wie Kupferchlorid CuCl<sub>2</sub> oder Kristallstrukturen wie Kupfersulfat Pentahydrat (CuSO<sub>4</sub> · 5 H<sub>2</sub>O = „Kupfervitriol“) (Holleman, 2016).

In Bezug auf die elektrochemische Spannungsreihe haben beide Oxidationsstufen von Kupfer ein positives Normalpotential E<sup>0</sup>, werden also beide als edel betrachtet. In Hinblick auf die Oxidationskraft kann man aus der elektrochemischen Spannungsreihe entnehmen, dass Cu(I)-Ionen zu Cu(II)-Ionen oxidiert werden können (wie beispielsweise bei der Fehling-Reaktion der Fall). Umgekehrt ist es aber schwer Cu(II)-Ionen zu Cu(I)-Ionen zu reduzieren, da Cu(II)-Ionen zu metallischem Kupfer (Cu<sup>0</sup>) reduzieren (Riedel & Meyer, 2019)

Oxidierte Form		Reduzierte Form	Normalpotential E <sup>0</sup>
Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	⇌	Zn	-0,76 V
Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	⇌	Fe	-0,44 V
Fe <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	⇌	Fe	-0,036 V
Cu <sup>2+</sup> + e <sup>-</sup>	⇌	Cu <sup>+</sup>	+0,16 V
Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	⇌	Cu	+0,34 V
Cu <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	⇌	Cu	+0,52 V
Fe <sup>3+</sup> + e <sup>-</sup>	⇌	Fe <sup>2+</sup>	+0,77 V
Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	⇌	Ag	+0,80 V

Abbildung 8: Ausschnitt aus der elektrochemischen Spannungsreihe. Eigene Darstellung nach Riedel & Meyer (Riedel & Meyer, 2019)

## 2.6. Zementation und Galvanisches Element

Taucht man einen Zinkstab (Zn) in eine Kupfersulfatlösung ( $\text{Cu}^{2+}\text{SO}_4^{2-}$ -Lösung), so findet zwischen den Zinkatomen und den in der Lösung befindlichen Kupferionen eine Redoxreaktion statt. Gemäß der Potentialdifferenz läuft eine freiwillig ablaufende Redoxreaktion zwischen den Atomen des unedleren Metalls Zink und den Ionen des edleren Metalls Kupfer ab. Die in der Lösung befindlichen  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen werden reduziert. Sie nehmen Elektronen auf und bilden ein Metallgitter, während die Zinkatome oxidiert werden, also Elektronen abgeben, und als  $\text{Zn}^{2+}$ -Ionen in Lösung gehen. Elektrochemisch betrachtet hat Zink im Vergleich zu Kupfer ein negativeres Potential, gilt also als unedler als Kupfer. Zinkatome haben in Gegenwart von Kupferionen eher die Tendenz Elektronen abzugeben. Umgekehrt hat Kupfer ein positiveres Potential als Zink und gilt als edler. Kupferionen haben daher in Gegenwart von Zinkatomen eher die Tendenz Elektronen aufzunehmen (Riedel & Meyer, 2019).

Der Zinkstab dient hierbei als **Elektrode**, wobei Elektrode definiert ist, als eine Phasengrenzfläche, an der sich ein Redoxgleichgewicht einstellen kann (Latscha et al., 2011). Die Zementation kann als Summe vieler kleiner Elektrodenreaktionen angesehen werden, bei der unzählige anodische und kathodische Reaktionen gleichzeitig an der Metalloberfläche ablaufen (Groß, 2007).

Es läuft folgende Reaktion ab (die Abkürzung *s* steht dabei für *solid* = fest, die Abkürzung *aq* steht für *aquatisch* = in Lösung):

- Gesamtgleichung:  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{Zn}^0(\text{s}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu}^0(\text{s})$

Betrachtet man die Oxidation und die Reduktion getrennt, kann man folgende Halbgleichungen aufstellen:

- Oxidation:  $\text{Zn}^0(\text{s}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$
- Reduktion:  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^0(\text{s})$   
(Brown et al., 2011)

Da diese Reaktion nicht räumlich voneinander getrennt abläuft, spricht man auch von einem Eintopfverfahren. Die Kupferionen scheiden sich direkt an der Zinkelektrode als metallisches Kupfer ab – man nennt diesen Vorgang auch **elektrochemische Abscheidung, Fällungsreaktion oder Zementation** (Latscha et al., 2011). Auch hier ist die treibende Kraft der Oxidation und Reduktion wieder die Differenz zwischen den Potentialen der beteiligten Reaktionspartner (Stein, 2016).

Gleiches gilt für die im empirischen Teil wichtig werdende Reaktion zwischen metallischem Eisen und in der Kupfersulfat-Lösung befindlichen Kupferionen:

- Gesamtgleichung:  $\text{Fe}^0(\text{s}) + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu}^0(\text{s})$
- Oxidation:  $\text{Fe}^0(\text{s}) \rightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$
- Reduktion:  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^0(\text{s})$

Auffallend bei der Zementation ist, dass sich die edleren Metalle zunächst als schwarze Masse abscheiden. Erst nach einer gewissen Reaktionszeit ist die „eigentliche“ Farbe und der Glanz des Metalls zu erkennen, beziehungsweise bleibt die Masse gänzlich schwarz. Grund dafür ist, dass nur Metalle mit glatter Oberfläche den typischen metallischen Glanz aufweisen. Bei der Zementationsreaktion kann es passieren, dass aufgrund des gleichzeitigen Auslösens des unedlen Metalls und des gleichzeitigen Abscheidens des edleren Metalls in das Metallgitter, eine raue Oberfläche entsteht. Diese entwickelt sich durch eine Keimbildung des edleren Metalls, wobei die Keime je nach molekularer Wechselwirkung unterschiedlich aufgebaut sein können. Diese nun unebene Oberfläche verhindert die Reflektion des Lichtes und somit den metallischen Glanz – das abgeschiedene Metall kann schwarz wirken (Lodermeyer, 2006).

Da solche freiwillig ablaufenden Redoxreaktionen Energie freisetzen, kann man diese als elektrische Energie nutzen. Dazu trennt man die beiden Reaktionen auch räumlich, die Elektronenübertragung geschieht also nicht direkt zwischen den beteiligten Stoffen, sondern erfolgt über einen Elektronenleiter – man spricht dann von einem **Galvanischen Element** (Brown et al., 2011). Das bekannteste Galvanische Element ist das Daniell-Element, bei dem die Redoxpaare  $\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}$  und  $\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}$  gekoppelt sind:

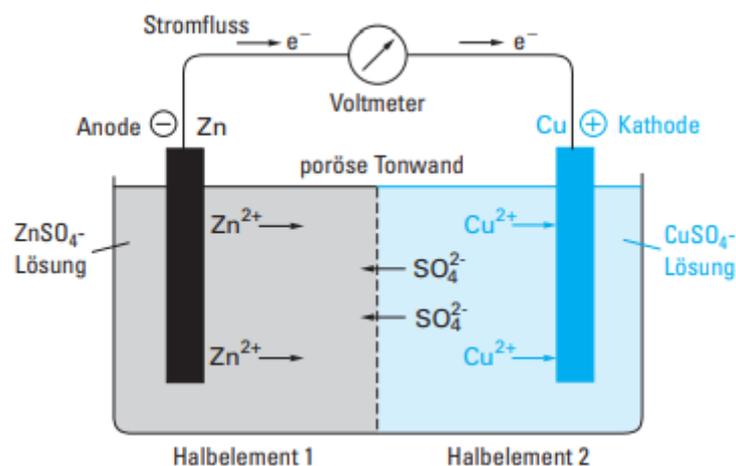


Abbildung 9: Aufbau eines Daniell-Elements (Riedel & Meyer, 2019)

Beim Daniell-Element werden zwei Halbzellen oder auch Halbelemente miteinander gekoppelt. Die Halbelemente sind über eine halbdurchlässige Membran abgetrennt, die ein Wandern der Sulfationen gewährleistet. Im ersten Halbelement taucht ein Zinkstab in eine Zinksulfatlösung ein, im zweiten Halbelement taucht ein Kupferstab in eine Kupfersulfatlösung ein. Zink- und Kupferstab dienen hierbei als Elektroden und sind miteinander über einen elektrischen Leiter verbunden, durch welchen die Elektronen fließen können (Brown et al., 2011). Durch die Kopplung der Zink- und der Kupferelektrode werden Zinkatome zu Zinkionen oxidiert und die Kupferionen zu Kupferatomen reduziert. Dadurch entsteht eine Ungleichverteilung von Elektronen in den Elektroden. Aufgrund der unterschiedlichen Verteilung der Elektronen wandern die Elektronen von der Zinkelektrode zu der Kupferelektrode – da Zink in der elektrochemischen Spannungsreihe über Kupfer steht, hat

Zink eine größere Tendenz Elektronen abzugeben, also oxidiert zu werden (Riedel & Meyer, 2019). Durch die Elektronenwanderung zur Kupferelektrode entsteht ein Elektronenüberschuss an der Kupferelektrode und die  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen in der Kupfersulfatlösung werden zu elementarem Kupfer reduziert. Die Elektrode, an der die Oxidation stattfindet, nennt man Anode. Die Elektrode an der die Reduktion stattfindet nennt man Kathode (Mortimer, 2020). In einem galvanischen Element wandern Elektronen also immer von der Anode zur Kathode. Diese Elektronenwanderung, die EMK ist als Spannung (Einheit = Volt) messbar (Riedel & Meyer, 2019).

Die Elektromotorische Kraft, oder auch Zellspannung, eines galvanischen Elements kann berechnet werden und wird als  $\Delta E^0_{\text{Zelle}}$  angegeben. Aus der elektrochemischen Spannungsreihe entnimmt man die Werte der Standardpotentiale der an der Kathode ablaufenden Reaktion und subtrahiert davon das Standardpotential der an der Anode ablaufenden Reaktion. Für das Daniell-Element ergibt sich folgende Zellspannung (Brown et al., 2011):

- Kathode:  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^0(\text{s})$        $\Delta E^0_{\text{Kathode}} = + 0,35 \text{ V}$
- Anode:  $\text{Zn}^0(\text{s}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$        $\Delta E^0_{\text{Anode}} = - 0,76 \text{ V}$

$$\Delta E^0_{\text{Zelle}} = \Delta E^0_{\text{Kathode}} - \Delta E^0_{\text{Anode}}$$

$$\Delta E^0_{(\text{Zn}/\text{Zn}^{2+} // \text{Cu}^{2+}/\text{Cu})} = + 0,35 \text{ V} - (- 0,76 \text{ V})$$

$$\Delta E^0_{(\text{Zn}/\text{Zn}^{2+} // \text{Cu}^{2+}/\text{Cu})} = 1,11 \text{ V}$$

Kombiniert man also ein Zinkhalbelement mit einem Kupferhalbelement entsteht durch die ablaufende Redoxreaktion eine elektrische Spannung von 1,11 Volt – diese Spannung kann für das Betreiben eines Stromkreises mit einem Widerstand genutzt werden. Es wird also chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt (Brown et al., 2011)

### 3. Lernendenvorstellungen zum Thema Elektrochemie

Es ist ein allgemeines Dogma in der (Chemie-)Didaktik, dass Lernende nie als „unbeschriebenes Blatt“ in den Unterricht kommen. Als Heranwachsende machen sie Erfahrungen, Beobachtungen und ziehen Schlüsse. Weiters wurde im Kindergarten und der Grundschule schon grundlegender naturwissenschaftlicher Unterricht durchgeführt oder sie kamen mit chemischen Phänomenen in Kontakt (Streller et al., 2019). Da Lernen ein konstruktivistischer Prozess ist modellieren Lernende mit all diesen Vorerfahrungen ihre eigenen Vorstellungen und Erklärungsmodelle für chemische Sachverhalte oder Phänomene (Nakhleh, 1992). Diese Erklärungsmuster können aber teilweise erheblich von der gängigen naturwissenschaftlichen Erklärung abweichen (Streller et al., 2019).

#### 3.1. Definition und Erforschung von Lernendenvorstellungen

##### 3.1.1. Definition des Begriffs „Lernendenvorstellung“

In der Didaktik gibt es unterschiedliche Begriffe zu vorwissenschaftlichen Vorstellungen von Lernenden: Es wird von „Falschvorstellungen“ (Mahron, 1999), „Schülervorstellungen“, „Alltagsvorstellungen“, „Präkonzepten“ oder „vorwissenschaftliche Vorstellungen“ (Barke, 2006; Streller et al., 2019), und „Learners ideas“ (K. Taber, 2002) gesprochen.

Der Begriff „Lernendenvorstellung“ beschreibt folgendes Phänomen: Lernende konstruieren aufgrund ihrer Beobachtungen oder Alltagserfahrungen und mit dem ihnen zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen Vorwissen Erklärungen, Deutungen und in sich logische Verknüpfungen, mit denen ein (chemischer) Sachverhalt erklärt werden kann (Barke, 2006). Die in sich logischen Erklärungen entsprechen aber meist nicht ganz den Definitionen und Konzepten der naturwissenschaftlichen Forschung (Mahron, 1999). Die Erklärungen und Deutungen der Lernenden sind zwar aus naturwissenschaftlicher Sicht unangemessen, sie wurzeln aber in den von den Lernenden meist richtig angestellten Beobachtungen (Barke, 2018). Im Verlauf dieser Arbeit wird der Begriff „Lernendenvorstellung“ verwendet.

##### 3.1.2. Begründung der Erforschung von Lernendenvorstellungen

Die Kenntnis der Didaktikerinnen und Didaktiker um bekannte Lernendenvorstellung von Lernenden ist unumgänglich für guten Chemieunterricht, da die Lernendenvorstellungen für das Lernen oft hinderlich beziehungsweise für Lernen nach dem konstruktivistischen Modell notwendig sein können (Rohrbach-Lochner, 2017). Gemäß der Theorie des konstruktivistischen Lernens bilden Lernende ein individuelles, in sich logisches Wissenskonstrukt, in das es neue Informationen zu integrieren gilt (Reiners, 2017). Weichen diese neuen Informationen aber vom bisherigen Verständnis der Lernenden ab oder sind inkompatibel, so kann der neue Sachverhalt nicht angemessen in das bestehende Wissenskonstrukt integriert werden und weiteres Lernen wird erschwert (Nakhleh, 1992).

In Studien zeigte sich, dass Lernendenvorstellungen, mit denen Lernende in den Chemieunterricht kommen, oftmals sehr hartnäckig bestehen bleiben können, auch wenn im Unterricht das naturwissenschaftlich anerkannte Konzept behandelt wurde (Mahron, 2008; Reiners, 2017). Grund dafür ist, dass die Lernendenvorstellungen der Lernenden in sich schlüssig und logisch sind und sie sich für die Lernenden im Alltag eher bewährt haben als das neu vorgestellte Konzept (Mahron, 1999; Reiners, 2017).

Chemieunterricht kann und soll daher auch nicht bestehende Lernendenvorstellungen *ersetzen*. Vielmehr ist es Aufgabe der Lehrperson, an ein bestehendes Konzept anzuknüpfen und dies so zu verändern, dass den Lernenden bewusst gemacht wird, dass das neue chemische Konzept etwas besser erklärt als das Bestehende. Dieses „Bewusstmachen“ wird als kognitiver Konflikt bezeichnet und beschreibt den Zustand des Widerspruchs zwischen Lernendenvorstellung, beziehungsweise Alltagsvorstellung, und chemischem Konzept. Man spricht dabei auch von *conceptual growth* (Konzepterweiterung). Ist das fachlich nicht korrekte Konzept der Lernenden zu stark integriert, sodass ein *conceptual growth* ist nicht möglich ist, ist ein *conceptual change* (Konzeptwechsel) notwendig (Reiners & Saborowski, 2017). Die Einbeziehung von Lernendenvorstellungen für das weitere Lernen wird ebenso im Lehrplan für Chemie in der Sekundarstufe I gefordert (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2000).

Für Lehrpersonen ist es daher wichtig zu wissen, wo die Lernenden in ihren Vorstellungen stehen, um sie adäquat im Lernprozess begleiten zu können (Brauer et al., 2014).

### 3.2. Entstehung von Lernendenvorstellungen

Lernendenvorstellungen gibt es nicht erst bei heutigen Heranwachsenden. Betrachtet man die naturwissenschaftliche Entwicklung der letzten Jahrhunderte, so ist zu erkennen, dass die Konzepte, die Lernende in den Unterricht mitbringen, sich nicht sonderlich von den Vorstellungen der damaligen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen unterscheiden (Barke, 2006). Betrachtet man die historische Phlogistontheorie<sup>2</sup> oder das Umwandlungskonzept der mittelalterlichen Alchemisten<sup>3</sup>, so erkennt man, dass sich diese Annahmen durch aufmerksame Beobachtungen bildeten. Stahl (1697) führte Verbrennungsversuche mit Holzkohle und „Metallkalken“ (Metalloxiden) durch und beobachtete, dass die Kohle „verschwand“ und aus dem Metallkalk das elementare Metall wurde. Stahl schrieb dies dem Phlogiston in der Kohle zu. Heute erklären wir dies mit dem Konzept der Redoxreaktion (Jansen et al., 1991; Streller et al., 2019)

---

<sup>2</sup> Phlogistontheorie: Es wurde beobachtet, dass bei Verbrennungen der Brennstoff verschwindet. Stahl (1697) interpretierte dies mit dem „Phlogiston“, eine Substanz, die in brennbaren Stoffen enthalten ist und bei Verbrennung von der Luft aufgenommen wird (Barke, 2006).

<sup>3</sup> Alchemisten suchten nach dem „Stein der Weisen“, eine Tinktur, die diverse Metalle in Gold umwandeln sollte (Barke, 2006)

Bei Lernendenvorstellungen unterscheidet man zwischen Präkonzepten, welche vor allem im Anfangsunterricht auftreten und von Alltagsbeobachtungen her rühren, und Fehlkonzepten, welche sich aus dem Unterrichtsverlauf selbst heraus ergeben (Barke, 2006).

### 3.2.1. Präkonzepte

Präkonzepte resultieren aus der Erfahrung mit der alltäglichen Umwelt und ihrer Deutung. Schon in jungen Jahren stellen Kinder genaue Beobachtungen ihrer Umwelt an und setzen diese in einen für sie logischen Kontext (K. Taber, 2002). Als Beispiel für ein ursprüngliches Präkonzept sei der Ursprung von Holz: Menschen unterschiedlicher Altersstufen beobachten, dass ein Baum, dessen Stamm aus Holz besteht, aus der Erde wächst. Es wird gefolgert, dass das Holz seinen Ursprung in der Erde hat und nicht von der Pflanze selbst produziert wurde. Auffallend ist, dass, auch wenn im Unterricht das Konzept der Fotosynthese (Aufbau von Cellulose aus Kohlenstoffdioxid, Wasser und Licht) behandelt wurde, das ursprüngliche Präkonzept noch immer als Erklärungsmodell herangezogen wird. Dies kann der Fall sein, wenn es verabsäumt wurde, die Konzepte der Alltagsbeobachtungen mit dem schulischen Wissen zu verknüpfen (Barke, 2006).

Ein weiteres Beispiel für ein Präkonzept könnte die Erklärung der Zementation von elementarem Kupfer aus einer Kupfersulfatlösung an einem unedleren Metall als „Rosten“ sein. Die Lernenden beobachten im Alltag das Rosten von Eisennägeln und wenden dieses Konzept auf das neue beobachtete Phänomen an (Barke, 2006)

### 3.2.2. Fehlkonzepte

Unter Fehlkonzepten versteht man fehlerhafte Vorstellungen der Lernenden, die sich aus dem Chemieunterricht selbst ergeben. Diese ergeben sich zum Beispiel daraus, dass sich mit zunehmender Komplexität mancher Sachverhalte und der gegebenen Zeit keine vereinfachte aber widerspruchsfreie Erklärung anbieten lässt. Häufigere Ursachen für Fehlkonzepte können sein, dass Unterrichtsmedien oder die Unterrichtssprache Fehlkonzepte fördert, indem durch die Lehrperson auf fachlich unangemessene Formulierungen zurückgegriffen wird. Barke (2006) gibt als Beispiel die Elektronenpaarbindung und die Ionenbindung an. Geht man beispielsweise verstärkt auf die Elektronenpaarbindung ein und behandelt die Ionenbindung nur oberflächlich können sich daraus Fehlkonzepten bilden. Lernende geben dann oft die Antwort, dass sich in Mineralwasser, welches Calciumchlorid enthält,  $\text{CaCl}_2$ -Moleküle befinden. Das Konzept von Ionen und Ionengittern wurde aufgrund der Unterrichtskonzipierung nicht integriert – dazu später mehr (Barke, 2006).

Ebenso unter den Begriff „Fehlkonzept“ fällt die Lernendenvorstellung, dass Oxidationen nur mit Sauerstoff stattfinden.

### 3.3. Bekannte Lernendenvorstellungen zur Elektrochemie

Die folgenden Lernendenvorstellungen haben entweder direkten Bezug zur Elektrochemie oder haben einen übergeordneten Bezug dazu:

#### 3.3.1. Lernendenvorstellungen zum Aufbau der Materie und Atombau

Für das Verstehen des Aufbaus der Materie aus Atomen ist oft ein höheres Maß an Abstraktionsfähigkeit notwendig, vor allem im Anfangsunterricht befinden sich Lernende aber noch im Stadium konkreter Denkopoperationen (Barke, 2018). Lernendenvorstellungen über den Atombau beginnen daher schon sehr früh, im chemischen Anfangsunterricht. Lernende vertreten oft ursprünglich die Ansicht, Stoffe seien kontinuierlich aufgebaut. Der Gedanke daran, dass alles in unserer Welt aus einzelnen winzigen Teilchen, den Atomen besteht, und dass sich zwischen diesen Teilchen Nichts befindet wird später nur teilweise akzeptiert (Streller et al., 2019). In einer Studie von Harrison und Treagust (1996) mit Lernenden der 8. – 10. Schulstufe wurden einige Lernendenvorstellungen zum Atombau aufgedeckt. Auf die Frage hin, woraus denn eine Aluminiumfolie oder ein Block Eisen bestehe, antworteten nur wenige, dass diese aus Atomen bestehen. Auf die Frage, woraus Materie bestehe antworteten viele dann mit „Atomen“, wobei einige sogar eine Unterscheidung zwischen „toter“ und „lebendiger“ Materie machten: tote Materie sei aus Atomen, lebendige Materie aus Zellen aufgebaut.

Die befragten Lernenden hatten größtenteils ein einheitliches Bild von Atomen: „rund und sehr klein“. Ebenso wurde die Vorstellung bevorzugt, bei der Atome einen festen, klar abgegrenzten Kern besitzen und Elektronen wie eine Wolke oder wie auf Umlaufbahnen um den Kern kreisen. Die Befragten präferierten demnach auch eher Modelle, wie das Schalenmodell, gegenüber dem komplizierteren Orbitalmodell (Harrison & Treagust, 1996).

Ein ebenfalls häufig auftretende Lernendenvorstellung ist die Vorstellung, dass Eigenschaften makroskopischer Stoffe auf die mikroskopischen Teilchen übertragen werden können. Beispielsweise werden Eisenatome als hart, Bleiatome als weich und Schwefelatome als gelb angesehen. Dies geht so weit, dass man die Produkte chemischer Reaktionen nicht als neuen Stoff ansieht, sondern nur als Edukt mit neuen Eigenschaften („Das Kupferdach färbt sich grün“, anstatt „Kupfercarbonat entsteht“). Man könnte diese Lernendenvorstellung als Fehlkonzept bezeichnen, da viele Modelle und Darstellungen in Schulbüchern diese Vorstellung bekräftigen (Streller et al., 2019).

### 3.3.2. Lernendenvorstellungen zu Ionen und Salze

Lernendenvorstellungen zum Ionenbegriff sind meist Fehlkonzepte, also Vorstellungen der Lernenden, die aus dem Unterricht selbst heraus entstehen. Sowohl Barke (2006) als auch Taber (2012) begründet das in den sprachlichen Besonderheiten, vor allem im Anfangsunterricht Chemie: der Begriff „Teilchen“ wird einerseits allgemein für das Teilchenmodell („Wasserteilchen“) verwendet, andererseits ist es ein Oberbegriff für Ionen, Atome und Moleküle. Dazu kommt es häufig zu Verwechslung: Lernenden verwenden daher beispielsweise statt der Begriffe Natriumionen und Chloridionen den fachlich nicht angemessenen Ausdruck „Natriumchloridmolekül“. (Barke, 2006; Taber et al., 2012).

Ionen und Ionenbindung werden im Unterricht mit Salzen assoziiert. Vor allem in der Sekundarstufe I fällt es den meisten Lernenden schwer, sich abstrakte Modelle vorzustellen. Lernende der Sekundarstufe I stellen sich Teilchen, seien es Atome, Ionen oder Moleküle, zum Teil als mikroskopische Abbildungen des Teilchens selbst vor, ähnlich der Zuschreibung makroskopischer Eigenschaften auf mikroskopische Teilchen, wie die Farbe von metallischem Kupfer auf Kupferatome. So sind in der Vorstellung mancher Lernenden „Salzteilchen“ mikroskopisch kleine Salzkörner. Diese Zuschreibung der makroskopischen Eigenschaften von Salzen auf die Ionen behindert aber die fachlich angemessene Vorstellung, dass es sich bei Ionen um geladene Teilchen handelt, welche aufgrund entgegengesetzter elektrostatischer Anziehung zueinander eine dreidimensionale Struktur bilden. Erst nach geraumer Zeit löst sich diese Vorstellung (Taber et al., 2012).

Zum Teil kann auch die gebräuchliche Formelsprache, der Verhältnisformel von Ionen, die Vorstellung, dass es sich bei Salzen um Moleküle oder Atome handelt, befeuern. Diese Fehlkonzepte kommen auch in höheren Klassenstufen vor. Eine Untersuchung der Jahrgangsstufen 11 und 13 zum Thema „Lösungen von Salzen“ ergab, dass 12% der befragten Lernenden glaubten, dass sich ganze Teile eines Ionengitters in der Lösung befänden, 20% Prozent sprachen von Lösen der NaCl-Moleküle (Mahron, 2008). Zu einem ähnlichen Ergebnis gelangte eine Studie in Australien, für die Lernende einer High School angaben, bei Kochsalz handle es sich um NaCl-Moleküle (Taber et al., 2012).

Ein weiteres Fehlkonzept zu Ionen, also eine Lernendenvorstellung die sich aus dem Unterricht bildet, ist die Einführung der Ionenbindung als Prozess der Elektronenübertragung aufgrund der Oktettregel von einem Atom zu einem anderen Atom. Dieses Erklärungsmodell hat wenig mit dem tatsächlichen Vorgang zu tun, wie sich Salze bilden (zum Beispiel bei der Säure-Basen-Neutralisation oder bei der direkten Reaktion der Elemente). Die Lernenden akzeptieren das Erklärungsmodell der Elektronenübertragung zur Ionenbildung und assoziieren dies mit der Ionenbindung. Es können sich daraus Vorstellungen bilden, dass Ionen immer nur in Verbindung mit Elektronenübertragungsreaktionen vorkommen. Lernende wurden zur Ladung der Ionen in einem gebildeten Niederschlag einer Niederschlagsreaktion befragt. Die Lernenden führten die nachgewiesene Ionenladung darauf zurück, dass zwischen den einzelnen Teilchen im Niederschlag ein Elektronentransfer stattgefunden habe, ohne darauf einzugehen, dass sich die Ionen mit derselben Ladung schon in der Lösung befanden, aus der sich der Niederschlag gebildet hat (Taber et al., 2012).

In Schulbüchern wird, wenn es um das Lösen von Salzen in Flüssigkeiten geht, richtig von der Dissoziation gesprochen. Meistens fallen hierbei aber die Begriffe „Salze zerfallen“ und „Ionen bilden sich“. Daraus können sich Vorstellungen bilden, dass sich Ionen erst durch das Lösen in Wasser bilden und Salze nicht ionisch sind, sondern aus Molekülen bestehen (Mahron, 2008).

Bei einer Interviewstudie zu Lernendenvorstellungen in der Elektrochemie befragte Burger Lernende zu ihren Vorstellungen über elektrolytische Lösungen beim Daniell-Element. Es wurden dabei zehn Interviews von Lernenden der 12. und 13. Jahrgangsstufe aus Schulen aus Nordrhein-Westfalen analysiert. Der Großteil der Lernenden antworteten richtig, dass sich in der Lösung Zinkkationen und Sulfatanionen befinden müssten. Einige behaupteten aber, dass sich in der Lösung das Salz und metallisches Zink befände, welche durch die Flüssigkeit zusammengehalten würden. Eine Schülerin war der Meinung, dass die Lösung keine Ionen vorhanden seien, da ja gleich viele Kationen wie Anionen gelöst seien und die Lösung daher in sich neutral ist (Burger, 2000).

Im Physik- und Chemieunterricht werden Ionen oft durch Leitfähigkeitsmessungen nachgewiesen. Daraus resultiert in den Lernenden oft die Vorstellung, dass sich in einer Salzlösung ohne Anlegen einer äußeren Stromquelle keine Ionen bilden können (Mahron, 2008).

### 3.3.3. Lernendenvorstellung: Sauerstoff in Redoxreaktionen

Historisch gesehen wurden der Reduktionsbegriff und der Oxidationsbegriff nicht in Korrelation gesetzt. Der Begriff Reduktion wurde von Junge (1587-1657) definiert als ein „Zurückführen“ von Metallen aus Verbindungen. Der Begriff Oxidation wurde eingeführt, um Reaktionen mit Sauerstoff zu beschreiben. Erst mit der Entdeckung des Elektrons (Thompson, 1897) verschob sich die Definition von Reduktion und Oxidation dahingehend, sie als Elektronenübertragungsreaktion zu bezeichnen und sie in Abhängigkeit zueinander zu sehen (Barke, 2006).

Traditionsgemäß wird in der Sekundarstufe I anfänglich die Oxidation als Verbrennungsreaktion eingeführt – eine Reaktion mit Sauerstoff. Der Reduktionsbegriff wird eher spät eingeführt. Ab der Sekundarstufe II wird die Redoxreaktion als gekoppelte Reaktion gelehrt und mit dem Prinzip der Elektronenübertragung definiert. Die Lernenden sehen durch diese unterschiedlichen Erklärungen des Redoxbegriffs diese zwei Definitionen der Oxidations- und der Reduktionsreaktion (Redoxreaktionen in Sek II und Verbrennungsreaktionen in Sek I) als völlig unabhängige Reaktionen an, die teilweise nicht verbunden werden können (Hähndel, 1991).

Die von Hähndel (1991) beschriebene Zweiteilung äußerte sich exemplarisch bei einer Untersuchung zu Lernendenvorstellungen, bei der ein heißes Kupferblech in einen Standzylinder mit Chlorgas getaucht wurde und sich daraufhin auf dem Blech ein grüner Stoff bildete. Ein Schüler der Sekundarstufe II beschrieb den Vorgang wie folgt: „Es ist kein O<sub>2</sub> da, sodass kein CuO entstehen kann. Dennoch findet eine Redoxreaktion statt, nur mit Chlor“. Der Schüler greift zuerst auf die Sauerstoffdefinition zurück. Die Interpretation, dass eine Redoxreaktion mit Chlor (im Sinne einer Elektronenübertragungsreaktion), stattfindet, wird

erst dann als Alternative verwendet, wenn die Interpretation mit der Sauerstoffdefinition nicht mehr anwendbar ist. Anstatt einer Trennung der beiden Definitionen kann es auch zu einer Verschmelzung der Sauerstoffdefinition und der Elektronenübertragungsdefinition kommen, wie folgende Aussage eines Lernenden zeigt: „Bei einer Oxidation werden einem Stoff Elektronen entzogen und mit Sauerstoff ersetzt“ (Barke, 2006).

#### 3.3.4. Lernendenvorstellungen zu elektrochemischer Abscheidung, Fällungsreaktion, Zementation

Die Fällungsreaktion zwischen Kupfersulfat und Eisen ist ein anschaulicher Versuch, der leicht und schnell durchzuführen ist. Ein Eisendraht oder Eisennagel wird dabei in eine Kupfersulfatlösung getaucht – die unedleren Eisenatome geben aufgrund des negativeren Normalpotentials zwei Elektronen an die edleren, in Lösung befindlichen Kupferionen ab, welche ein positiveres Normalpotential als die Eisenatome haben. Die Eisenatome werden also oxidiert und gehen als Eisenionen in Lösung. Die in Lösung befindlichen Kupferionen nehmen die zwei Elektronen, die durch die Oxidation der Eisenatome abgegeben wurden, auf und werden zu Kupferatomen reduziert. Die Kupferatome scheiden sich dann als metallisches Kupfer ab und bilden ein Metallgitter. Werden Lernende, sowohl aus der Sekundarstufe I als auch Sekundarstufe II, mit diesem Versuch konfrontiert und gebeten, den Vorgang zu erklären, so zeigt sich, dass vielen Lernenden nicht klar ist, dass hier überhaupt eine chemische Reaktion stattfindet. Es scheint, als würde den Lernenden die reine Erklärung des Phänomens ausreichen und die Vorgänge auf der Teilchenebene werden außer Acht gelassen (Sumfleth, 1992; zitiert nach Burger, 2000).

Die gleiche Untersuchung zeigte einige Lernendenvorstellungen von Lernenden zu der Fällungsreaktion (Kupfersulfat und Eisen), die über die Ebene des Phänomens kaum hinausgehen. Das Phänomen der Abscheidung von elementarem Kupfer wird von 50% der Lernenden aus der Sekundarstufe I mit Alltagsvorstellungen erklärt. Im Folgenden sind einige der Lernendenvorstellungen aufgelistet (Sumfleth, 1992; zitiert nach Barke, 2006)

- Der kupferfarbene Überzug entsteht durch Absetzen, Hängen- oder Klebenbleiben eines Stoffes am Eisennagel.
- Das Kupfersulfat färbt auf den Nagel ab.
- Der Eisennagel zieht das Kupfer magnetisch an.
- Der Eisennagel rostet.
- Kupfer löst sich vom Sulfat und lagert sich am Eisennagel an.
- Das Kupfersulfat wird reduziert.
- Die Kupferatome ziehen Elektronen an und der Eisennagel nimmt die Ionenlösung auf.
- Durch eine Redoxreaktion reagiert das Eisen mit dem Kupfer, Eisen nimmt die Elektronen vom Kupfer auf und verfärbt sich kupferfarben.
- Das unedle Kupfer geht in Lösung und bildet den Niederschlag.

Tatsächlich verwendeten 34% der befragten Lernenden die Begriffe Reduktion, Oxidation, Elektronenübertragung, edel und unedel. Allerdings werden die Begriffe meist nicht richtig verwendet. Ebenso kommt es vor allem in der Sekundarstufe II zu keiner Unterscheidung zwischen  $\text{Cu}^{2+}$  (in  $\text{CuSO}_4$ ) und Cu (in metallischem Kupfer) – es wird also nicht zwischen Ion und Atom unterschieden (Fehlvorstellung). Weiters zeigt sich, dass oft nicht zwischen Stoffen und Teilchen unterschieden wird: so wird zwar oft fachlich richtig von  $\text{Cu}^{2+}$  als Ion oder Teilchen gesprochen, allerdings werden im gleichen Erklärungsansatz statt Fe-Atomen oder  $\text{Fe}^{2+}$ -Ionen der Eisennagel auf stofflicher Ebene herangezogen („Kupferionen aus der Lösung verbinden sich mit dem Eisennagel“) (Barke, 2006).

### 3.3.5. Lernendenvorstellungen zu Ladungstransport in Elektrolyten

Der Aufbau eines Daniell-Elements wurde in Kapitel 2.6. bereits erklärt. Damit ein Daniell-Element elektrische Arbeit verrichten kann, müssen folgende Vorgänge ablaufen: Zinkatome der Elektrode werden oxidiert und gehen als Zinkionen ( $\text{Zn}^{2+}$ ) in Lösung. Die in der Elektrode verbleibenden Elektronen wandern über eine Verbindung von der Zinkelektrode zur Kupferelektrode, wo sie mit den Kupferionen ( $\text{Cu}^{2+}$ ) aus der Kupfersulfatlösung reagieren und diese zu Kupferatomen reduzieren. In der Zinkhalbzelle entsteht dadurch ein Überschuss an positiver Ladung, in der Kupferhalbzelle ein Mangel an positiver Ladung. Diese Differenz der Ladung wird durch die Wanderung von Sulfationen ( $\text{SO}_4^-$ ) durch die poröse Trennwand beziehungsweise über eine Salzbrücke von der Kupferhalbzelle zur Zinkhalbzelle ausgeglichen (Riedel & Meyer, 2019).

Lernende haben oft Probleme, eine Unterscheidung zwischen der Elektronenwanderung von Elektrode zu Elektrode und der Ionenwanderung zu treffen. Eine typisches Lernendenvorstellung bezüglich des Stromflusses in einem Daniell-Element besagt, dass die verrichtete elektrische Arbeit auf Bewegung der Elektronen zurückzuführen ist – was an und für sich keine falsche Vorstellung darstellt. Werden Lernende gebeten, dies genauer zu erklären, so kann man allerdings erkennen, dass es bezüglich des Mechanismus unangemessene Vorstellungen gibt (Burger, 2000).

Erklärungsansätze der Lernenden lauten:

- Freie Elektronen bewegen sich durch die Lösung von einer Elektrode zur anderen.
- Die im Elektrolyten befindlichen Ionen transportieren die Elektronen von einer Elektrode zur anderen.
- Die im Elektrolyten befindlichen Ionen „reichen“ die Elektronen „weiter“.
- Negativ geladene Ionen lagern sich am Pluspol, positiv geladene Ionen lagern sich am Minuspol an.

(Burger, 2000; Lüke et al., 2021; Mahron, 1999).

Es ist aber anzunehmen, dass diese Lernendenvorstellungen erst in der Sekundarstufe II auftreten, da Lernende der Sekundarstufe I kaum mit dem Aufbau und den Vorgängen eines galvanischen Elements, genauer gesagt eines Daniell-Elements, in Kontakt kommen (Mahron, 1999).

## 4. Didaktische Besonderheiten beim Unterrichten von Elektrochemie in der Sekundarstufe I

Der Chemieunterricht in der Sekundarstufe I ist von vielen Punkten geprägt, sei es didaktische Aufbereitung, kognitive Besonderheiten in der Entwicklung der Lernenden, welche zu beachten ist, oder auch unterschiedliche Lehrplananforderungen je nach Schulart. Im Folgenden werden diese Punkte mit besonderem Augenmerk auf den Chemieunterricht in einer 7. Jahrgangsstufe hervorgehoben.

### 4.1. Lehrplanbezug zur Elektrochemie in der Sekundarstufe I

Die Unterrichtseinheit dieser Masterarbeit wurde in einer 7. Schulstufe einer Allgemeinbildenden Höheren Schule (AHS) durchgeführt, dementsprechend werden die entsprechenden Lehrpläne für diese Schulform herangezogen:

Laut aktuellem österreichischem Lehrplan ist in der Sekundarstufe Chemie ab der 7. beziehungsweise ab der 8. Schulstufe vorgesehen. Der Unterschied richtet sich danach, ob es sich um ein Gymnasium, ein Realgymnasium oder ein Wirtschaftskundliches Realgymnasium handelt. Für die Unterstufe eines Gymnasiums und die Unterstufe eines Realgymnasiums ist Chemie ab der 8. Schulstufe im Ausmaß von zwei bis vier Wochenstunden vorgesehen. Schulautonome Abweichungen sind möglich. Dem gegenüber ist Chemie in einem Wirtschaftskundlichen Realgymnasium ab der 7. Schulstufe in einem Ausmaß von insgesamt drei bis sechs Wochenstunden für die 7. und 8. Schulstufe vorgesehen. Schulautonome Abweichungen sind auch hier möglich (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2000).

Der Lehrplan für die 8. Schulstufe beziehungsweise für die 7. Schulstufe Chemie ordnet Redoxreaktionen in den Kernbereich „Grundmuster chemischer Reaktionen“ ein. Für Gymnasium und Realgymnasium schreibt der Lehrplan „Verstehen der Kopplung von Oxidation und Reduktion anhand einfacher Beispiele“ als Lehrziel vor. Demgegenüber schreibt der Lehrplan für die Unterstufe eines Wirtschaftskundlichen Gymnasiums das „Verstehen der Kopplung von Oxidation und Reduktion anhand einfacher Beispiele aus den Bereichen Verbrennung, Stoffwechsel, Zersetzungen, Elektrolyse, Energiequellen und Korrosion“ als Lehrziel vor (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2000).

Es ist dem Lehrplan daher zu entnehmen, dass in der Sekundarstufe I die Grundzüge der Oxidation und der Reduktion gelehrt werden sollen. Komplexere Gebiete der Elektrochemie, wie etwa submikroskopische Vorgänge in einem galvanischen Element oder die Elektrolyse sind für die Sekundarstufe II aber auch für die Sekundarstufe I eines Wirtschaftskundlichen Gymnasiums angedacht. Hierbei stellt sich die Frage, inwieweit man in der 7. Jahrgangsstufe Elektrochemie auf der submikroskopischen Ebene unterrichten kann oder ob ein phänomenologischer Ansatz anzudenken ist.

## 4.2. Kompetenzmodell Chemie – Sekundarstufe I

Das Kompetenzmodell für das Fach Chemie in der Sekundarstufe I wurde 2011 konzipiert und zeigt anhand der drei Dimensionen Inhaltsdimension, Anforderungsdimension und Handlungsdimension prozessorientiert die zu fördernden Fähigkeiten und Fertigkeiten im Chemieunterricht (Kern et al., 2017)

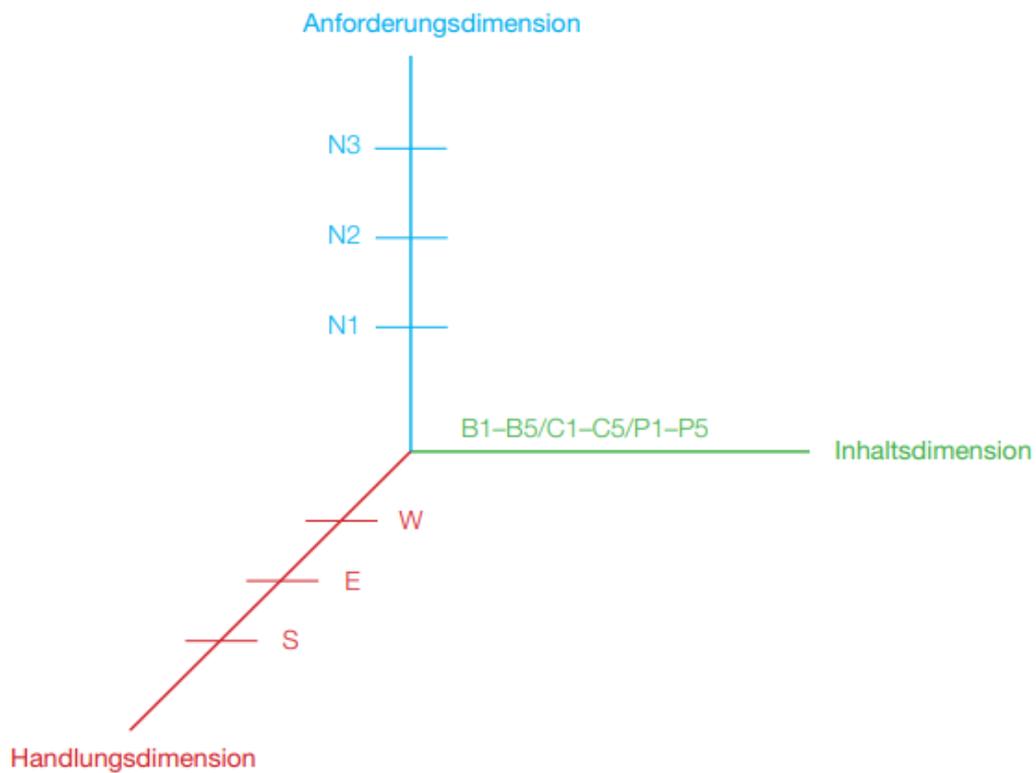


Abbildung 10: Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe (Institut des Bundes für Qualitätssicherung im österreichischen Schulwesen, 2011)

Die Einheit zum Forschenden Lernen zur Elektrochemie, welche empirisch untersucht wurde, lässt sich laut dem Kompetenzmodell der Inhaltsdimension C3: *Grundzüge der chemischen Reaktionen* zuordnen (siehe Lehrplan). Die Redoxreaktion gehört dabei zum Donator-Akzeptor-Prinzip, zu dem auch die Säure-Basen-Reaktionen gehören (Kern et al., 2017)

In der Einheit zum Forschenden Lernen zur Elektrochemie finden sich sowohl Aufgaben auf Anforderungsniveau I (reproduzierendes Handeln, Verwenden der Alltagssprache) als auch Anforderungsniveau II (Kombination aus reproduzierendem und selbstständigem Handeln, Miteinbeziehen der Fachsprache). Aufgabe 1 der Lernschachtel zur Elektrochemie ist beispielsweise, laut Definition von Blanchard, Forschendes Lernen auf Level 1, welches sich dem Anforderungsniveau I zuordnen lässt. Aufgabe 3 der Lernschachtel zur Elektrochemie ist per Definition von Blanchard eine Aufgabe auf Level 2. Die Lernenden sollen selbstständig Versuche planen und Daten interpretieren. Es werden ihnen allerdings Hilfestellungen geboten. Diese Aufgabe lässt sich daher laut dem Kompetenzmodell Naturwissenschaften für die 8. Schulstufe dem Anforderungsniveau II zuordnen (Institut des Bundes für Qualitätssicherung im österreichischen Schulwesen, 2011).

Die Handlungsdimension wird im Kompetenzmodell der Naturwissenschaften für die Sekundarstufe I unterteilt in drei Handlungskompetenzen:

- Wissen organisieren: Aneignen, Darstellen, Kommunizieren
- Erkenntnisse gewinnen: Fragen, Untersuchen, Interpretieren
- Schlüsse ziehen: Bewerten, Entscheiden, Handeln

Jede Handlungskompetenz wird weiter in jeweils vier Deskriptoren unterteilt, welche mit Buchstaben und Ziffern benannt werden können.

Die Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ spricht die Handlungskompetenzen „*Wissen organisieren*“ und „*Erkenntnisse gewinnen*“ an. Die Lernschachtel spricht folgende Deskriptoren an:

Wissen organisieren:

- W1: Ich kann einzeln oder im Team Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen
- W2: Ich kann einzeln oder im Team aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen.
- W3: Ich kann einzeln oder im Team Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik in verschiedenen Formen (Grafik, Tabelle, Bild, Diagramm ...) darstellen, erklären und adressatengerecht kommunizieren.  
(Institut des Bundes für Qualitätssicherung im österreichischen Schulwesen, 2011)

### Erkenntnisse gewinnen:

- E1: Ich kann einzeln oder im Team zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben.
- E2: Ich kann einzeln oder im Team zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen.
- E3: Ich kann einzeln oder im Team zu Fragestellungen eine passende Untersuchung oder ein Experiment planen, durchführen und protokollieren.
- E4: Ich kann einzeln oder im Team Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren.  
(Institut des Bundes für Qualitätssicherung im österreichischen Schulwesen, 2011)

Die Zuordnung der jeweiligen Handlungskompetenzen und deren Deskriptoren zu den einzelnen Aufgaben der Lernschachtel erfolgt im empirischen Teil.

Anhand der angesprochenen Handlungskompetenzen kann man erkennen, dass die Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ nicht nur darauf abzielt, dass die Lernenden sich mit fachlichen Inhalten auseinandersetzen. Die Lernenden haben auch die Möglichkeit, ihre Kompetenzen in selbstständiger Erkenntnisgewinnung zu üben. Die Handlungskompetenz „*Schlüsse ziehen – bewerten, entscheiden, handeln*“ wird in dieser Lernschachtel nicht angesprochen. Grund dafür könnte sein, dass es sich um eine Einführung in das Themengebiet der Elektrochemie handelt. Die Handlungskompetenz „*Schlüsse ziehen*“ würde im späteren Unterrichtsverlauf mehr Sinn ergeben, wo sich die Lernenden beispielsweise mit Batterien und Umweltproblematiken auseinandersetzen.

### 4.3. Johnstone-Dreieck: Die drei Ebenen in der Chemie

Chemie als Naturwissenschaft und auch der Chemieunterricht stützt sich auf zwei Säulen: die Beobachtung und die Theorie. Ein Phänomen kann beobachtet werden und auf stofflicher Ebene beschrieben werden. Geht es aber darum, das Phänomen auf Teilchenebene zu erklären, so braucht man korrekte fachliche Kenntnis. Bei wissenschaftlichen Erklärungen zu Phänomenen handelt es sich allerdings oft um ein abstraktes Konstrukt, das erst kognitiv erfassbar sein muss. Zusätzlich muss man sich in der Chemie der Symbolsprache bedienen, um die gedanklichen Konstrukte der Empirie und des wissenschaftlichen, fachlichen Konzepts zu erfassen. Für Kinder und Jugendliche stellt dieser ständige aber notwendige Wechsel zwischen Beobachtung, fachlichen Konzept und Symbolsprache eine besondere Herausforderung im Chemieunterricht dar (Reiners, 2017).

Johnstone entwarf aufgrund dieser Herausforderung beziehungsweise Problematik ein Modell, welches alle drei Ebenen der Chemie darstellt: die **makroskopische Ebene** (Phänomene, unmittelbar Erfahrbares), die **submikroskopische Ebene** (Teilchenebene, Atome, Ionen, Moleküle, etc.) und die **symbolische Ebene** (Symbole, Formeln, Reaktionsgleichungen, etc.), wobei anzumerken ist, dass es für den Chemieunterricht förderlich ist, wenn diese drei Ebenen klar durch die Lehrperson gekennzeichnet und aufbauend aufeinander eingeführt werden (Barke, 2018).

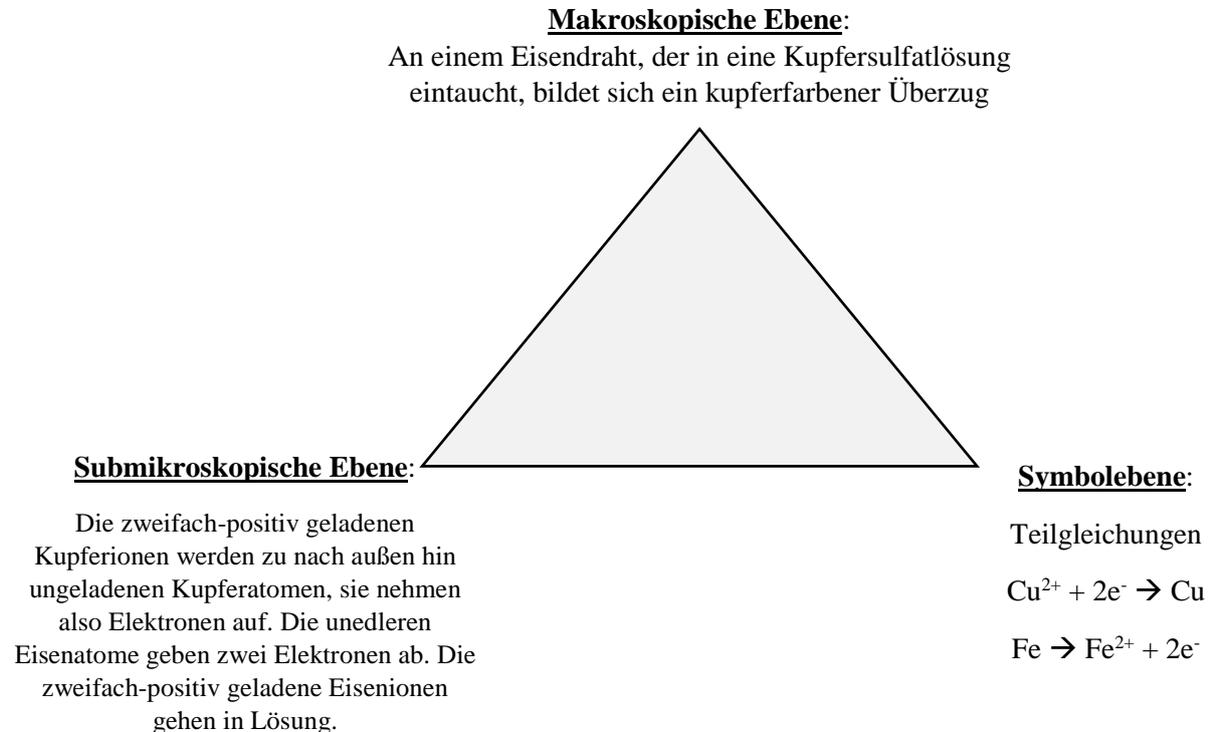


Abbildung 11: Johnstone-Dreieck mit Beispielen aus der Elektrochemie. Eigene Darstellung nach Reiners (Reiners, 2017).

#### 4.4. Kognitive Entwicklung nach Piaget

In den 1950er Jahren war die gängige Lerntheorie die der Behavioristen: der Fokus von Unterricht lag auf Faktenwissen, dem Input. Die Lernenden wurden dabei als „black box“ angesehen, welche dieses Faktenwissen aufnehmen und wiedergeben sollten. Erst 1960 wurde mit Bruners Buch „The Process of Education“ ein neuer Weg im Lehren von Naturwissenschaften eingeschlagen. Bruner betonte, dass es wichtiger sei, Strukturen und Zusammenhänge zu lehren als reine Fakten. Durch die wachsende Beliebtheit der konstruktivistischen Lerntheorie verlagerte sich der Fokus der Lernforschung in den 1960er und 1970er Jahren vermehrt auf psychologischen Ursachen und Voraussetzungen des Lernens. Auch Jean Piaget war ein Vertreter der konstruktivistischen Lerntheorie. Piaget stellte neue Theorien zur kognitiven Entwicklung und kognitiven Strukturen (Duit & Treagust, 1998).

Piagets Ansatz war, dass die kognitive Entwicklung in festgelegten Stadien verläuft. Auch wenn nicht alle Ansätze von Piaget heute noch kritiklos oder widerspruchsfrei hingenommen werden können – beispielsweise die strikte Trennung einzelner Entwicklungsstadien (Begemann, 1998) – so können Piagets Entwicklungsstadien dennoch zur Orientierung in der Lehre herangezogen werden, da die Stadien an eine gewisse geistige Reife gebunden sind (C. Reiners & Saborowski, 2017).

Stadium nach Piaget	Alter (in Jahren)	Merkmale und Aktivitäten
Sensomotorisches Stadium	0 - 2	Kognitive Schemata werden durch Ertasten und Erfühlen entwickelt, erste Unterscheidung zwischen Umwelt und Selbst
Präoperationales Stadium	2 - 7	Symbolische Denkstrukturen (z.B. „Bauklötze sind Autos“) und animistische Denkstrukturen („Bauklötze sind böse.“)
Konkret-operationales Stadium	7 - 11	Erste Formen logischer Schlussfolgerungen, Relationen werden ersichtlich (Zahlen, Klassen, Variablen)
Formal-operationales Stadium	11 - 15	Abstraktes Denken, Hypothesieren möglich, Fragestellungen können durchdacht werden, Gedanken sind unabhängig von der unmittelbaren Wahrnehmung

Abbildung 12: kognitive Entwicklungsstadien nach Piaget (Goerigk & Schmithüsen, 2019)

Für den Chemieunterricht in der Sekundarstufe I relevant sind hauptsächlich das konkret-operationale Stadium und das formal-operationale Stadium. Für Lernende in der Sekundarstufe I ist es oft schwer, die Brücke zu schlagen zwischen dem beobachtbaren Makrokosmos (Phänomenen) und den Erklärungen der Phänomene auf der submikroskopischen Ebene (siehe Johnstone-Dreieck) (Reiners & Saborowski, 2017).

Um aber Beobachtungen von Phänomenen und Ergebnisse von Versuchen auf der Teilchenebene – der submikroskopischen Ebene – interpretieren zu können und sie auf der Symbolebene zu kommunizieren ist eine gewisse Fähigkeit der Abstraktion notwendig (Haim, 2011).

Viele Lernende befinden sich in der Sekundarstufe I aber noch im konkret-operationalen Stadium beziehungsweise befinden sich erst im Übergang zum formal-operationalen Stadium. Es ist daher beim Chemieunterricht in der 7. Schulstufe wichtig, die Entwicklungsstufen der Lernenden zu berücksichtigen. Das kann beispielsweise bedeuten, dass Animismen, Alltagsanalogien und vor allem auch eine Phänomenfixierung bei der Beschreibung von chemischen Vorgängen anzunehmen und zu akzeptieren ist. Nichts destotrotz soll auch in der Sekundarstufe I formal-operationales Denken angestrebt werden, da diese Entwicklungsstufe Förderung braucht und sich ohne kognitive Herausforderung (oft in der Literatur auch als „kognitiver Konflikt“ bezeichnet) nicht von alleine bilden kann (Reiners & Saborowski, 2017).

Im theoretischen Teil wurden nun die wichtigsten Grundlagen zusammengefasst und erläutert, welche für die Bewertung, Umsetzung und Evaluation der Einheit „Elektrochemie – Einführung“ sowie für die bestmögliche Beantwortung der drei gestellten Forschungsfragen notwendig sind. So wurde der Begriff Forschendes Lernen definiert. Forschendes Lernen als Unterrichtskonzept stellt den Anspruch, dass Lernende sich nachhaltig und, je nach Level, selbstständig mit Fachinhalten auseinandersetzen, die eigene Forschungskompetenz üben, sowie mehr über wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung erfahren. Makro- und Mikroscaffolding soll die kognitive Überbelastung verhindern. Bei der Evaluierung der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ wird vor allem das digitale Scaffolding und damit im Zusammenhang das selbstständige Arbeiten der Lernenden analysiert. Da die Veränderung von Lernendenvorstellungen ebenfalls einen zentralen Punkt in dieser Arbeit darstellt, wurden die bekanntesten Lernendenvorstellungen zur Elektrochemie, sowie deren Ursachen recherchiert und aufgelistet. Dies erleichterte die Analyse der vorherrschenden Lernendenvorstellungen der an der Untersuchung beteiligten Lerngruppe. Ebenso wichtig ist die Definition der makroskopischen, submikroskopischen und symbolischen Ebene nach Johnstone sowie die Erläuterung der kognitiven Entwicklungsstufen nach Piaget, um die Effektivität der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ sowie das dazugehörige Scaffolding in einer 7. Schulstufe zu ermitteln.

# EMPIRISCHER TEIL

## 5. INQUIRYsteps – die Website [Inquirysteps.com](http://Inquirysteps.com)

INQUIRYsteps ist ein Projekt der Pädagogischen Hochschule Niederösterreich, der Pädagogischen Hochschule Wien, der Universität Wien (Austrian Educational Competence Center Chemistry – AECC Chemie) sowie der Universität Graz (Fachdidaktikzentrum Chemie). Die Website [Inquirysteps.com](http://Inquirysteps.com) ist eine Onlineplattform, auf der zu diversen naturwissenschaftlichen Themen digitales Scaffolding für Unterrichtseinheiten im Format des Forschenden Lernen angeboten werden. Die Themen sind als sogenannte „Lernschachteln“ organisiert, wobei es so gedacht ist, dass für Gruppen von Lernenden tatsächliche Lernschachteln zusammengestellt werden in denen sich alle Materialien und Chemikalien befinden, die für die Bearbeitung einer oder mehrerer Fragestellungen notwendig sind. Die Website leitet die Lernenden bei den Aufgaben an und bietet den Lernenden dabei digitales Scaffolding in Form von Tippkarten, Concept Cartoons und/oder Versuchsanleitungen in Form von Videos oder in schriftlicher Form an. So soll es Lernenden möglich sein, die Lernschachteln möglichst selbstständig und individuell zu bearbeiten. Des Weiteren gibt es eine Protokollfunktion, bei der die Lernenden direkt auf der Website ihre Hypothesen, Beobachtungen, Auswertungen und Dateninterpretationen festhalten. Die Protokollvorlagen sind stark gegliedert und sollen als weiteres Makroscaffold dienen (siehe Kapitel 1.5.4.) (*INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital*, o. J., Zugriff 26.05.2022)

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Masterarbeit sind drei Themen verfügbar:

- Lernschachtel „Chemische Reaktionen“
- Lernschachtel „Auftrieb und Dichte“
- Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“

Bei den Themen finden sich Schaltflächen mit unterschiedlichen Farben. Je nachdem welche Farbe die Schaltfläche hat, hat sie eine andere Funktion.

- Blaue Schaltflächen: Versuchsanleitungen oder Aufgaben
- Orange Schaltflächen: Protokollfunktion oder Protokollanleitungen
- Lila Schaltflächen: Tippkarten

Das Farbschema für Tippkarten weicht bei der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ ab, Tipps sind weiß und als „Tippkarte“ gekennzeichnet. Dies liegt daran, dass sich das Scaffolding für die Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ noch in Entwicklung befindet und das Farbschema erst nach endgültiger Fertigstellung angepasst wird. Klickt man auf Karte dreht sich die Tippkarte um. Weiters sind die Tippkarten des Concept Cartoons mit dem Symbol „i“ gekennzeichnet.

Da in dieser Arbeit die physisch vorhandene Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ sowie das Scaffolding für die Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ verwendet und analysiert wurde bezieht sich die genauere Beschreibung des Aufbaus und Durchführung der Plattform auf diese spezifische Lernschachtel.

## 6. Die Lernsachtel „Elektrochemie – Einführung“

Zunächst soll der Ablauf des angebotenen Scaffoldings der untersuchten und analysierten Lernsachtel „Elektrochemie – Einführung“ sowie die zur Verfügung gestellten Materialien und das eventuell benötigte Vorwissen beschrieben werden. Da die Lernsachtel für den Einsatz in der Sekundarstufe I betrachtet und untersucht wurde, wurden zu jeder Teilaufgabe der Website die Lehrziele nach dem Lehrplan Chemie für die 7. Schulstufe eines Wirtschaftskundlichen Gymnasiums formuliert. Ebenso wurden für jede Aufgabe die angestrebten Kompetenzen nach dem Kompetenzmodell Chemie für die Sekundarstufe I zugeordnet. Um die Lernsachtel zum Thema der Elektrochemie zielführend bearbeiten zu können, brauchen die Lernenden Vorwissen zum Atomaufbau (Wissen um Elektronen und deren Aufenthaltsorte), von Ionen und eventuell zur Bildung von Ionen. Weiters ist es von Vorteil aber auch nicht zwingend notwendig, wenn der Begriff Oxidation als Elektronenabgabe und die Reduktion als Elektronenaufnahme bekannt sind.

Eine Lernsachtel zur Einheit der Elektrochemie enthält folgende Materialien und Chemikalien:

### Materialien

- 1 Multitierplatte pro Lernsachtel
- Schutzbrillen in Klassenstärke
- 1 Spatel pro Lernsachtel
- 1 Glasstab pro Lernsachtel
- 1 Stück Schleifpapier pro Lernsachtel
- 1 50 Milliliter Becherglas
- 1 Kupferdraht (ca. 7 cm Länge) pro Lernsachtel
- 1 Eisendraht (ca. 7 cm Länge) pro Lernsachtel
- 1 Silberdraht (ca. 7 cm Länge) pro Lernsachtel
- 1 Zinkplättchen (ca. 7 cm Länge) pro Lernsachtel
- 4 Schnappdeckelgläser pro Lernsachtel
- 1 Stift pro Lernsachtel
- 2 Blätter Küchenpapier pro Lernsachtel

### Chemikalien (je 4-5 Spatelspitzen)

### Gefahrensymbole

Kupfersulfat Pentahydrat ( $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ )



Eisensulfat Heptahydrat ( $\text{FeSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ )



Silbernitrat ( $\text{AgNO}_3$ )



Zinksulfat Heptahydrat ( $\text{ZnSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ )



Abbildung 13: Materialien und Chemikalien (eigene Darstellung) inklusive der zugehörigen Gefahrenpiktogramme (<https://www.reach-compliance.ch/ghsclp/neuegefahrenpiktogramme/> Zugriff: 26.05.2022) der Lernsachtel „Elektrochemie – Einführung“

Auf der ersten Seite der Lernschachtel wird die Gruppengröße von zwei bis drei Lernenden festgelegt, weiters wird einer Person die Rolle des Schriftführers beziehungsweise der Schriftführerin zugesprochen. Gemäß dem Farbcode sind protokollrelevante Texte in Orange unterlegt, Aufgabenstellungen sind in blauer Farbe unterlegt.

Die Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ beinhaltet vier aufeinander aufbauende Aufgaben:

### 6.1. Aufgabe 1: Welches von beiden Metallen kannst du oxidieren?

Zu Beginn von Aufgabe 1 wird zunächst die Fragestellung, die bei diesem Versuch beantwortet werden soll, nochmals vorgestellt: „Welches von beiden Metallen kannst du oxidieren?“ Weiters werden auf einem Foto inklusive Beschriftung die Materialien gezeigt, die herzurichten sind.

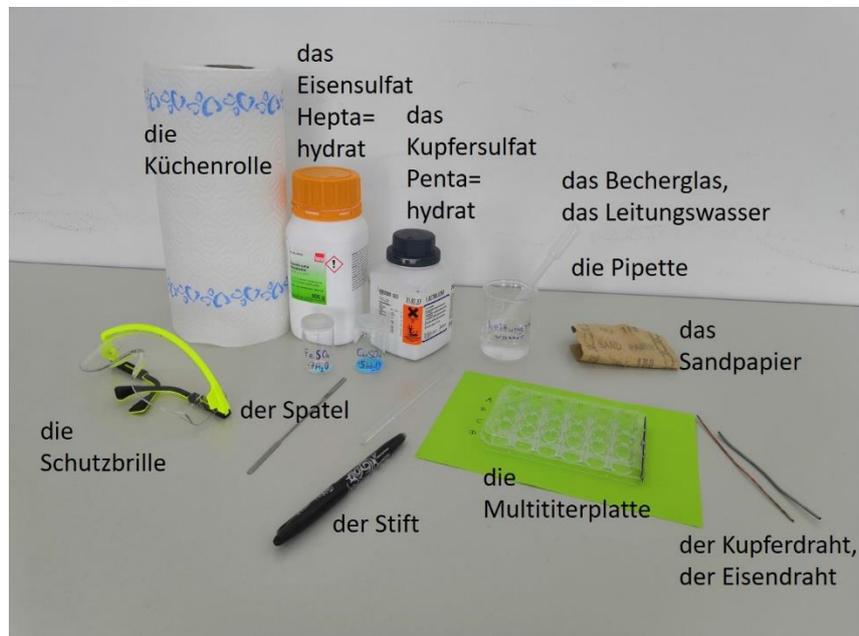


Abbildung 14: Materialliste Aufgabe 1 der Lernschachtel „Elektrochemie –Einführung“ (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022)

Die Materialien als Foto und in Schrift nochmals zu zeigen bietet eine gute Differenzierungsmöglichkeit indem unterschiedliche Vorkenntnisse und Sprachkenntnisse ausgeglichen werden und unterschiedliche Wahrnehmungskanäle angesprochen werden. Fragestellung und Titel des Versuches sollen in das Protokoll geschrieben werden.

Die Beschreibung der Durchführung des Versuchs ist sowohl schriftlich als auch als Video vorhanden. Dadurch werden Lernende mit schwacher Lesekompetenz unterstützt und unterschiedliche Wahrnehmungskanäle der Lernenden angesprochen. Die Lernenden werden dazu aufgefordert mit dem Spatel einige Körnchen Eisensulfat Heptahydrat in eine Vertiefung und einige Körnchen Kupfersulfat Pentahydrat in eine zweite Vertiefung der Multititerplatte zu geben und beide Vertiefungen mit etwas Leitungswasser aufzufüllen. Nach kurzem Umrühren soll der Eisendraht in die Kupfersulfatlösung und der Kupferdraht in die Eisensulfatlösung gestellt werden und nach einiger Zeit die Veränderung beobachtet und notiert werden. Die

Phänomene, die beobachtet werden können, sind zunächst von den Lernenden selbst zu beschreiben.

Lernende, die bei der Einordnung und Verschriftlichung ihrer Beobachtung Hilfe benötigen, können als weitere Differenzierungsmaßnahme folgende Tippkarten in Anspruch nehmen:

- **„Beobachte die Farbänderung der Kupfersulfatlösung. Die Blaufärbung zeigt zweifach positiv geladene Kupferionen an.“**
- **„Am Eisendraht ist eine Veränderung zu beobachten.“**  
(INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022)

Auf der letzten Seite wird, sofern benötigt, das zu beobachtbare Phänomen – Eisendraht hat sich verfärbt, Kupfersulfatlösung hat sich entfärbt – zur Gänze beschrieben. Ebenso ist ein Foto des verfärbten Eisendrahts und des unveränderten Kupferdrahts zu sehen.

In Aufgabe 1 „Welches von beiden Metallen kannst du oxidieren?“ ist sowohl die Fragestellung als auch die Durchführung des Versuches durch Inquirysteps.com vorgegeben. Die Anleitung zur Beobachtung des Phänomens sowie das beobachtbare Phänomen selbst (in Form eines Fotos auf der Website) ist vorgegeben. Die Dokumentation der Beobachtung bleibt den Lernenden überlassen, wobei auch dafür Hilfestellungen in Form von Tippkarten gegeben werden. Aufgabe 1 lässt sich daher per Definition nach Blanchard am ehesten Level 1 zuordnen.

#### Lehrziele zu Aufgabe 1:

- Die Lernenden können einen vorgegebenen, angeleiteten Versuch zu einer Redoxreaktion (Eisensulfat und Kupfer sowie Kupfersulfat und Eisen) auf Level 1 eines Unterrichtssettings im Kontext Forschenden Lernens mit Hilfe der Anleitungen auf der Plattform Inquirysteps.com durchführen.
- Die Lernenden können zu einem vorgegebenen, angeleiteten Versuch zu einer Redoxreaktion (Eisensulfat und Kupfer sowie Kupfersulfat und Eisen) auf Level 1 eines Unterrichtssettings im Kontext Forschenden Lernens Beobachtungen anstellen und diese schriftlich in einer Protokollvorlage festhalten.

#### Angestrebte Kompetenzen in Aufgabe 1:

- W1: Ich kann einzeln oder im Team Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen
- W2: Ich kann einzeln oder im Team aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen.
- E1: Ich kann einzeln oder im Team zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben.  
(Institut des Bundes für Qualitätssicherung im österreichischen Schulwesen, 2011)

## 6.2. Aufgabe 2: Was stimmt bei den Aussagen nicht?

Aufgabe 2 mit dem Titel „Was stimmt bei den Aussagen nicht“ baut inhaltlich auf Aufgabe 1 auf und beinhaltet einen Concept Cartoon als Makroscaffold (Hofer, 2020). Klickt man auf Aufgabe 2 zeigt sich dem Leser oder der Leserin die erweiterte Überschrift, welche gleichzeitig eine Anleitung gibt, was bei dieser Aufgabe zu tun ist:

**„Wie kannst du begründen, was bei Aufgabe 1 passiert ist? Stelle die Aussagen richtig.“**



Abbildung 15: Concept Cartoon in Aufgabe 2 der Lernschachtel „Elektrochemie –Einführung“(INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022)

Die Lernenden werden bei Aufgabe 2 aufgefordert die drei Aussagen der Figuren im Concept Cartoon zu lesen und in der Gruppe darüber zu diskutieren, was an den Aussagen fachlich korrekt ist und wie die Aussage eventuell richtig zu stellen wäre. Die Diskussionsbeiträge zu den jeweiligen Aussagen soll der Lehrperson oder im Plenum mündlich bekannt gegeben werden sowie schriftlich im Protokoll festgehalten werden. Die drei Aussagen lauten (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022):

- **„Magnetisches Eisen zieht die Kupferionen aus der Lösung an!“**  
Hier wird eine klassische Lernendenvorstellung zur Zementationsreaktion von metallischem Kupfer aus einer Kupfersulfatlösung und unedlerem metallischen Eisen aufgegriffen. Die Aussage soll die Lernenden zum Nachdenken anregen, um ihre Vorstellungen zu reflektieren.
- **„Der Eisendraht hat sich rotbraun verfärbt, dabei muss es sich um Rost handeln!“**  
Auch hier wird eine klassische Lernendenvorstellung zur Zementationsreaktion von metallischem Kupfer aus einer Kupfersulfat und unedlerem metallischen Eisen aufgegriffen. Die Lernenden sollen dadurch angeregt werden, diese Vorstellung zu reflektieren.
- **„Es werden 2 Elektronen von den Eisenionen an die Kupferatome abgegeben.“**  
Diese Aussage geht stark auf die submikroskopische Ebene ein und bietet ein gutes Scaffolding für eine fachlich richtige Erklärung auf der Teilchenebene. Die Vertauschung der Begriffe „Ion“ und „Atom“ könnte einen Stolperstein darstellen.

In einer vierten, leeren Sprechblase werden die Lernenden aufgefordert ihre eigene Erklärung festzuhalten: zuerst mündlich im Plenum oder an die Lehrperson gerichtet, anschließend verschriftlicht in der Protokollvorlage.

Klickt man weiter zu „Lösungen zu Aufgabe 2“ so befinden sich bei jeder Sprechblase beim Concept Cartoon wiederum Tippkarten, die die Lernenden nutzen können, sofern sie die Aussagen nicht richtigstellen können. Die Lösungen zu den einzelnen Aufgaben lauten (in der Reihenfolge wie im oberen Absatz beschrieben):

- **„Ferromagnetisches Eisen zieht nur Stoffe an, die selbst ferromagnetisch sind. Kupferionen können so nicht angezogen werden.“**
- **„Damit Rost entstehen kann braucht der Werkstoff (hier Eisen) feuchte Luft und Zeit. Es muss hier also was anderes passiert sein.“**
- **„Achtung! Hier wurden die Begriffe Ionen und Atome vertauscht.“**
- Auch für die leere Sprechblase gibt es einen Lösungsvorschlag: **„Hier können viele Aussagen stehen. Eine wäre z.B. Es werden jeweils 2 Elektronen von den Eisenatomen an die Kupferionen abgegeben.“**

(INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022)

Die Erklärung zur Redoxreaktion aus Aufgabe 1 wird komplettiert, indem bei „Aufgabe 2: Lösung Teil 2“ die Redoxreaktion so wie die zwei Teilgleichungen der Oxidation und der Reduktion bekannt gegeben werden. Die Lernenden werden dabei aufgefordert die Reaktionsgleichung in ihre Protokollvorlage zu übertragen. Die Gleichung der Redoxreaktion gibt den Lernenden nochmals die Chance auf der Teilchenebene nachzuvollziehen was bei der Reaktion in Aufgabe 1 geschehen ist.

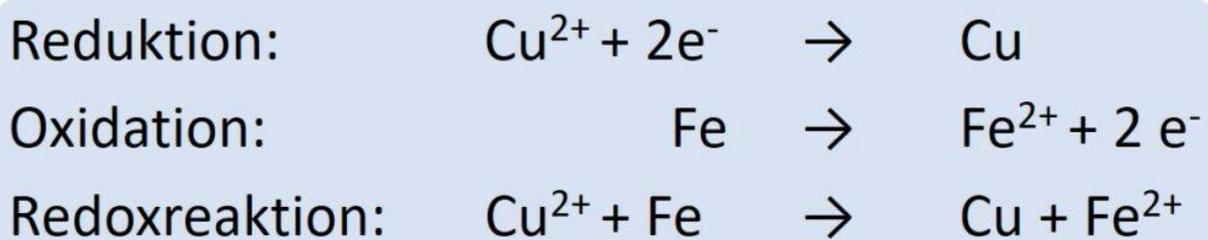


Abbildung 16: Reaktionsgleichung der Redoxreaktion zwischen Kupferionen und Eisenatomen aus Aufgabe 2: Lösung Teil 2 der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022)

Weiters ist mit der Gleichung der Redoxreaktion eine Erklärung gegeben, wann man bei einer Reaktion von einer Oxidation spricht, nämlich wenn ein Teilchen Elektronen aufnimmt, und wann man von einer Reduktion spricht, nämlich bei Elektronenabgabe eines Teilchens.

Zur Kontrolle, ob das Prinzip der Reduktion und Oxidation verstanden wurde und ob die submikroskopische Ebene der chemischen Reaktion aus Aufgabe 1 verinnerlicht werden konnte, können die Lernenden anschließend eine Multiple Choice Frage beantworten. Von sechs möglichen Antworten sind drei richtig (siehe Abbildung 17). Die Lernenden können diese Aufgabe beliebig oft wiederholen.

Welche der folgenden Sätze stimmen?

Das Kupfer kann oxidiert werden.

Die Kupferatome nehmen 2 Elektronen auf und werden zu Kupferionen reduziert.

Die Eisenatome geben 2 Elektronen ab und werden zu Eisenionen reduziert.

✓ Das Eisen kann oxidiert werden. +1

✓ Die Eisenatome geben 2 Elektronen ab und werden zu Eisenionen oxidiert. +1

✓ Die Kupferionen nehmen 2 Elektronen auf und werden zu Kupferatomen reduziert. +1

 3/3

Abbildung 17: Multiple Choice Frage aus Aufgabe 2: Lösung Teil 2 der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ mit korrekt angekreuzten Antwortmöglichkeiten (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022)

Da Aufgabe 2 inhaltlich auf Aufgabe 1 aufbaut, könnte man Aufgabe 2 nach der Definition von Blanchard oder Schwab auch auf Level 1 des Forschenden Lernens einordnen. Forschendes Lernen auf Level 1 beschreibt, dass Fragestellung, sowie Durchführung beziehungsweise die Methode der Datensammlung vorgegeben ist, die Auswertung und Interpretation der Daten ist nicht vorgegeben und steht den Lernenden frei. Betrachtet man nun den Lösungsteil von Aufgabe 2 (Tippkarten zum Concept Cartoon sowie Vorgabe der Reaktionsgleichung), so könnte man meinen, dass die Interpretation des chemischen Phänomens durch die Lehrperson oder in diesem Fall die Seite Inquirysteps.com vorgegeben ist. Aufgabe 1 und Aufgabe 2 wären demnach Forschendes Lernen auf Level 0. Da aber die Nutzung der Tippkarten, welche die Aussagen des Concept Cartoons richtigstellen, den Lernenden freisteht ist die Interpretation nicht vorgegeben, sondern gestützt. Daher ist die Einordnung von Aufgabe 2 auf Level 1 zulässig.

#### Lehrziele zu Aufgabe 2:

- Die Lernenden können zu vorgegebenen, konkurrierenden Erklärungsmodellen (zwei bekannte Lernendenvorstellungen zum Zementationsversuch von einem Eisendraht in Kupfersulfatlösung und eine falsche Aussage auf der Teilchenebene zu diesem Versuch) sowohl mündlich im Plenum oder der Lehrperson gegenüber als auch schriftlich in ihrer Protokollvorlage Stellung beziehen.
- Die Lernenden können zu ihren Beobachtungen aus Versuch 1 zu Redoxreaktion auf Level 1 (Oxidation von Eisen mit einer Kupfersulfatlösung) ein für sie schlüssiges chemisches Erklärungsmodell aufstellen und dieses im Protokoll schriftlich festhalten.
- Die Lernenden können die Teilgleichungen der Oxidation und der Reduktion sowie die Gleichung der in diesem Versuch ablaufenden Redoxreaktion mithilfe des Scaffoldings verschriftlichen.
- Die Lernenden können anhand der Gleichung der Redoxreaktion ablesen, welcher Reaktionspartner oxidiert und welcher reduziert wird.

- Die Lernenden können ihr erworbenes Wissen in Form einer Wissensüberprüfung anwenden.

Angestrebte Kompetenzen zu Aufgabe 2:

- W2: Ich kann einzeln oder im Team aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen.
- W3: Ich kann einzeln oder im Team Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik in verschiedenen Formen (Grafik, Tabelle, Bild, Diagramm, ...) darstellen, erklären und adressatengerecht kommunizieren.
- E2: Ich kann einzeln oder im Team zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen.
- E4: Ich kann einzeln oder im Team Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren.
- (Institut des Bundes für Qualitätssicherung im österreichischen Schulwesen, 2011)

### 6.3. Aufgabe 3: Kannst du die Metalle vom unedelsten zum edelsten Metall ordnen?

Zu Beginn von Aufgabe 3 wird die Fragestellung durch InquirySteps.com bekanntgegeben:

„Als Metalle hast du Kupfer, Silber, Zink und Eisen. Welches Metall ist das edelste? Welches das unedelste? Wie würdest du die beiden anderen Metalle dazwischen einordnen?“  
(INQUIRYSteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022)

Die Materialien, die für die Untersuchung benötigt werden, sind abgebildet:

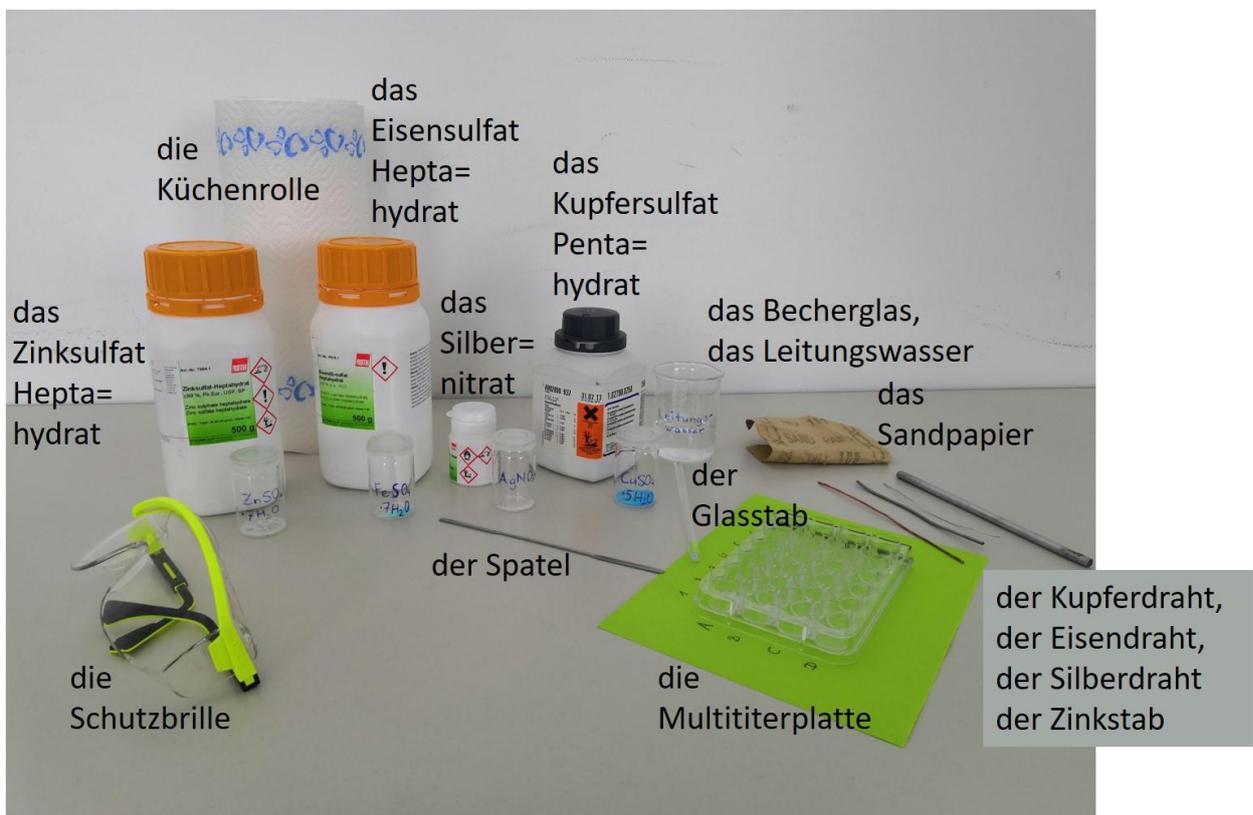


Abbildung 18: Materialien zu Aufgabe 3 der Lernschachtel „Elektrochemie –Einführung“ (INQUIRYSteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022)

Die Lernenden werden aufgefordert eine Hypothese aufzustellen, wie die zur Verfügung stehenden Metalle von edel zu unedel zu ordnen sind. Zur leichteren Verständlichkeit wird statt dem Begriff „Hypothese“ der Begriff „Vermutung“ verwendet.

Sollten die Lernenden unsicher sein, was edel und unedel bedeutet, so ist steht wieder eine Tippkarte zur Verfügung, die bei Bedarf „umgedreht“ werden kann und eine Definition über edle und unedle Metalle gibt:

Edle Metalle sind reaktionsträge. Sie reagieren nicht oder nur sehr langsam mit anderen Stoffen. Je edler ein Metall, mit umso weniger Stoffen reagiert es.

Unedle Metalle sind reaktionsfreudig. Sie werden leicht oxidiert (geben Elektronen leicht ab). Sie reagieren mit Sauerstoff, reagieren mit verdünnten Säuren, reagieren mit den Salzen anderer Metalle. Je unedler ein Metall, mit umso mehr Stoffen reagiert es.

 Umdrehen

Karte 1 von 1

Abbildung 19: Tippkarte zur Definition edler und unedler Metalle in Aufgabe 3 der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, 2022) (<https://inquirysteps.com/elektrochemie-aufgabe-3/> Zugriff: 26.05.2022)

Die Begriffe „edel“ und „unedel“ werden hierbei auf der makroskopischen Ebene hinsichtlich der Reaktionsfreudigkeit beschrieben. Bei unedlen Metallen geht die Tippkarte in die submikroskopische Ebene indem erklärt wird, dass unedle Metalle leichter oxidiert werden, also Elektronen abgeben. Anhand dieser Definition sollen die Lernenden nun eigenständig einen Versuch planen mit dem die Metalle auf ihre Reaktionsfreudigkeit überprüft werden können, sodass die Metalle danach geordnet werden können wie edel sie sind. Die Versuchsplanung ist außerdem in der Protokollvorlage zu verschriftlichen, sodass die Lehrperson eventuell vor der Durchführung des Versuchs die Planung überprüfen kann.

Sollten die Lernenden mit der eigenständigen Planung überfordert sein gibt es auch hier eine Tippkarte für die Planung der Untersuchung:

Ordne die Metalle danach, mit wie vielen unterschiedlichen Salzlösungen sie reagieren.

Beobachte dazu die Reaktion der Metall in unterschiedlichen Salzlösungen.

Dokumentiere deine Beobachtungen übersichtlich: Welche Metalle reagieren in welchen Salzlösungen?

 Umdrehen

Karte 1 von 1

Abbildung 20: Tippkarte zur Planung der Untersuchung in Aufgabe 3 der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022)

Nach Durchführung der Untersuchung sind die Lernenden dazu angehalten den Versuch zu reflektieren und eine Erklärung auf der Ebene der Atome und Ionen zu finden und diese in der Protokollvorlage zu verschriftlichen. Die Lernenden werden auch explizit dazu aufgefordert die einzelnen Reaktionsgleichungen niederzuschreiben. Inwieweit die Lernenden dies in der Sekundarstufe I schaffen zeigt sich in der Evaluation und Auswertung der Protokollbögen. Zur Selbstkontrolle, ob die eigene Versuchsauswertung korrekt war, gibt es auf der letzten Seite der Aufgabe 3 eine Funktion, bei der die vier Metalle Silber, Kupfer, Eisen und Zink geordnet werden können. Durch Klicken auf das Häkchen-Symbol wird angezeigt, ob die Reihung von unedel nach edel korrekt war oder nicht.

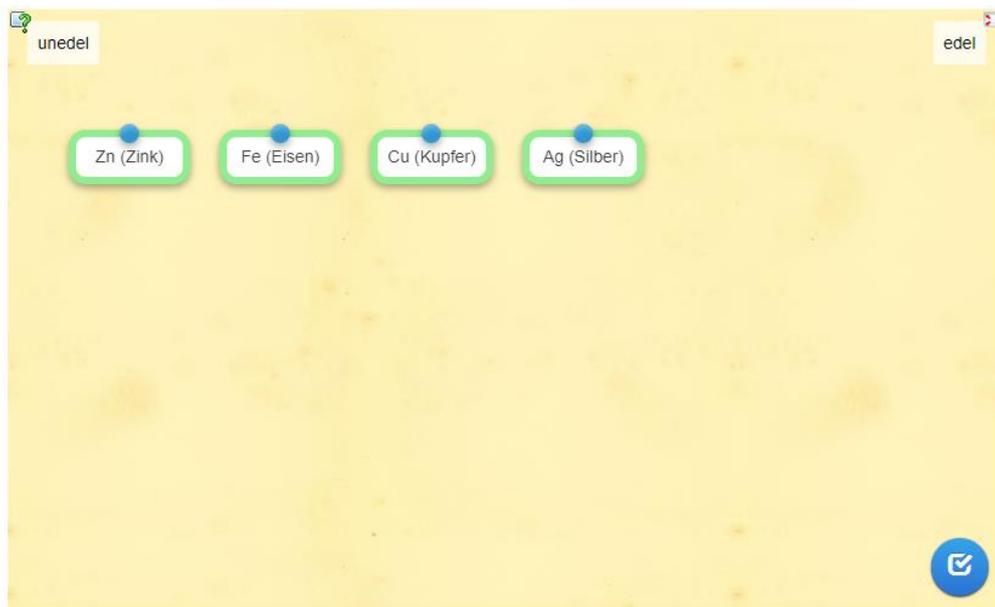


Abbildung 21: Selbstüberprüfung der Reihung der vier Metalle von unedelstem Metall nach edelstem Metall – die grüne Farbe zeigt an, dass die Reihung korrekt ist (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022)

Forschendes Lernen auf Level 2 gibt eine Fragestellung vor. Die Planung der Untersuchungsmethode, Beobachtung, Auswertung und Interpretation der Daten erfolgt durch die Lernenden, so lässt sich Aufgabe 3 der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ Forschendem Lernen auf Level 2 zuordnen. Da die Nutzung der Tipps zur Durchführung beziehungsweise Planung des Versuches freiwillig sind, kann man nicht von einer Vorgabe der Untersuchungsmethode sprechen, die Zuordnung zu Level 2 ist hier, im Gegensatz zu Aufgabe 1 und Aufgabe 2 eindeutiger.

#### Lehrziele zu Aufgabe 3:

- Die Lernenden können in einem Unterrichtsetting im Kontext Forschenden Lernens auf Level 2 zu einer vorgegebenen Fragestellung zum Thema Elektrochemie (Spannungsreihe der Metalle – Ordnung von edel nach unedel) selbstständig Untersuchungen planen.
- Die Lernenden können die Beobachtungen, die sie während des selbstgeplanten Versuchs auf Level 2 zur Zementation von vier Metallen (Silber/Silbernitrat, Kupfer/Kupfersulfat Pentahydrat, Eisen/Eisensulfat Heptahydrat, Zink/Zinksulfat Heptahydrat) anstellen, verschriftlichen und übersichtlich in einer vorgegebenen Protokollvorlage darstellen.
- Die Lernenden können anhand des selbstgeplanten Versuchs auf Level 2 und mit den auf der Webseite [Inquirysteps.com](http://Inquirysteps.com) zur Verfügung gestellten Tippkarten die Metalle Silber, Kupfer, Eisen und Zink vom edelsten zum unedelsten Metall ordnen.
- Die Lernenden können zu ihren Beobachtungen zur Spannungsreihe der Metalle ein für sie schlüssiges chemisches Erklärungsmodell aufstellen und dieses in ihrer Protokollvorlage verschriftlichen.

#### Angestrebte Kompetenzen zu Aufgabe 3:

- W1: Ich kann einzeln oder im Team Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen.
- W3: Ich kann einzeln oder im Team Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik in verschiedenen Formen (Grafik, Tabelle, Bild, Diagramm ...) darstellen, erklären und adressatengerecht kommunizieren.
- E1: Ich kann einzeln oder im Team zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben.
- E2: Ich kann einzeln oder im Team zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen.
- E3: Ich kann einzeln oder im Team zu Fragestellungen eine passende Untersuchung oder ein Experiment planen, durchführen und protokollieren.
- E4: Ich kann einzeln oder im Team Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren. (Institut des Bundes für Qualitätssicherung im österreichischen Schulwesen, 2011)

#### 6.4. Aufgabe 4: Kannst du nun Vorhersagen machen?

Aufgabe 4, mit dem Titel „Kannst du nun Vorhersagen machen?“, zielt darauf ab, die fachlichen Erkenntnisse, welche die Lernenden in den vorherigen Aufgaben erworben haben, auf neue Aufgabenstellungen anzuwenden beziehungsweise zu transferieren. Diese Aufgabe entspricht dem Schritt „Apply“ des Organisationsmodells Inquiry Cycle (White & Frederiksen, 1998).

Aufgabe 4 verknüpft die Erkenntnisse aus Aufgabe 3 (Reihung von Zink, Eisen, Kupfer und Silber von unedel nach edel) mit der elektrochemischen Spannungsreihe. Unter der Abbildung eines Ausschnitts der Spannungsreihe ist schriftlich erklärt, wie die Reaktionsfreudigkeit edler beziehungsweise unedler Metalle mit der elektrochemischen Spannungsreihe zusammenhängen. Die Erklärung lautet:

***„Sie dir an, welche Kombinationen von Metallatomen und Metallionen zu Reaktionen geführt haben. Wie stehen diese Ionen und Atome zueinander? Welches Metall steht weiter oben, welches Metall steht weiter unten? Kannst du hier eine Regelmäßigkeit erkennen?“***

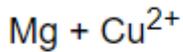
***Welche Reaktionen haben nicht funktioniert? Wie stehen diese Metallatome und Metallionen zueinander? Welches Metall steht weiter oben, welches weiter unten in der Spannungsreihe?“***

***Wenn du etwas erkannt hast, kannst du nun hier versuchen Vorhersagen zu machen.“***  
(INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022)

Nun stellt sich die Frage, warum bei Aufgabe 4 keine optional nutzbaren Tippkarten angeboten werden, sondern das Scaffold für jeden sichtbar ist. Da es sich thematisch um eine Einführung in die Elektrochemie handelt und diese Lernschachtel von Lernenden der Sekundarstufe I (Altersstufe 13-15 Jahren) bearbeitet wird, sollte eine zu hohe kognitive Belastung durch weitere Komplexität, wie die *selbstständige* Erarbeitung der Spannungsreihe der Metalle, vermieden werden. Um Vorhersagen zur Freiwilligkeit einer Reaktion treffen zu können ist die Verknüpfung der Erkenntnisse aus Aufgabe 1 bis 3 mit der Spannungsreihe aber unabdingbar.

Die Lernenden setzen sich mit der oben beschriebenen Erklärung auseinander und können durch eine Single Choice Aufgabe überprüfen, ob sie den Sachverhalt der Spannungsreihe und der Freiwilligkeit einer Reaktion verstanden haben, indem sie bei zwei Reaktionen entweder auf „WAHR“ klicken, wenn die gezeigte Reaktion freiwillig abläuft, oder auf „FALSCH“, wenn die gezeigte Reaktion nicht ablaufen kann:

### Magnesiumdraht in Kupfersalzlösung



Es findet eine Reaktion statt.

Wahr   Falsch

**Passt. Gehe zur nächsten Frage.**

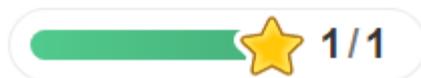
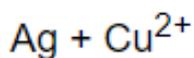


Abbildung 22: Selbstüberprüfung – Freiwilligkeit der Reaktionen von Metallen aus der Spannungsreihe (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022)

### Silberdraht in Kupfersalzlösung



Es findet eine Reaktion statt.

Wahr  Falsch 

**Passt. Gehe zur nächsten Frage.**



Abbildung 23: Selbstüberprüfung – Freiwilligkeit der Reaktionen von Metallen aus der Spannungsreihe (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022)

Sollten die Lernenden den Sachverhalt von freiwillig ablaufenden Redoxreaktionen noch nicht gänzlich verstanden haben, wird eine weitere Tippkarte angeboten, die nun eine genaue Handlungsanweisung gibt, wie erkannt werden kann ob eine Redoxreaktion freiwillig ablaufen kann oder nicht:

Du musst in der Spannungsreihe nachsehen, welches der beiden Metalle das edlere ist.  
Dann schaust du, ob das edle Metall als Ion (geladen) oder als Atom (ungeladen) vorliegt.  
Wenn es als Ion (geladen) vorliegt, dann gilt Fall 1. Wenn es als Atom (ungeladen) vorliegt, dann gilt Fall 2.

Fall 1: Ein unedles Metall-Atom (ungeladen) reagiert mit einem Metall-Ion (geladen) eines edleren Metalls.  
Beispiel: Zn-Metall (enthält Zn-Atome) und Cu-Salz-Lösung (enthält geladene Cu-Ionen) - es findet eine Reaktion statt.

Fall 2: Ein edles Metall-Atom (ungeladen) reagiert NICHT mit einem Metall-Ion (geladen) eines unedleren Metalls.  
Beispiel: Cu-Metall (enthält Cu-Atome) und Zn-Salz-Lösung (enthält geladene Zn-Ionen) - es findet KEINE Reaktion statt.

 Umdrehen

Karte 1 von 1

Abbildung 24: Tippkarte – Hilfestellung zur Identifikation von freiwillig ablaufenden Redoxreaktionen (<https://inquirysteps.com/aufgabe-4-vorhersagen-machen/> Zugriff: 26.05.2022)

Diese Tippkarte bietet eine kochrezeptartige Handlungsanweisung zur Identifikation von freiwillig ablaufenden Redoxreaktionen. Die Beschreibung bleibt dabei größtenteils auf der Teilchenebene. Die Lernenden erfahren, wie sie Reaktionsgleichung und die elektrochemische Spannungsreihe nach einem festgelegten Muster interpretieren können, um Vorhersagen zur Freiwilligkeit der Redoxreaktionen zu machen. Dies stellt eine wichtige Differenzierungsmaßnahme dar, da somit sichergestellt wird, dass auch Lernende im konkret-operationalem Stadium des Denkens nach Piaget, indem abstrakte Denkoperationen noch schwer fallen, diese Aufgabe bewältigen können (Begemann, 1998).

Abschließend können die Lernende durch Klicken und Ziehen mit der Maus oder mit dem Finger mehrere Reaktionsgleichungen in zwei Kategorien ordnen: „Es findet eine Reaktion statt“ oder „Es findet keine Reaktion statt.“. Durch Klicken auf das Häkchen-Symbol kann die Richtigkeit der Zuordnung überprüft werden.

Abbildung 25: Selbstüberprüfung: Zuordnung der gezeigten Reaktionen nach „Hier findet eine Reaktion statt“ oder „Hier findet KEINE Reaktion statt“ (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022)

#### Lehrziele zu Aufgabe 4:

- Die Lernenden können anhand ihrer Beobachtungen des selbstgeplanten Versuches auf Level 2 einen Zusammenhang zwischen der auf der Webseite Inquirysteps.com zur Verfügung gestellten Spannungsreihe der Metalle und der Reihenfolge von edlerem zu unedlerem Metall (Silber, Kupfer, Eisen und Zink) herstellen.
- Die Lernenden können den Zusammenhang zwischen Freiwilligkeit, mit der eine Redoxreaktion abläuft, und der elektrochemischen Spannungsreihe mündlich kommunizieren.
- Die Lernenden können das neu erworbene Wissen transferieren und mithilfe der Spannungsreihe der Metalle Vorhersagen treffen, ob vorgegebene, für die Lernenden unbekannte Redoxreaktionen freiwillig ablaufen können oder nicht.
- Die Lernenden können diese Vorhersage mit einem für sie schlüssigem, chemischen Erklärungsmodell begründen und verschriftlichen.

#### Angestrebte Kompetenzen zu Aufgabe 4:

- W1: Ich kann einzeln oder im Team Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen.
- W2: Ich kann einzeln oder im Team aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen.
- E2: Ich kann einzeln oder im Team zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen.
- E4: Ich kann einzeln oder im Team Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren.  
(Institut des Bundes für Qualitätssicherung im österreichischen Schulwesen, 2011)

## 7. Beschreibung der Lerngruppe

In diesem Kapitel sollen die Lerngruppen, die an der Untersuchung beteiligt waren, vorgestellt und beschrieben werden. Ebenso wird der Unterrichtsablauf vorgestellt.

### 7.1. Die Lerngruppen

Die Untersuchung und Evaluierung der Lernschachtel wurden am 18.02.2022, am 22.02.2022, am 25.02.2022 sowie am 08.03.2022 durchgeführt. Die Unterrichtseinheit fanden in einem Bundesgymnasium in Niederösterreich statt.

Bei den teilnehmenden Lerngruppen, welche bei der Untersuchung für diese Masterarbeit involviert waren, handelte es sich um Lernende aus zwei Klassen einer 7. Schulstufe, welche nach dem WIKU-Lehrplan unterrichtet werden (siehe Kapitel 4.). Beide Klassen sind sogenannte „Schwerpunktklassen“ mit Schwerpunkt auf Biologie und Chemie. In diesem Schwerpunktzweig haben die Lernenden in der 7. Schulstufe zwei Wochenstunden Chemie sowie zwei Wochenstunden „Biochemisches Praktikum“. Das biochemische Praktikum findet einmal pro Woche in einer Doppelstunde statt. Beim biochemischen Praktikum handelt es sich um praktischen Laborunterricht sowohl in Biologie als auch in Chemie. Die Organisation dieses biochemischen Praktikums sieht vor, dass eine Klasse in zwei Gruppen geteilt wird. Eine Gruppe befindet sich dann im Biologielabor, die andere Gruppe befindet sich im Chemielabor. In der darauffolgenden Woche werden die Gruppen getauscht, sodass jede Gruppe zu gleichen Teilen biologischen als auch chemischen Laborunterricht hat.

Die Untersuchung und Evaluierung der Lernschachtel wurden somit an vier Terminen mit zwei Klassen, demnach vier Gruppen, durchgeführt, wobei die Auswertung der erhaltenen Daten gesammelt erfolgt.

#### 7.1.1. 7.Schulstufe: Klasse A

Anzahl der Lernenden: 25; 11 weiblich, 14 männlich

#### Erwartetes Vorwissen zu Redoxreaktionen und Elektrochemie:

In Klasse A wurde im Regelunterricht Chemie die fachlichen Grundlagen der Redoxreaktionen behandelt. Redoxreaktionen wurden definiert als Elektronenübertragungsreaktionen, bei der Elektronenabgabe und -aufnahme aneinandergeschlossen ist. Oxidationen wurden als Reaktionen, bei denen Elektronen abgegeben werden, definiert, während Reduktionen als Reaktionen, bei denen Elektronen aufgenommen werden, definiert wurden. Die Lernenden übten, bei Redoxpaaren (zum Beispiel  $\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}/\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cl}^-/\text{Cl}$ ) zwischen der oxidierten und der reduzierten Form zu unterscheiden. Eine vereinfachte Redoxgleichung wurde gemeinsam an der Tafel aufgestellt. Weiters wurde, allerdings nicht vertiefend erwähnt, dass man Metalle in edel und unedel unterteilen kann, je nach ihrer Tendenz bei bestimmten Reaktionspartnern Elektronen aufzunehmen oder abzugeben.

Termin am 22.02.2022:

- 11 Personen anwesend, 2 fehlend
- Gruppengröße: 4 Gruppen zu je 2 Personen, 1 Gruppe zu je 3 Personen
- Abgegebene Protokollbögen zur Auswertung: 5

Termin am 08.03.2022:

- 10 Personen anwesend, 2 fehlend
- Gruppengröße: 5 Gruppen zu je 2 Personen
- Abgegebene Protokollbögen zur Auswertung: 5

7.1.2. 7. Schulstufe: Klasse B

Anzahl der Lernenden: 28; 18 weiblich, 10 männlich

Erwartetes Vorwissen zu Redoxreaktionen und Elektrochemie:

Siehe 7. Schulstufe Klasse A

Termin am 18.02.2022:

- 12 Personen anwesend, 2 fehlend
- Gruppengröße: 6 Gruppen zu je 2 Personen
- Abgegebene Protokollbögen zur Auswertung: 6

Termin am 25.02.2022:

- 11 Personen anwesend, 3 fehlend
- Gruppengröße: 5 Gruppen zu je 2 Personen, 1 Gruppe zu je 3 Personen
- Abgegebene Protokollbögen zur Auswertung: 5 (eine Gruppe weigerte sich zur Abgabe)

Der Ablauf der Unterrichtseinheit ist dem Planungsraster im Anhang zu entnehmen.

## 8. Beschreibung der Erhebungsmethoden

Wie zu Beginn bereits ausgeführt sollen folgende Fragestellungen bearbeitet werden:

- Wie gehen die Lernenden einer 7. Schulstufe mit der digitalen Lernumgebung von Inquirysteps.com um? Inwieweit hilft das durch die Plattform bereitgestellte Scaffolding beim selbstständigen Arbeiten? In welchen Punkten kann Inquirysteps.com verbessert werden?
- Inwieweit ist es für die Altersgruppe (7. Schulstufe) möglich, bei Redoxreaktionen auch die submikroskopische Ebene für Erklärungen heranzuziehen? Inwieweit bleiben sie mit ihren Erklärungen auf der makroskopischen Ebene?
- Welche Lernendenvorstellungen zeigen die Lernenden vor dem Unterricht zu Redoxreaktionen? In welcher Weise verändern sich die Lernendenvorstellungen durch die Einheit des Forschenden Lernens zum Thema der Elektrochemie?

### 8.1. Beschreibung des Vorgehens

Zur Bearbeitung der drei oben genannten Fragestellungen wurden Fragebögen und Protokollbögen verwendet, die von den Lernenden ausgefüllt und anschließend einer qualitativen Inhaltsanalyse unterzogen wurden. Neben offenen Fragen und Aufgaben gab es einige Multiple-Choice oder Single-Choice Fragen. Diese wurden statistisch ausgewertet. Bei der Darstellung der Daten wird sowohl in ganzen Zahlen als auch prozentuell angegeben, wie viele Lernenden welche Antwort ausgewählt haben. Weiters wurde während der Durchführung der Unterrichtseinheiten zum Forschenden Lernen mit der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ eine Mitschrift (Tagebuch) der Lehrperson angefertigt, um die gewonnenen Daten in Kontext setzen zu können. Die Mitschrift wurde parallel zur Unterrichtseinheit in einem DIN A5 Heft geführt. Die Tagebucheinträge beschreiben einerseits die Scaffolds, die durch die Lehrperson gegeben wurden, andererseits werden auch beobachtete Vorgänge wie Peer-Interaktion, Zeitmanagement oder allgemeine Performanz eingetragen.

#### 8.1.1. Fragebogen: Lernendenvorstellungen zum Thema Elektrochemie in der 7. Schulstufe

Zur Beantwortung der Fragestellung „**Welche Lernendenvorstellungen zeigen die Lernenden vor dem Unterricht zu Redoxreaktionen?**“ wurde den Lernenden das Phänomen der Zementation von metallischem Kupfer aus einer Kupfersulfatlösung an einem Eisendraht gezeigt. Dazu wurde ein Fragebogen ausgeteilt, bei denen sie, ohne dass Redoxreaktionen zuvor im Unterricht behandelt wurden, eine eigene Erklärung finden sollten, welche chemischen Vorgänge diesem Phänomen zugrunde liegen könnten. Diese offene Vorgehensweise ermöglicht einen unvoreingenommenen Blick auf die in dieser Lernendengruppe vorhandenen Lernendenvorstellungen. Der hier eingesetzte Versuch wurde gewählt, da es aus der Literatur (Barke, 2006; Mahron, 1999) dazu bereits Untersuchungen zu Lernendenvorstellungen gibt, mit

denen die Präkonzepte der untersuchten Lernendengruppe verglichen werden können. Die Antworten der Lernenden wurden anschließend kategorisiert und analysiert. Der Fragebogen befindet sich im Anhang.

### 8.1.2. Protokollvorlage zur Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“

Die Protokollvorlage zur Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ wurde, nach der Vorlage der Lernplattform, gestaltet und in Papierformat ausgehändigt. Sie beinhaltet die gleichen Aufgaben und Inhalte, bis auf die Tippkarten, wie das elektronische Format aus Inquirysteps.com. Grund für die Entscheidung, das Protokoll der Lernenden nochmals analog zu haben, liegt darin, dass auf die Einträge der Lernenden in das elektronische Protokoll auf der Seite Inquirysteps.com kein Zugriff möglich gewesen wäre, um die Inhalte auszuwerten, da sich das Scaffolding für diese Lernschachtel noch in Bearbeitung befindet. Anhand der Einträge im Protokoll soll folgende Fragestellung beantwortet werden: **„Inwieweit ist es für die Altersgruppe (7. Schulstufe) möglich, bei Redoxreaktionen auch die submikroskopische Ebene für Erklärungen heranzuziehen? Inwieweit bleiben sie mit ihren Erklärungen auf der makroskopischen Ebene?“**. Zu diesem Zweck wurden alle Einträge der Lernenden kategorisiert und analysiert. Bei Teilaufgaben mit Multiple Choice Fragen oder Single Choice Fragen wurde für jede Antwortmöglichkeit der Anteil der Lernenden ausgewertet.

Weiters wurde mit dem Protokoll der Lernenden versucht ansatzweise zu klären, **wie beständig die Lernendenvorstellung der Lernenden zum Thema Elektrochemie sind und ob sich diese Lernendenvorstellungen durch die Einheit verändert haben**. Die genauere Evaluierung der Beständigkeit der Lernendenvorstellungen wurde auf Basis einer Abschlussbefragung durchgeführt (siehe Kapitel 8.2.3.).

Die analoge Protokollvorlage zur Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“, welche die Lernenden ausgehändigt bekommen haben, befindet sich im Anhang.

### 8.1.3. Abschlussbefragung

Die Fragen **„Wie gehen Lernende einer 7. Schulstufe mit der digitalen Lernumgebung von Inquirysteps.com um? Inwieweit hilft das durch die Plattform bereitgestellte Scaffolding beim selbstständigen Arbeiten? In welchen Punkten kann Inquirysteps.com verbessert werden?“** wurden durch die Analyse eines abschließenden Fragebogens versucht zu klären. Der Fragebogen wurde von der Verfasserin selbst erstellt. Der Fragebogen wurde vor der Befragung der Betreuerin vorgestellt, diskutiert und adaptiert. Zwei Gruppen wurde der Fragebogen direkt im Anschluss an die Unterrichtseinheit ausgeteilt, die zwei anderen Gruppen füllten den Fragebogen in der darauffolgenden Chemiestunde aus. Großteils wurde der Fragebogen mit Single Choice Fragen konzipiert, welche statistisch ausgewertet wurden. Offene Fragen wurden nach der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse kategorisiert und analysiert.

Der Fragebogen besteht aus zwei Teilen: Der erste Teil dient der Evaluierung der Lernschachtel. Inhalt der Befragung ist die Verständlichkeit der Anleitungen, technische oder inhaltliche Fehler der Seite [Inquirysteps.com](http://Inquirysteps.com), Qualität der Tippkarten, Scaffolding zur selbstständigen Hypothesenbildung und selbstständigen Versuchsplanung, sowie subjektiv empfundener Lernfortschritt. Der zweite Teil bezieht sich auf den fachlichen Inhalt der Unterrichtseinheit und dient der Beantwortung der zwei Forschungsfragen:

- **Inwieweit ist es für die Altersgruppe (7. Schulstufe) möglich, bei Redoxreaktionen auch die submikroskopische Ebene für Erklärungen heranzuziehen? Inwieweit bleiben sie mit ihren Erklärungen auf der makroskopischen Ebene?**
- **In welcher Weise verändern sich die Lernendenvorstellungen durch die Einheit des Forschenden Lernens zum Thema der Elektrochemie?**

Der zweite Teil besteht aus drei Fragen: die ersten beiden Fragen beziehen sich auf das im Unterricht beobachtete Phänomen des Eisendrahts in Kupfersulfatlösung. Die erste Frage bezieht sich auf die makroskopische, phänomenologische Erklärung des Phänomens. Die zweite Frage bedient sich der Multiple-Choice Fragen aus Aufgabe 2 der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ auf [Inquirysteps.com](http://Inquirysteps.com) und bezieht sich auf die submikroskopische Ebene des Phänomens. Diese Fragen wurden gewählt, um eine Korrelation zwischen der richtigen Beantwortung auf makroskopischer Ebene und der richtigen Beantwortung auf submikroskopischer Ebene zu erkennen oder nicht. Wird auf submikroskopischer Ebene ebenso häufig die richtige Erklärung angegeben wie auf makroskopischer Ebene, so könnte man Rückschlüsse auf die Abstraktionsfähigkeit der Lernenden ziehen. Die dritte Frage bedient sich der Angaben aus Aufgabe 4 „Kannst du Vorhersagen machen?“ aus [Inquirysteps.com](http://Inquirysteps.com). Die Lernenden bekamen zur Beantwortung dieser Frage die ausgedruckte Spannungsreihe, so wie sie auch auf der Website abgebildet war. Auch hier zielte die Frage auf das Sichtbarmachen des Verstehens der Lernenden von Redoxreaktionen ab und auch, ob die Erklärungen der Lernenden auf makroskopischer oder submikroskopischer Ebene formuliert werden. Der Fragebogen zur Evaluierung der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ befindet sich im Anhang.

## 9. Darstellung und Analyse der Daten

Für die Auswertung der offenen Fragen wurde als Methode die qualitative Inhaltsanalyse mit induktiver Kategorienbildung nach Mayring gewählt (Mayring, 2015). Ein Überblick über die entwickelten Kategorien wird im Ergebniskapitel gegeben. Zur Orientierung werden die Häufigkeiten der Nennungen mittels deskriptiver Statistik übersichtlich dargestellt. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring gegeben. Anschließend werden die durch diese Methode gewonnenen Daten der Untersuchung dargestellt.

### 9.1. Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring

Unter einer Inhaltsanalyse versteht man die Analyse von verschriftlichten Gedanken, Denkprozessen oder Gesprächen sowie die Analyse des „latenten“, zugrunde-liegenden Sinngehalts. Qualitative Untersuchungen unterscheiden sich von quantitativen Untersuchungen folgendermaßen:

- **Qualitative Untersuchungen** bedienen sich meist einer Nominalskala (Größe, Gewicht, etc.). Dabei soll ein Bereich, ein Tatbestand oder Prozess in unterschiedliche Klassen unterteilt werden. Das Wissenschaftsverständnis qualitativer Untersuchungen bezieht sich auf „Verstehen“: Gegenstände, Zusammenhänge und/oder Prozesse sollen analysiert und verstanden werden.
- **Quantitative Untersuchungen** bedienen sich meist einer Ordinalskala (Werte oder Aussagen haben eine Rangordnung), Intervallskala (Rangordnung mit definierten Abständen, z.B. Temperatur) oder einer Ratioskala (Rangordnung mit definierten Abständen mit einem definierten Nullpunkt, z.B. Zeit, Alter). Das Wissenschaftsverständnis quantitativer Untersuchungen bezieht sich auf „Erklären“: es wird versucht allgemeine Prinzipien oder Gesetzmäßigkeiten zu finden

In der Praxis lässt sich bei einer empirische Inhaltsanalyse oft nicht klar unterscheiden zwischen qualitativer und quantitativer Methodik. Mayring spricht daher oft von „qualitativ orientierter Inhaltsanalyse“ (Mayring, 2015).

Qualitative Inhaltsanalysen werden verwendet zur Hypothesenfindung und Theoriebildung, sowie zur Überprüfung von Theorien und Hypothesen. Weiters ist die qualitative Inhaltsanalyse besonders geeignet für Pilotstudien, Einzelfallstudien oder Prozessanalysen. Die qualitative Analyse ist für offene Fragestellungen anwendbar (Mayring, 2015).

Es gibt nach Mayring drei unterschiedliche Vorgehensweisen bei qualitativen Inhaltsanalysen:

- **Strukturierung:** das Textmaterial wird durch vorhandene Kategorien strukturiert und „geordnet“ (deduktive Kategorienbildung aus der Theorie heraus)
- **Explikation:** das Textmaterial soll verständlich umformuliert und interpretiert oder erläutert werden (induktive Kategorienbildung aus dem Textmaterial heraus).
- **Zusammenfassung:** das Textmaterial soll reduziert werden, um wesentliche Inhalte herauszuarbeiten (induktive Kategorienbildung aus dem Textmaterial heraus).  
(Mayring, 2015)

In dieser Masterarbeit wurde für die Analyse der Daten die Methode der Zusammenfassung durch induktive Kategorienbildung gewählt. Da es sich um die Analyse und Evaluierung einer im Unterricht noch unerprobten Website handelt, sollten die schriftlichen Antworten der Lernenden auf ihre wesentlichen Inhalte reduziert, wiedergegeben und untersucht werden. Die Entscheidung fiel auf die Methode der induktive Kategorienbildung, da ein offener, unvoreingenommener Blick auf die Lernprozesse und die Effektivität des Scaffolding von Inquirysteps.com geworfen werden sollte.

#### 9.1.1. Zusammenfassung durch induktive Kategorienbildung nach Mayring

Kategorienbildung ist in der qualitativen Inhaltsanalyse ein zentraler Aspekt. Man unterscheidet die Analyse durch deduktive Kategorienanwendung (aus der Literatur bekannte Kategorien werden am Datenmaterial angewendet) oder die Analyse durch induktive Kategorienbildung. Bei der induktiven Kategorienbildung werden Kategorien erst durch Analyse des Datenmaterials gebildet. Die induktive Kategorienbildung hat laut Mayring das Ziel die Komplexität der Daten unter Beibehaltung der Grundform beziehungsweise der Grundaussage zu reduzieren. Auswertungsgrundlage bildet ein durch die Analyse entstandener Kategorienkatalog (Mayring, 2015).

Da bei der empirischen Untersuchung im Rahmen dieser Masterarbeit noch nicht erprobtes Unterrichtsmaterial von Lernenden getestet und evaluiert wird, braucht es eine offene Erkundung des Gegenstandsbereichs. Die Stichprobenanzahl ist relativ gering (zwei Schulklassen). Ebenso wird versucht, den Prozess des Verstehens beziehungsweise den Prozess des Lernens im Bereich der Elektrochemie, sowie die Beständigkeit von Lernendenvorstellungen zur Elektrochemie zu untersuchen und abzubilden. Die zusammenfassende qualitative Inhaltsanalyse mit induktiver Kategorienbildung ist daher die passendste Methode zur Bearbeitung der oben genannten Fragestellungen.

### 9.1.2. Schritte der zusammenfassenden qualitativen Inhaltsanalyse

Gütekriterium der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring ist ein systematisches Vorgehen. Es ist zu erwähnen, dass dieses systematische Vorgehen keineswegs starr vorgegeben ist, sondern dass die einzelnen Schritte der qualitativen Inhaltsanalyse der jeweiligen Fragestellung angepasst werden können und müssen. Der Unterschied zur „freien“ Interpretation von Daten liegt darin, dass vor der Analyse inhaltsanalytische Einheiten (Kodiereinheit, Kontexteinheit, Auswertungseinheit) definiert werden. Bei induktiver Kategorienbildung empfiehlt es sich, diese inhaltsanalytischen Einheiten relativ offen zu gestalten (Mayring, 2015).

#### **Analyseeinheiten qualitativer Inhaltsanalyse:**

- **Kodiereinheit:** legt die kleinste Größe eines Textteils oder Materialbestandteils fest, der unter eine Kategorie fallen darf
- **Kontexteinheit:** legt die größte Größe eines Textteils oder Materialbestandteils fest, der unter eine Kategorie fallen darf
- **Auswertungseinheit:** legt die Textteile fest, welche der Reihe nach ausgewertet werden

Zentraler Punkt der qualitativen Inhaltsanalyse ist das Kategoriensystem. Bei der induktiven Kategorienbildung werden Kategorien aus dem Ausgangsmaterial heraus gebildet, welche die Grundlage der Interpretation des Datenmaterials bilden. Die Bildung der Kategorien ergibt sich aus einem Wechsel zwischen Fragestellung und Ausgangsmaterial. Es ist wichtig, dass das Kategoriensystem während und nach Erstellung rückgeprüft also immer wieder evaluiert wird (Mayring, 2015).

Zur qualitativen Inhaltsanalyse wurde die kostenlose, frei zugängliche Website QCAMap.com verwendet. Im Folgenden sind die Daten der Untersuchung nach Fragestellung sortiert abgebildet.

## 9.2. Fragebogen über bestehende Lernendenvorstellungen zur Elektrochemie

Im Folgenden sind die Daten des Fragebogens dargestellt, mit welchem die Lernendenvorstellungen der Lernenden zum Phänomen des Eisendrahtes in einer Kupfersulfatlösung vor dem Unterricht über Redoxreaktionen festgehalten wurden. Es wurden insgesamt 40 Fragebögen ausgewertet (N=40).

### Analyseeinheiten

<b>Kodiereinheit</b>	Ein Wort
<b>Kontexteinheit</b>	Mehrer Sätze beziehungsweise eine ganze Antwort eines Lernenden oder einer Lernenden pro Frage oder Aufgabenstellung
<b>Auswertungseinheit</b>	Offene Fragen der Lernenden aus dem Fragebogen zur Erhebung der Lernendenvorstellungen vor dem Unterricht zu Redoxreaktionen
<b>Abstraktionsniveau</b>	Kategorie kann auf ein Wort reduziert werden
<b>Programm</b>	QCAMap ( <a href="http://www.qcamap.org">www.qcamap.org</a> )

Überkategorien	Unterkategorie	Ankerbeispiele
Rost	Rost	„Eisen rostet und der Rost wird abgetragen.“ „Nach 2 Stunden bildet sich Rost oder Algen auf dem Draht.“
Lösen/ Verätzen des Eisendrahts	Lösen oder Verätzen des Eisendrahts	„Die Kupfersulfatlösung ätzt etwas vom Eisendraht weg.“
Anziehung oder Absetzen von Stoffen aus der Kupfersulfatlösung	Eisen zieht Kupfer oder andere Stoffe aus der Lösung	„Das Eisen zieht das Kupfer aus der Flüssigkeit.“
	Kristallisation/Absetzen von Kupfer oder Kupfersulfat aus der Lösung	„Ich glaube der Eisendraht reagiert auf die Lösung. Es sieht so aus wie ein Kristall. Es könnte sein, dass es Kupfersulfatlösung heißt, weil sich rundum den Draht Kupfer bildet.“
Farbreaktion	Eisendraht entzieht Kupfersulfatlösung die Farbe	„Ich denke, dass die Flüssigkeit ihre Farbe verliert da bei der Reaktion mit dem Eisen ihm die Farbe entzieht.“
	Eisendraht verfärbt die Lösung	„Die Flüssigkeit wird wegen dem Eisen schmutzig.“

	Kupfersulfat verfärbt Eisendraht	„Die Flüssigkeit wirkt irgendwie auf den Eisendraht und verfärbt ihn.“
	Reaktion als Farbmischung von „gelbem“ Eisendraht und blauer Kupfersulfatlösung	„Vermutung: sie mischen ihre beiden Farben. Das kann man sich so vorstellen: blau & gelb = grün (...).“
Biologische Vorgänge	Algen saugen Farbe der Lösung auf	„Das passiert weil (...) die Algen die Farbe absaugt
	Biologische Reaktion: Algenwuchs	„Nach zwei Stunden bildet sich Rost oder Algen auf dem Draht.“
	Organische Reaktion: Verfaulen	„(...) oder der Eisendraht verfault (...).“
Reaktion mit Luft beziehungsweise Sauerstoff	Luft als Reaktionsprodukt	„Beim Versuch konnte man erkennen, dass kleine Luftbläschen aufgestiegen sind, welche aus einem bestimmten Grund (entstehen).“
	Reaktion mit Sauerstoff, Oxidation als Reaktion mit Sauerstoff	„Das Eisen oxidiert. Das heißt es reagiert mit dem Sauerstoff aus der Lösung.“
Nennung unspezifischer Reaktion	Unspezifische Reaktion zwischen Eisendraht und Kupfersulfatlösung	„Ich vermute, dass der Eisendraht mit der Lösung reagiert.“
Unspezifische Verwendung des Oxidationsbegriffs	Unspezifische Verwendung des Oxidationsbegriffs	„Ich denke, dass er oxidiert.“

**Häufigkeiten der Kategorien bei einer Befragung von 40 Lernenden der beiden Klassen der 7. Schulstufe (pro Aussage sind mehrere Kategorien möglich) (N=40)**

<b>Unterkategorien</b>	<b>Anzahl der Zuordnungen</b>
Rost	26
Lösen oder Verätzen des Eisendrahts	15
Eisen zieht Kupfer oder andere Stoffe aus der Lösung	7
Kristallisation/Absetzen von Kupfer oder Kupfersulfat aus der Lösung	3
Eisendraht entzieht Kupfersulfatlösung die Farbe	5
Eisendraht verfärbt die Lösung	3
Kupfersulfat verfärbt Eisendraht	2
Reaktion als Farbmischung von „gelbem“ Eisendraht und blauer Kupfersulfatlösung	1
Algen saugen Farbe der Lösung auf	2
Biologische Reaktion: Algenwuchs	3
Organische Reaktion: Verfaulen	1
Luft als Reaktionsprodukt	1
Reaktion mit Sauerstoff, Oxidation als Reaktion mit Sauerstoff	2
Unspezifische Reaktion zwischen Eisendraht und Kupfersulfatlösung	4
Unspezifische Verwendung des Oxidationsbegriffs	3
<b>Summe aller kategorisierten Aussagen (Fragebögen N=40)</b>	<b>78</b>

<b>Überkategorien</b>	<b>Anzahl der Zuordnungen der entsprechenden Unterkategorien</b>
Rost	26
Lösen/Verätzen des Eisendrahts	15
Farbreaktion	11
Anziehen oder Absetzen eines Stoffes aus der Kupfersulfatlösung am Eisendraht	10
Biologischer Vorgang	6
Reaktion mit Luft beziehungsweise Sauerstoff	3
Nennung unspezifischer Reaktion	4
Unspezifische Verwendung des Oxidationsbegriffs	3
<b>Summe aller kategorisierten Aussagen (Fragebögen N=40)</b>	<b>78</b>

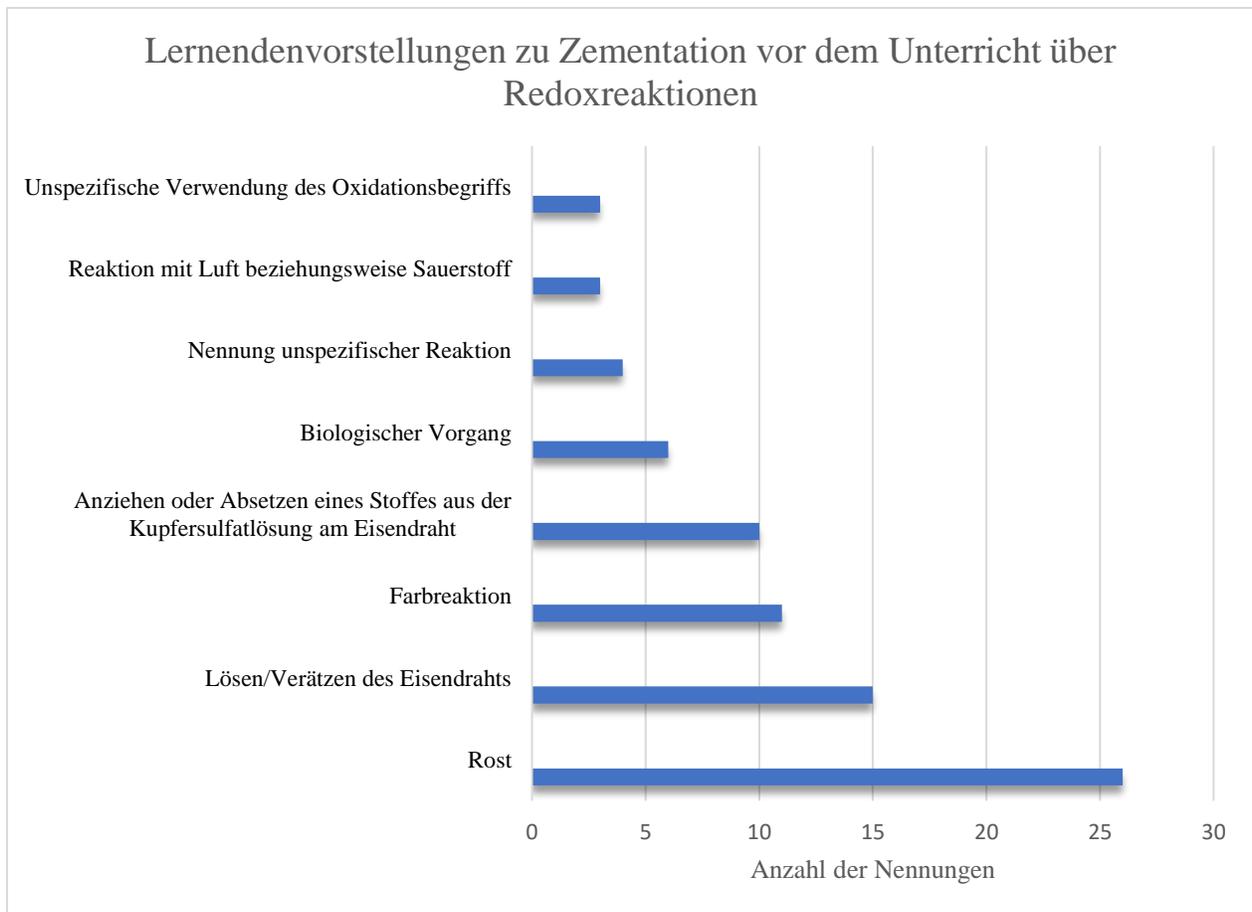


Abbildung 26: Grafische Darstellung der Häufigkeiten der Hauptkategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse der Antworten der Lernenden auf Basis des Fragebogens zur Erhebung der Lernendenvorstellungen (Eisendraht in Kupfersulfatlösung). Eigene Darstellung

### 9.3. Daten der Protokollvorlagen

#### Analyse der Aussagen der Lernenden zu den Aussagen im Concept Cartoon (mit digitalem Scaffolding), N=21

##### Analyseeinheiten

<b>Kodiereinheit</b>	Ein Wort
<b>Größter Textbestandteil, der unter Kodierung fallen darf</b>	Mehrere Sätze beziehungsweise eine ganze Antwort eines Lernenden pro Frage oder Aufgabenstellung
<b>Auswertungseinheit</b>	Antworten der Lernenden in der Protokollvorlage zur Unterrichtseinheit „Elektrochemie – Einführung“ (Aufgabe 2: Lernendenaussagen zu Aussagen des Concept Cartoons)
<b>Abstraktionsniveau</b>	Kategorie kann auf ein Wort reduziert werden
<b>Programm</b>	QCAMap ( <a href="http://www.qcamap.org">www.qcamap.org</a> )

Die Benennung der Kategorien wurde während der Auswertung weiter angepasst, die Bezeichnungen weichen daher leicht von den Rohdaten ab. Aufgrund des Aufbaus der Aufgabe mit dem Concept Cartoon sind die Antworten oder Richtigstellungen der Lernenden oft nur eine Zustimmung oder eine einsilbige Richtigstellung der Aussage.

Überkategorie	Unterkategorie	Ankerbeispiel
Lernendenvorstellung Rost	Rotbrauner Überzug ist Rost	„Richtig“
Lernendenvorstellung Magnetismus oder Anziehung (von Ionen oder Elektronen)	Eisen zieht Elektronen magnetisch an	„Magnetisches Eisen zieht Elektronen aus der Lösung.“
	Eisen zieht Kupfer/Kupferionen magnetisch an	„Ja, kann ich mir gut vorstellen.“
	Eisenionen zieht Kupfer an	„Eisenionen ziehen Kupfer aus der Lösung.“
	Kupfer zieht Elektronen des Eisens an	„Das Kupfer zieht vom Eisen 2 Elektronen.“
Lernendenvorstellung Farbreaktion	Farbreaktion	„Eisendraht färbt sich in Wasser mit Kupfersulfat schwarz.“
Fachlich nicht angemessene Verwendung des Oxidations- oder Reduktionsbegriffs	Eisen reduziert Elektronen	„Eisen reduziert die Elektronen von der Kupfersulfatlösung.“
	Eisenionen geben Elektronen an Kupferatome ab.	„Ja kann sein, weil es zum Stoff passen würde.“
Keine magnetische Anziehung	Keine magnetische Anziehung zwischen Eisen und Kupfer	„Magnetisches Eisen zieht NICHT Kupferionen aus der Lösung.“

Keine Rostentstehung	Keine Entstehung von Rost	„Damit Eisen entstehen kann braucht Eisen feuchte Luft und Zeit.“
Nennung eines Redoxvorgangs ohne Erklärung	Verwendung des Oxidations- und/oder Reduktionsbegriffs ohne weitere Erklärung	„Es oxidiert.“
Fachlich angemessene Erklärung des Redoxvorgangs	Eisen gibt 2 e <sup>-</sup> an Kupfer ab	„Das Eisen oxidiert und gibt 2 e <sup>-</sup> an das Kupfer ab.“
	Eisenatome geben Elektronen ab, Kupferionen nehmen sie auf	„Es werden jeweils 2 Elektronen von den Eisenatomen an die Kupferionen abgegeben.“

Unterkategorien	Anzahl der Zuordnungen
Rotbrauner Überzug ist Rost	2
Eisen zieht Elektronen magnetisch an	1
Eisen zieht Kupfer/Kupferionen magnetisch an	2
Eisenionen zieht Kupfer an	2
Kupfer zieht Elektronen des Eisens an	1
Farbreaktion	2
Eisen reduziert Elektronen	1
Eisenionen geben Elektronen an Kupferatome ab.	3
Keine magnetische Anziehung zwischen Eisen und Kupfer	13
Keine Entstehung von Rost	15
Verwendung des Oxidations- und/oder Reduktionsbegriffs ohne Erklärung	8
Eisen gibt 2 e <sup>-</sup> an Kupfer ab	1
Eisenatome geben Elektronen ab, Kupferionen nehmen sie auf	24
<b>Summe aller kategorisierten Aussagen (Protokollvorlagen N=21)</b>	<b>75</b>

Überkategorien	Anzahl der Zuordnungen der entsprechenden Unterkategorien
Lernendenvorstellung Rost	2
Lernendenvorstellung Magnetismus oder Anziehung (von Ionen oder Elektronen)	6
Lernendenvorstellung Farbreaktion	2
Fachlich unangemessene Verwendung des Oxidations- oder Reduktionsbegriffs	4
Keine magnetische Anziehung	13
Keine Rostenstehung	15
Nennung eines Redoxvorgangs ohne Erklärung	8
Fachlich angemessene Erklärung des Redoxvorgangs	25
<b>Summe aller kategorisierten Aussagen (Protokollvorlagen N=21)</b>	<b>75</b>

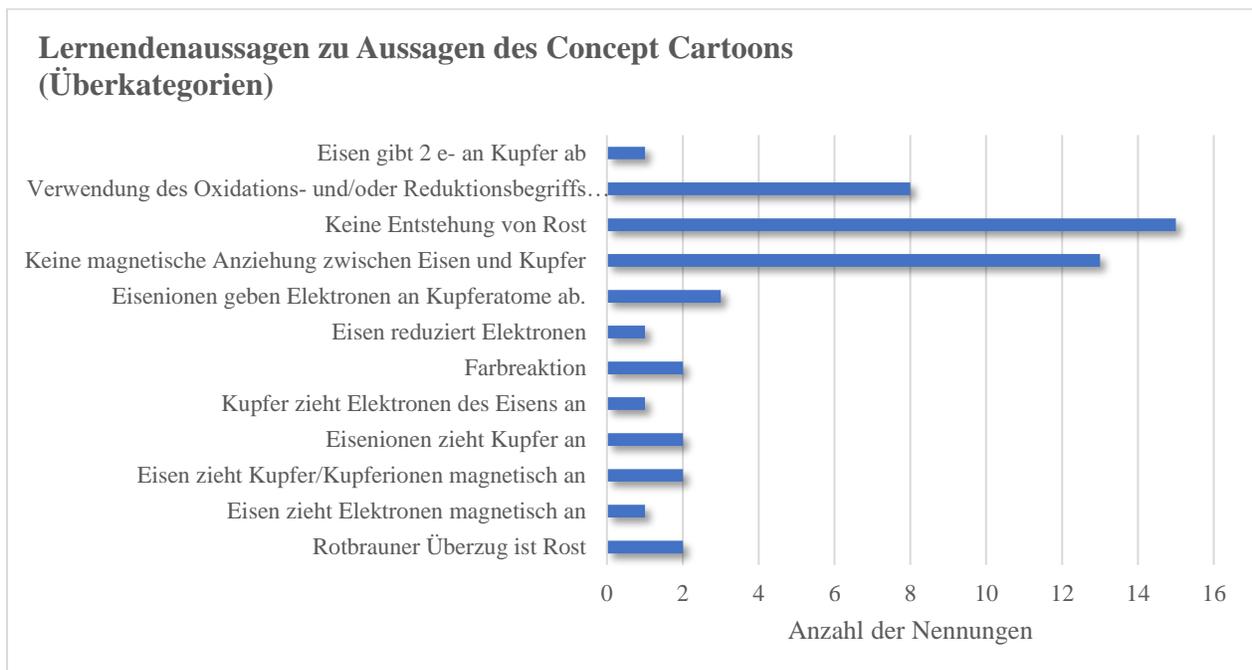


Abbildung 27: Grafische Darstellung der Häufigkeiten der Überkategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse der Lernendenaussagen zu den Aussagen des Concept Cartoons (Aufgabe 2) - Unterkategorien. Eigene Darstellung

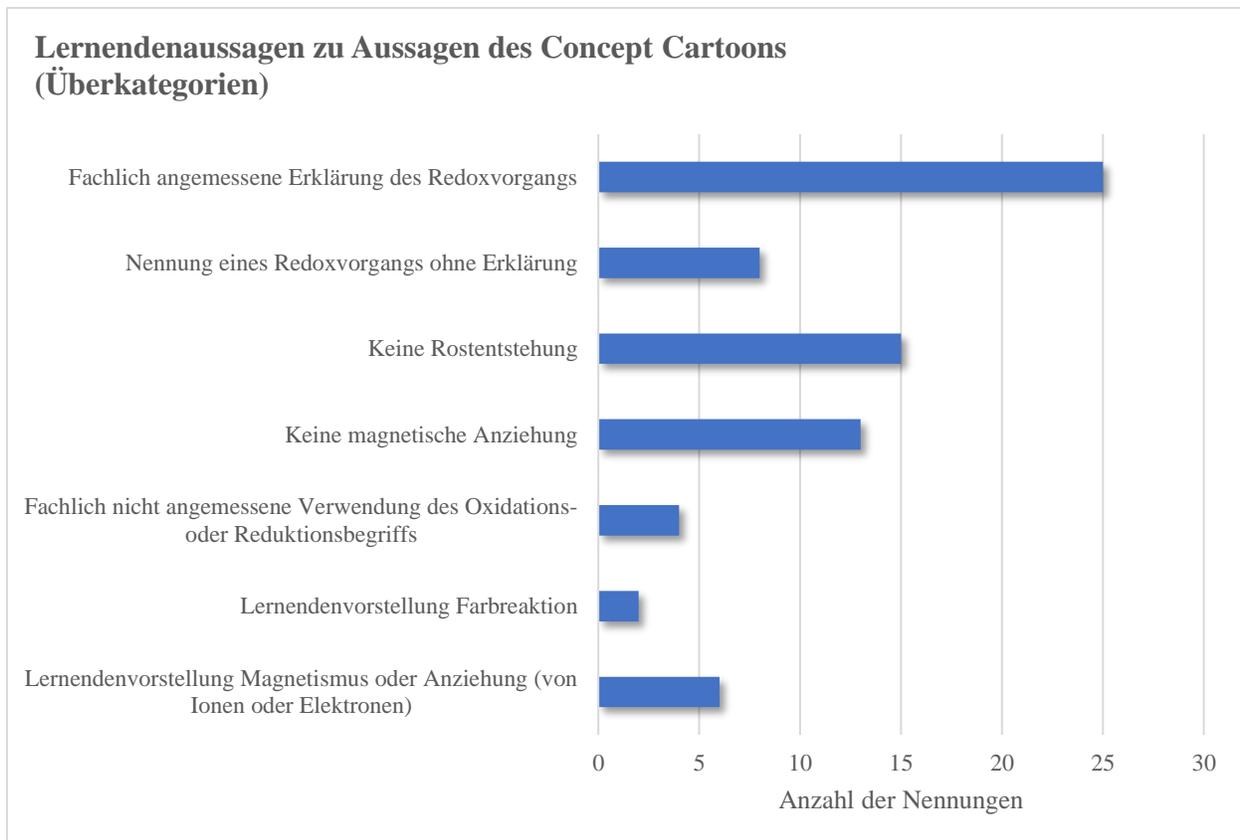


Abbildung 28: Grafische Darstellung der Häufigkeiten der Überkategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse der Lernendenaussagen zu den Aussagen des Concept Cartoons (Aufgabe 2) - Überkategorien. Eigene Darstellung

## Erklärung der chemischen Vorgänge auf submikroskopischer oder makroskopischer Ebene (N=21)

### Analyseeinheiten

<b>Kodiereinheit</b>	Ein Wort
<b>Größter Textbestandteil, der unter Kodierung fallen darf</b>	Mehrere Sätze beziehungsweise eine ganze Antwort eines Lernenden pro Frage oder Aufgabenstellung
<b>Auswertungseinheit</b>	Protokollvorlage zur Unterrichtseinheit „Elektrochemie – Einführung“: - Aufgabe 2 – Lernendenaussagen zu Aussagen des Concept Cartoons - Aufgabe 3 – Erklärung der chemischen Vorgänge des Versuchs auf Level 2 auf Ebene der Teilchen Begründung: Lernende formulieren bei diesen beiden Aufgaben ihre eigenen Gedanken in ihrem eigenen Wortlaut
<b>Abstraktionsniveau</b>	Kategorie kann auf ein Wort reduziert werden
<b>Programm</b>	QCAMap ( <a href="http://www.qcamap.org">www.qcamap.org</a> )

Überkategorie	Unterkategorie	Ankerbeispiel
Makroskopische Ebene	Ausschließliche Verwendung stofflicher Begriffe – Makroskopisch	„Das Salz reagiert mit dem Stab und das Wasser verfärbt sich.“
	Beschreibung des Phänomens ohne Erklärung	„Silber reagiert nie. Kupfer reagiert nur bei Silbernitrat. Zink reagiert immer, nur bei Zinksulfat nicht. Eisen reagiert immer, nur bei Zinksulfat nicht.“
	Verwendung des Oxidations- und/oder Reduktionsbegriffs auf stofflicher Ebene oder ohne Erklärung	„Es wurde oxidiert.“ „Der Eisendraht ist oxidiert.“
	Erklärung auf makroskopischer Ebene anhand einer Lernendenvorstellung (Säuren, falsche Verwendung der Begriffe edel/unedel)	„Edlere Metalle bleiben gleich, unedlere Metalle verändern sich. Edlere Metalle bleiben gleich weil sie eben edler sind und nicht mit den Säuren reagieren (...).“
Nicht einheitliche Verwendung der makro- und submikroskopischen Ebene	Makro- und submikroskopische Ebenen vermischt – fachlich unangemessen (z.B. unangebrachte Begriffsverwendung)	„Eisen reduziert die Elektronen von der Kupfersulfatlösung.“
	Erklärung auf makroskopischer Ebene mit submikroskopischen Elementen	„Solange das edlere Metall in der Lösung ist oxidiert das unedlere. Bsp.: Eisen ist unedler als das Silber in der Lösung.“
	Erklärung auf submikroskopischer Ebene mit makroskopischen Elementen	„Silber ist das Edelste, weil die Ionen reagiert haben. Eisen ist das zweit edelste, weil die Ionen reagiert haben. Kupfer ist das fast unedelste, weil es mit fast nichts reagiert hat. Zink ist das unedelste, weil die Ionen mit nichts reagiert haben.“
Submikroskopische Ebene	Erklärung anhand der Reaktionsgleichungen	„(...) $\text{Cu}^{2+} + \text{Fe} \rightarrow \text{Cu} + \text{Fe}^{2+}$ ; $\text{Cu}^{2+} + \text{Zn} \rightarrow \text{Cu} +$

		Zn <sup>2+</sup> ; Fe <sup>2+</sup> + Zn → Fe + Zn <sup>2+</sup> (...)”
	Verwendung der Teilchenbegriffe (submikroskopisch) – fachlich unangemessen	„Zink: Kupfer-/Silber-/Eisen-Ionen reagieren mit Zinkionen.“
	Verwendung von Teilchenbegriffen (submikroskopisch) – fachlich angemessen	„Es werden jeweils zwei Elektronen von den Eisenatomen an Kupferionen abgegeben.“
Keine Erklärung	Keine Erklärung	„Ich kann es nicht erklären.“
Keine Angabe	Keine Angabe	-

Unterkategorien	Anzahl der Zuordnungen
Ausschließliche Verwendung stofflicher Begriffe – Makroskopisch	1
Beschreibung des Phänomens ohne Erklärung	5
Verwendung des Oxidations- und/oder Reduktionsbegriffs auf stofflicher Ebene oder ohne Erklärung	9
Erklärung auf makroskopischer Ebene anhand einer Lernendenvorstellung (Säuren, falsche Verwendung der Begriffe edel/unedel)	2
Makro- und submikroskopische Ebenen vermischt – fachlich unangemessen (z.B. unangebrachte Begriffsverwendung)	3
Erklärung auf makroskopischer Ebene mit submikroskopischen Elementen	1
Erklärung auf submikroskopischer Ebene mit makroskopischen Elementen	2
Erklärung anhand der Reaktionsgleichungen	3
Verwendung der Teilchenbegriffe (submikroskopisch) – fachlich unangemessen	1
Verwendung von Teilchenbegriffen (submikroskopisch) – fachlich angemessen	8
Keine Erklärung	3
Keine Angabe	4
<b>Summe aller kategorisierten Aussagen (Protokollvorlagen N=21)</b>	<b>42</b>

Überkategorie	Anzahl der Zuordnungen der entsprechenden Unterkategorie
Makroskopische Ebene	17
Nicht einheitliche Verwendung der makro- und submikroskopischen Ebene	6
Submikroskopische Ebene	12
Keine Angabe	4
Keine Erklärung	3
<b>Summe aller kategorisierten Aussagen (Protokollvorlagen N=21)</b>	<b>42</b>

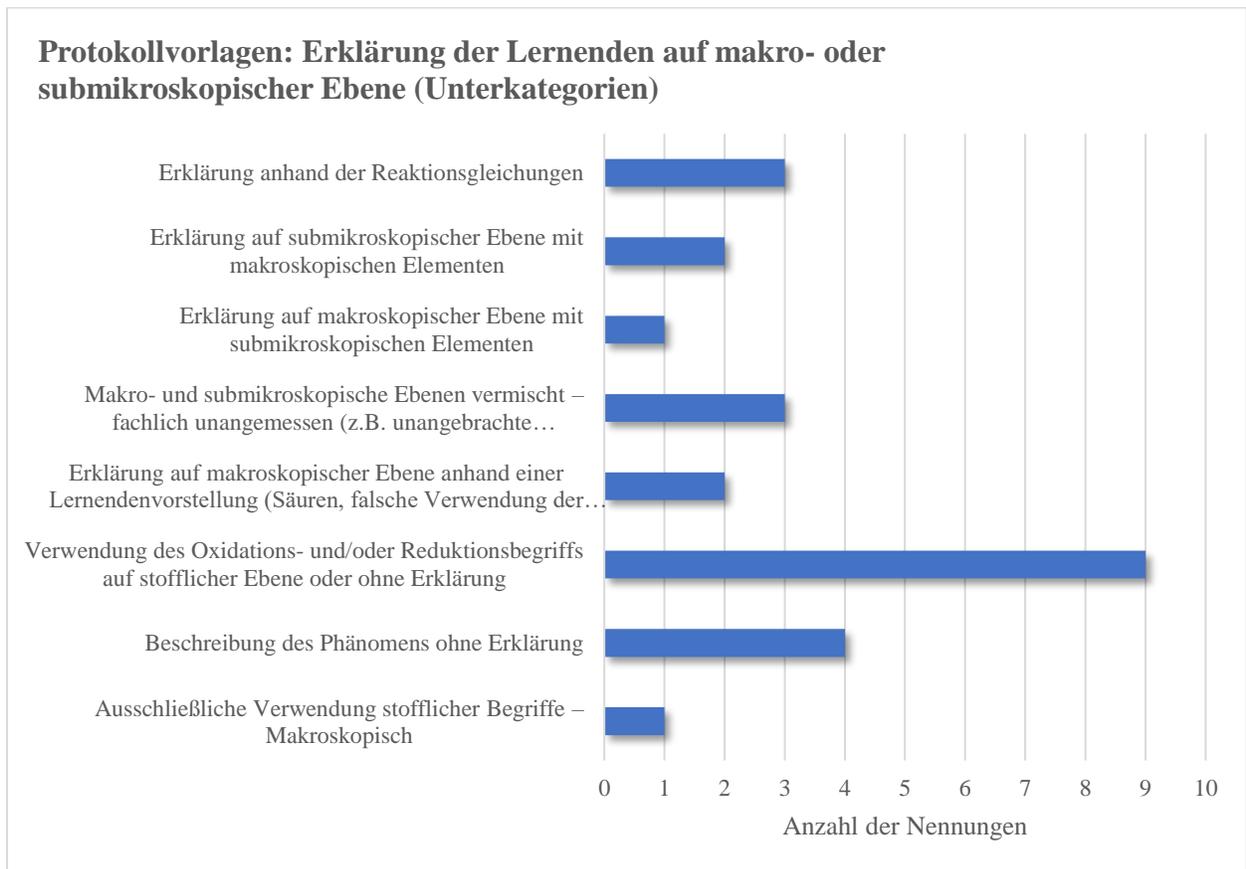


Abbildung 29: Grafische Darstellung der Häufigkeiten der Unterkategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse der Lernenaussagen auf makro- oder submikroskopischer Ebene (Aufgabe 2 und 3). Eigene Darstellung

### Protokollvorlagen: Erklärung der Lernenden auf makro- oder submikroskopischer Ebene (Unterkategorien)

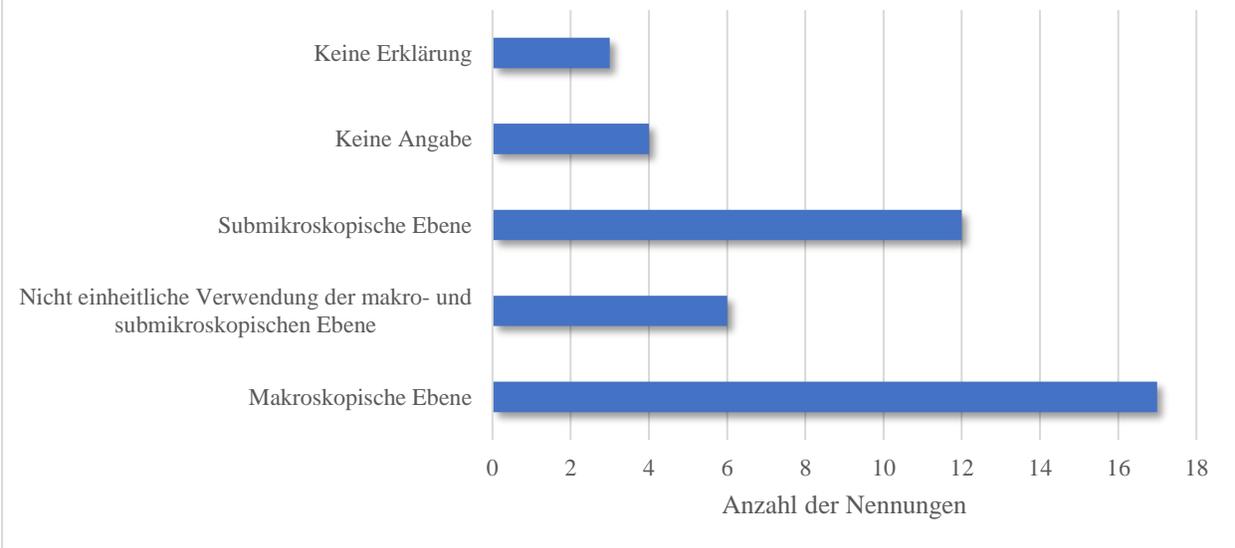


Abbildung 30: Grafische Darstellung der Häufigkeiten der Überkategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse der Lernendenaussagen auf makro- oder submikroskopischer Ebene (Aufgabe 2 und 3). Eigene Darstellung

## 9.4. Daten aus der Abschlussbefragung

Teil 1 der Abschlussbefragung, dessen Fragen dahingegen konzipiert sind, zu klären, wie die Lernenden mit der digitalen Lernumgebung von Inquirysteps.com umgehen beinhaltet sowohl Single-Choice Fragen als auch offene Fragen. Die Single-Choice Fragen werden statistisch ausgewertet. Die offenen Fragen werden mittels qualitativer Inhaltsanalyse analysiert. Die Analyseeinheit dafür wird im folgendem genauer beschrieben. Es wurden 38 Fragebögen ausgewertet (N=38).

### Analyseeinheiten

<b>Kodiereinheit</b>	Ein Wort
<b>Größter Textbestandteil, der unter Kodierung fallen darf</b>	Mehrere Sätze beziehungsweise eine ganze Antwort eines Lernenden pro Frage oder Aufgabenstellung
<b>Auswertungseinheit</b>	Abschlussbefragung – Teil 1 „Rückblick auf die Unterrichtsstunde“; Multiple-Choice Fragen zur Selbsteinschätzung des Lernfortschritts, offene Fragen zur Bewertung von Inquirysteps.com
<b>Abstraktionsniveau</b>	Kategorie kann auf ein Wort reduziert werden
<b>Programm</b>	QCAMap ( <a href="http://www.qcamap.org">www.qcamap.org</a> ) für offene Fragen

<b>Frage 1: Wie ist es dir mit den Anleitungen auf der Seite Inquirysteps.com ergangen?</b>	<b>Anzahl der Antworten</b>
Die Anleitungen zur Versuchsdurchführung und Versuchsplanung waren klar formuliert. Ich habe mich überall ausgekannt.	9
Die Anleitungen waren zwar verständlich, ich musste bei der Lehrerin trotzdem ein oder zweimal nachfragen, wie ein Schritt in der Durchführung funktionierte.	28
Die Anleitungen waren nur wenig verständlich. Ich musste oft nachfragen, was zu tun ist.	3
Die Anleitungen waren überhaupt nicht klar formuliert und verständlich. Ich musste immer nachfragen, was zu tun ist.	0
<b>Summe der Antworten (Fragebögen N=38)</b>	<b>40</b>

Anmerkung: zwei Lernende haben zwei Antworten pro Fragebogen angekreuzt

<b>Frage 2: Wenn Anleitungen unverständlich waren, welche waren es?</b>		
<i>Anmerkung: Nicht jede Person hat bei dieser Frage eine Antwort gegeben, es werden die Antworten ausgewertet, die schriftlich vorhanden waren.</i>		
<b>Überkategorie</b>	<b>Unterkategorie</b>	<b>Ankerbeispiele</b>
Keine Angabe	Keine Angabe	„Vergessen.“
Keine unverständlichen Angaben	Keine Schwierigkeiten	„Es war eigentlich alles verständlich.“
Alle Anleitungen unverständlich	Schwierigkeiten in allen Bereichen	„Alles...“

Aufgabe 1 unverständlich	Schwierigkeit mit Versuch auf Level 1/ Aufgabe 1	„Aufgabe 1.“
Concept Cartoon	Schwierigkeiten bei Concept Cartoon	„Die mit den Aussagen und den Männchen.“
	Concept Cartoon: Überforderung, was zu tun ist	„(...) ich konnte nicht wissen auf den ersten Blick, was ich machen sollte.“
	Concept Cartoon: Schwierigkeit bei eigener Aussage aufstellen	„Was man in die letzte Sprechblase schreiben soll.“
Schwierigkeit beim Verstehen offenerer Aufgabenstellungen	Schwierigkeiten bei Versuch auf Level 2/Aufgabe 3	„Bei Aufgabe 3.“
	Schwierigkeit bei der Transferaufgabe (Vorhersagen treffen)/ Aufgabe 4	„Die letzte Übung.“

Unterkategorie	Anzahl der Nennungen
Keine Angabe	1
Keine Schwierigkeiten	1
Schwierigkeiten in allen Bereichen	2
Schwierigkeit mit Versuch auf Level 1	1
Schwierigkeiten bei Concept Cartoon	8
Concept Cartoon: Überforderung, was zu tun ist	2
Concept Cartoon: Schwierigkeit bei eigener Aussage aufstellen	2
Schwierigkeiten bei Versuch auf Level 2	8
Schwierigkeit bei der Transferaufgabe (Vorhersagen treffen)	5
<b>Summe aller kategorisierten Aussagen (Fragebögen N=38)</b>	<b>30</b>

Überkategorie	Anzahl der Zuordnungen der entsprechenden Unterkategorie
Keine Angabe	1
Keine unverständlichen Anleitungen	1
Anleitungen unverständlich	2
Aufgabe 1 unverständlich	1
Concept Cartoon	12
Schwierigkeit beim Verstehen offenerer Aufgabenstellungen	13
<b>Summe aller kategorisierten Aussagen (Fragebögen N=38)</b>	<b>30</b>

**Frage 3: Sind dir Fehler auf der Seite [inquirysteps.com](http://inquirysteps.com) oder mit dem Zusatzmaterial aufgefallen? Wenn ja, welche?**

*Anmerkung: Nicht jede Person hat bei dieser Frage eine Antwort gegeben, es werden die Antworten ausgewertet, die schriftlich vorhanden waren.*

Überkategorie	Unterkategorie	Ankeraussage
Keine Fehler	Keine Fehler aufgefallen	„Nein.“
Lernschachtel	Kaputte Plastikpipette	„Die Pipette hatte ein Loch.“
	Ausgehändigte Spannungsreihe: bei Zinn steht das Elementsymbol Zn statt Sn	„Beim Zinn statt Zn und nicht Sn.“
	Kein Glasstab zur Verfügung	„Es stand wir müssen einen Glasstab verwenden, doch es gab keinen.“
Inquirysteps.com	Fehler bei Aufgabe 2	„Aufgabe 2“

Unterkategorie	Anzahl der Nennungen
Keine Fehler aufgefallen	2
Kaputte Plastikpipette	2
Ausgehändigte Spannungsreihe: bei Zinn steht das Elementsymbol Zn statt Sn	3
Kein Glasstab zur Verfügung	4
Fehler bei Aufgabe 2	1
<b>Summe aller kategorisierten Aussagen (Fragebogen N=38)</b>	<b>12</b>

Hauptkategorien	Anzahl der Zuordnungen der entsprechenden Unterkategorie
Keine Fehler aufgefallen	2
Lernschachtel	9
Inquirysteps.com	1
<b>Summe aller kategorisierten Aussagen (Fragebogen N=38)</b>	<b>12</b>

Frage 4: Hast du die Tipps (Tippkarten) verwendet, die pro Versuch angeboten wurden?	Anzahl der Antworten
JA	22
NEIN	16
<b>Summe der Antworten (Fragebögen N=38)</b>	<b>38</b>

<b>Frage 5: Wenn du die Tipps/Tippkarten verwendet hast, wie hilfreich waren sie?</b>	<b>Anzahl der Antworten</b>
Sehr hilfreich: Die Tipps haben mir geholfen, den chemischen Sachverhalt, die Versuchsplanung und/oder -interpretation besser zu verstehen.	8
Eher hilfreich: Die Tipps haben mir geholfen, den chemischen Sachverhalt, die Versuchsplanung und/oder -interpretation besser zu verstehen, es mussten aber trotzdem noch ein oder zwei Sachverhalte besser erklärt werden.	13
Nicht so hilfreich: Manche Tipps haben mir zwar geholfen den chemischen Sachverhalt, die Versuchsplanung und/oder -interpretation besser zu verstehen, größtenteils haben sie mich aber verwirrt.	1
Gar nicht hilfreich: Die Tipps haben mir überhaupt nicht geholfen und/oder mich verwirrt.	1
<b>Summe der Antworten (Fragebögen N=38)</b>	<b>23</b>

<b>Frage 6: Wie ist es dir beim Aufstellen einer Hypothese (Vermutung) ergangen? (Beim Versuch, die Metalle von edel zu unedel zu ordnen)</b>	<b>Anzahl der Antworten</b>
Sehr gut: ich konnte gleich eine Hypothese (Vermutung) alleine aufstellen und wusste, wofür ich das tun sollte.	13
Gut: ich konnte eine Hypothese (Vermutung) alleine aufstellen, wusste aber nicht wofür ich das tun sollte.	20
Mittelmäßig gut: ich konnte keine Hypothese (Vermutung) <u>alleine</u> aufstellen und ich wusste auch nicht wofür das gut sein sollte.	4
Gar nicht gut: ich habe gar keine Vermutung aufgestellt.	1
<b>Summe der Antworten (Fragebögen N=38)</b>	<b>38</b>

<b>Frage7: Wie ist es dir mit der selbstständigen Planung des Versuches ergangen (beim Versuch, die Metalle vom edelsten zum unedelsten ordnen)?</b>	<b>Anzahl der Antworten</b>
Sehr gut: ich wusste sofort, wie ich den Versuch planen und durchführen musste.	17
Gut: ich wusste durch die Tippkarten auf der Internetseite, wie ich den Versuch planen und durchführen musste.	12
Mittelmäßig gut: die Tippkarten auf der Internetseite halfen in etwa, was zu tun ist – die Lehrerin musste mir aber trotzdem nochmal kurz helfen.	8
Weniger gut: ich wusste gar nicht, wie ich den Versuch planen und durchführen sollte. Ich brauchte sehr viel Hilfe von der Lehrerin.	1
<b>Summe der Antworten (Fragebögen N=38)</b>	<b>38</b>

<b>Frage 8: Hast du das Gefühl, dass du durch diese Unterrichtseinheit Redoxreaktionen jetzt besser verstehst?</b>	<b>Anzahl der Antworten</b>
Ja, durch diese Unterrichtseinheit habe ich das Thema besser verstanden.	19
Ich habe es verstanden, manches ist mir aber noch unklar. <i>(Anmerkung eines/einer Lernenden: „Ich weiß jetzt zwar mehr aber Sachen, wie, wann ich das Wort oxidieren oder reduzieren verwende ist mir noch unklar. Ich weiß zwar was Oxidation und Reduktion ist, aber nicht oxidieren, reduzieren.“)</i>	14
Ich habe nur Teile verstanden, vieles ist mir aber noch unklar.	2
Ich habe leider nicht mehr verstanden.	2
<b>Summe der Antworten (Fragebögen N=38)</b>	<b>38</b>

### Grafische Darstellung der Antworten des ersten Teils der Abschlussbefragung

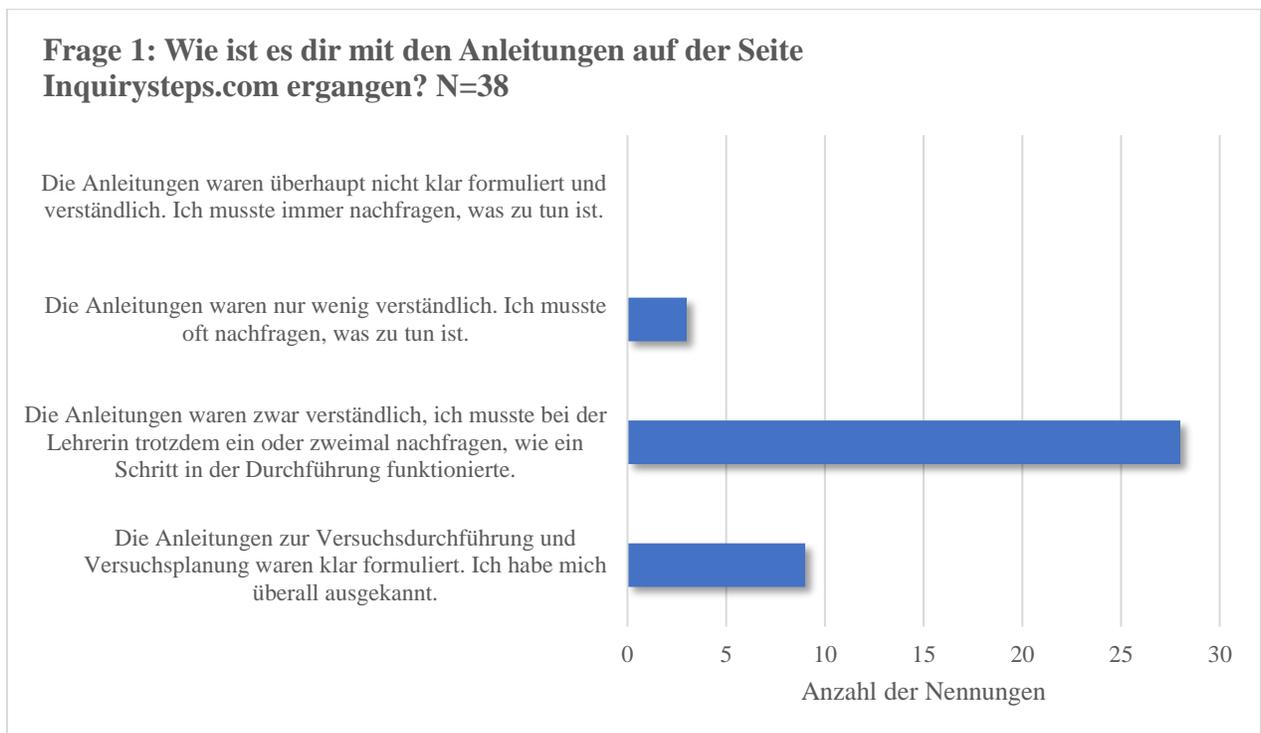


Abbildung 31: Anzahl der Nennungen zu Frage 1 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung

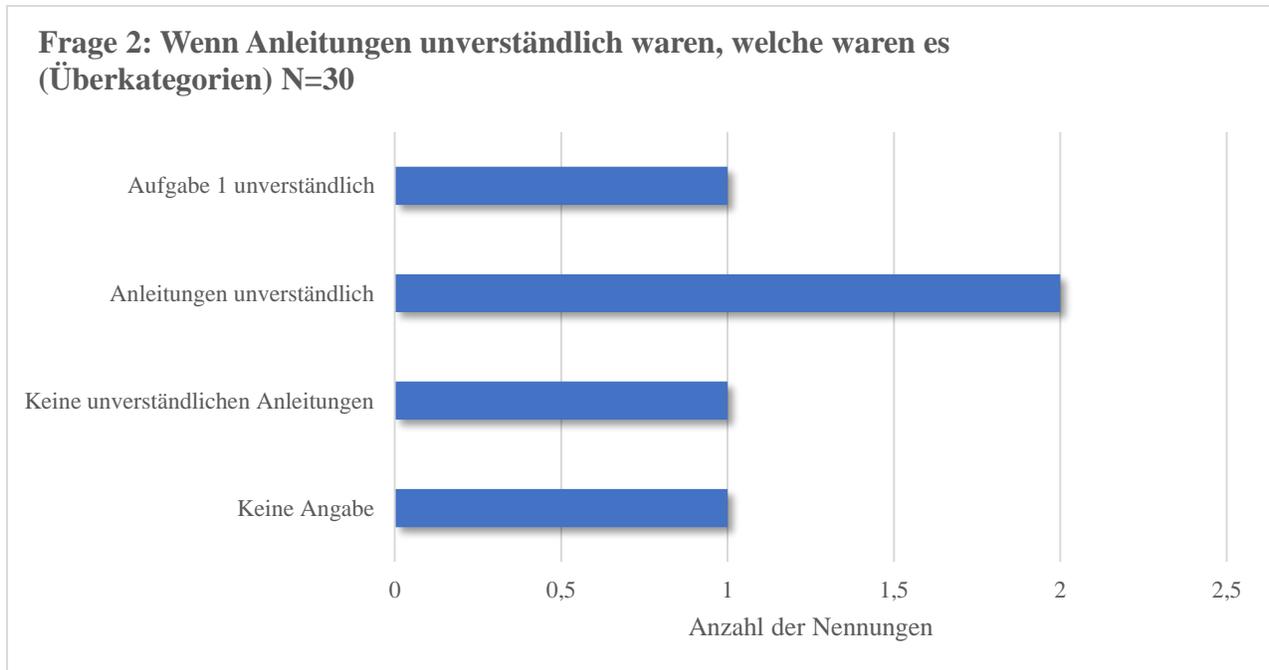


Abbildung 32: Anzahl der Antworten der Lernenden auf Frage 2 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung

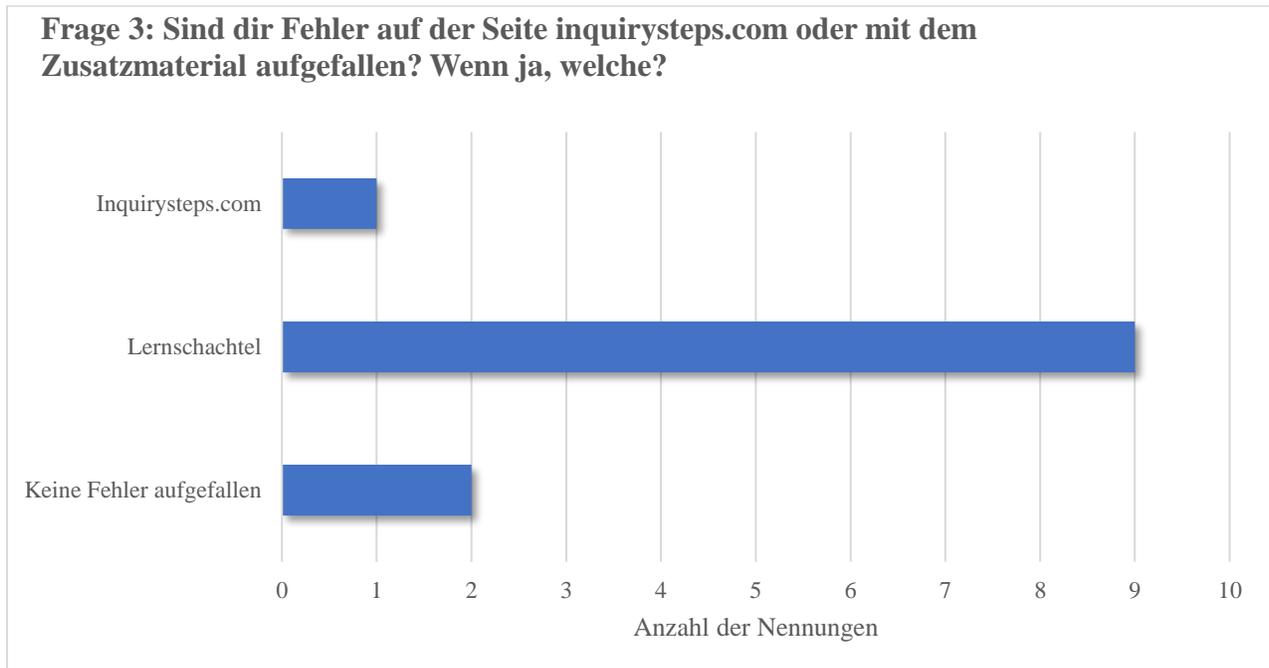


Abbildung 33: Anzahl der Antworten der Lernenden auf Frage 3 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung

**Frage 4: Hast du die Tipps (Tippkarten) verwendet, die pro Versuch angeboten wurden? N=38**

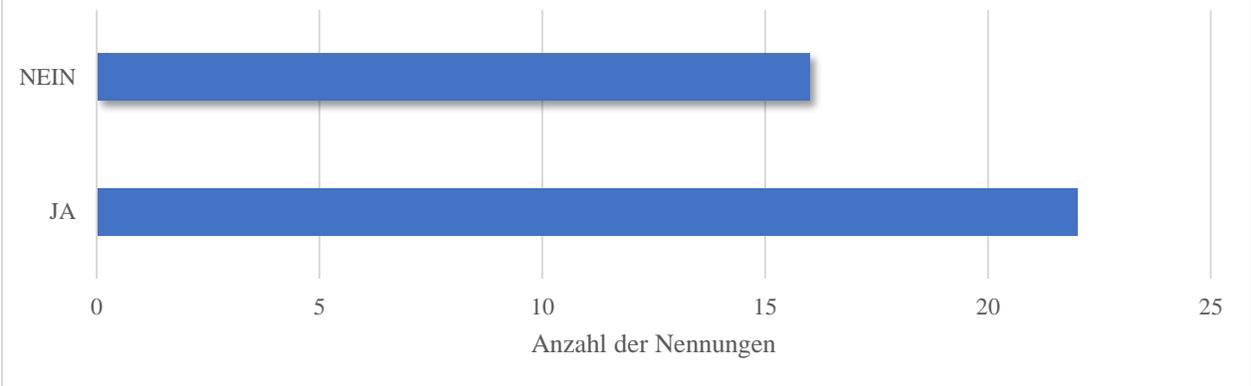


Abbildung 34: Anzahl der Antworten der Lernenden auf Frage 4 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung

**Frage 5: Wenn du die Tipps/Tippkarten verwendet hast, wie hilfreich waren sie? N=23**

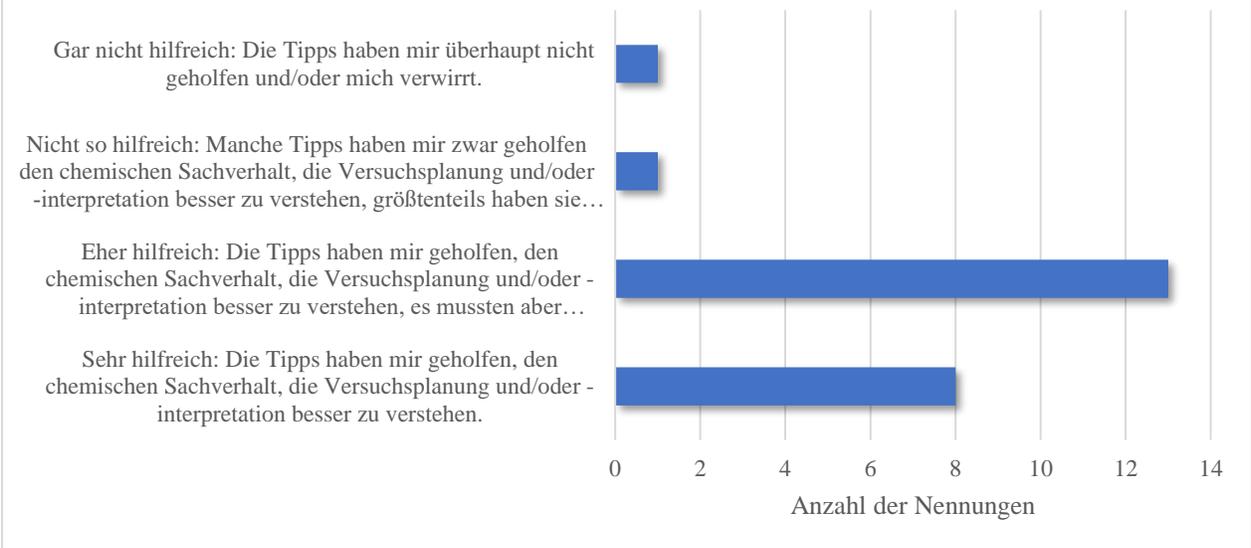


Abbildung 35: Anzahl der Antworten der Lernenden auf Frage 5 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung

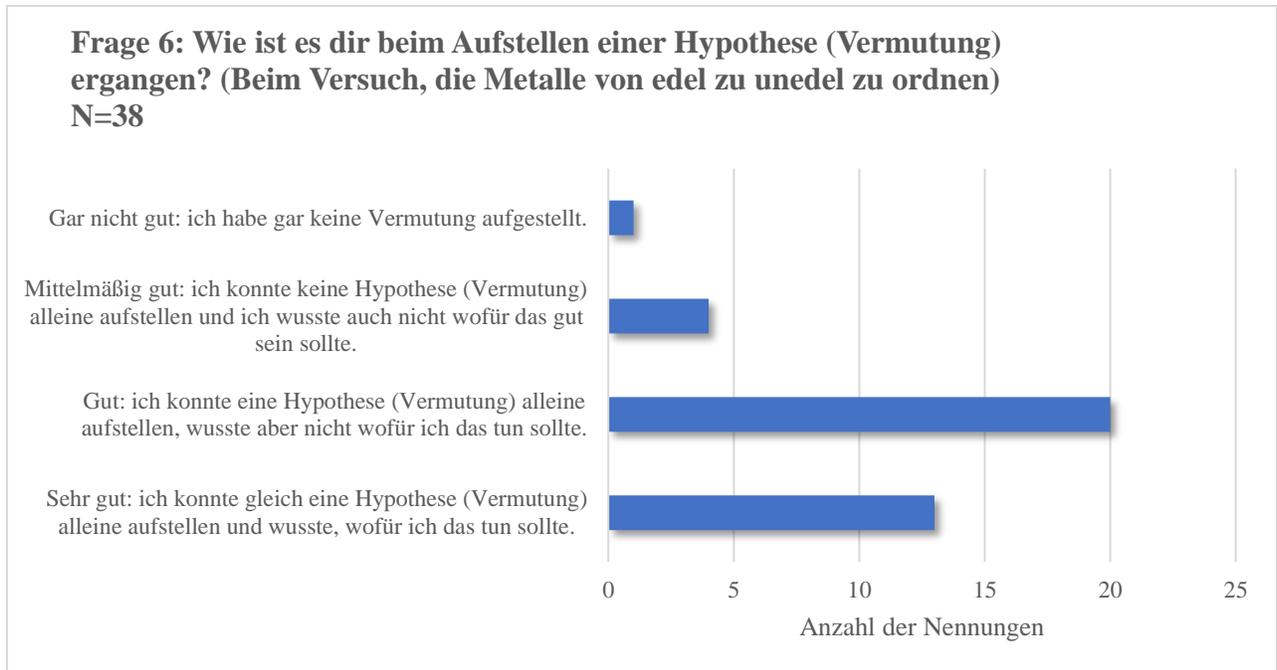


Abbildung 36: Anzahl der Antworten der Lernenden auf Frage 6 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung

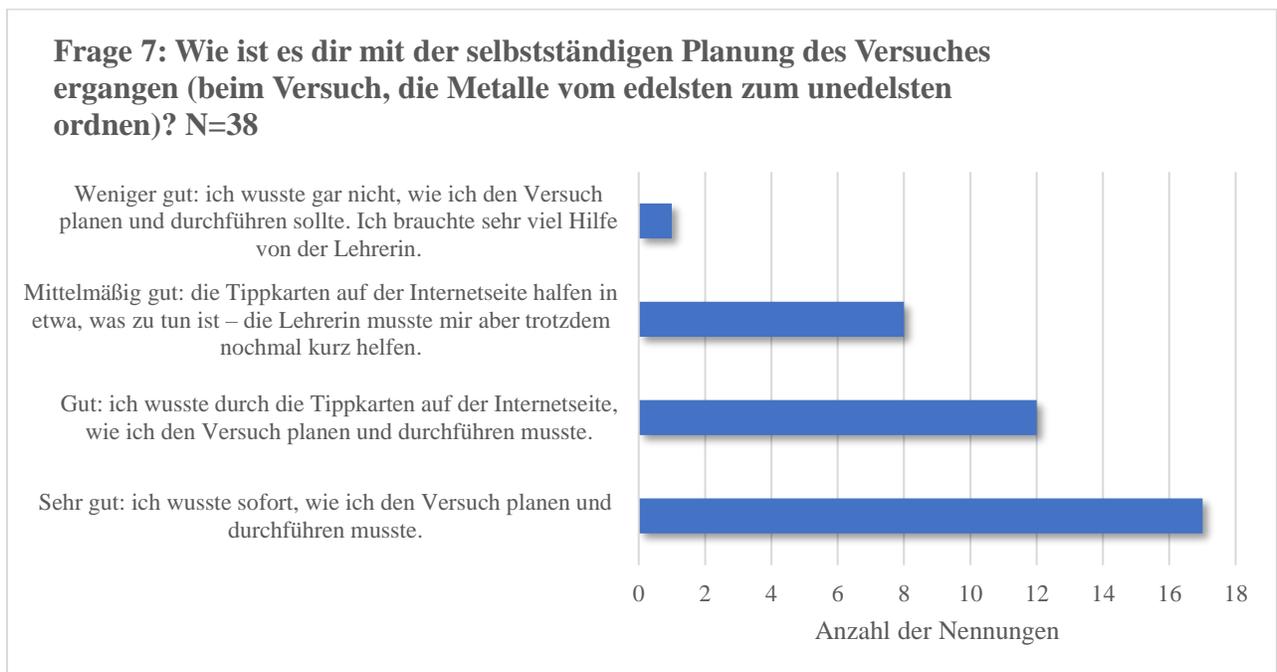


Abbildung 37: Anzahl der Antworten der Lernenden auf Frage 7 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung

**Frage 8: Hast du das Gefühl, dass du durch diese Unterrichtseinheit Redoxreaktionen jetzt besser verstehst? N=38**

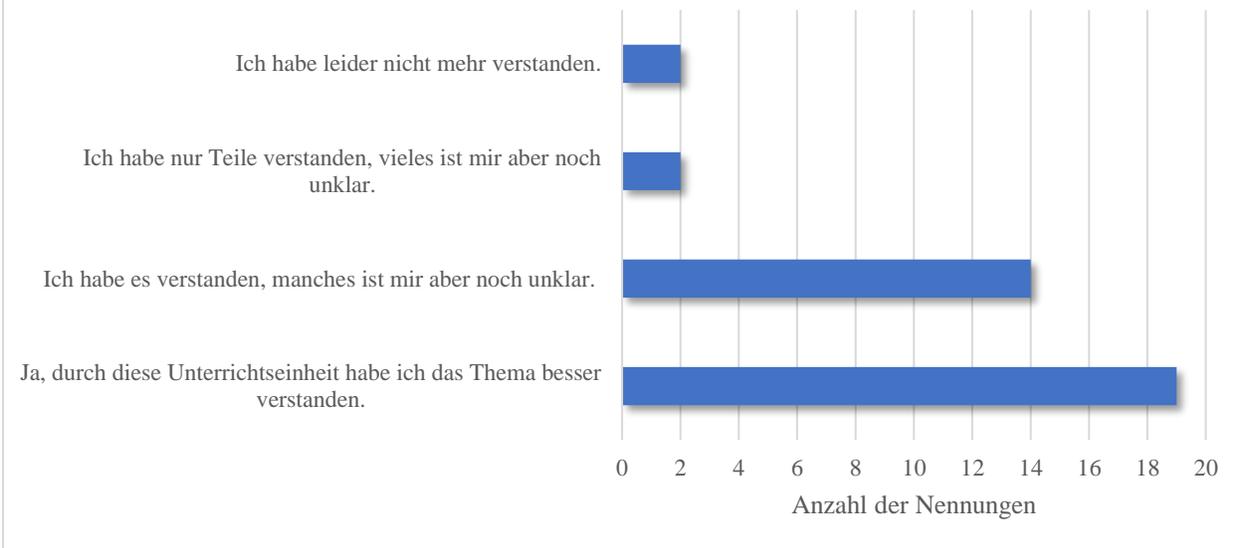


Abbildung 38: Anzahl der Antworten der Lernenden auf Frage 8 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung

## Lernendenvorstellung – Abschlussbefragung (Fragebögen N=38)

Teil 2 der Abschlussbefragung, dessen Fragen dahingegen konzipiert sind, zu klären, wie sich die Lernendenvorstellungen der Lernenden durch die Einheit „Elektrochemie – Einführung“ verändert haben, beinhaltet sowohl Multiple-Choice Fragen als auch offene Fragen. Die Multiple-Choice Fragen werden statistisch ausgewertet. Die offenen Fragen werden mittels qualitativer Inhaltsanalyse analysiert, die Analyseeinheit wird im Anschluss an die Auswertung der Multiple-Choice Fragen beschrieben.

### Phänomenebene:

<b>„Versuch: Der Eisenstab taucht in die blaue Kupfersulfatlösung ein – nach einiger Zeit bildet sich auf dem Eisenstab zuerst ein schwarzer, etwas später ein rötlicher Überzug. Die blaue Farbe der Lösung verschwindet nach einiger Zeit. Was ist hier passiert?“</b>	<b>Anzahl der Antworten</b>
Der schwarze und später rote Überzug kommt daher, dass der Eisenstab rostet.	4
Der Eisenstab saugt die Kupfersulfatlösung an, er verfärbt sich deshalb.	11
<b>Der Eisenstab reagiert mit der Kupfersulfatlösung. Auf dem Stab setzt sich Kupfer ab</b>	21
Die Kupfersulfatlösung zersetzt den Eisenstab und zerstört ihn, daher die schwarze, dann die rötliche Farbe.	2
<b>Summe der Antworten (Abschlussbefragung N=38)</b>	<b>38</b>

### Teilchenebene:

<b>„Versuch: Der Eisenstab taucht in die blaue Kupfersulfatlösung ein – nach einiger Zeit bildet sich auf dem Eisenstab zuerst ein schwarzer, etwas später ein rötlicher Überzug. Die blaue Farbe der Lösung verschwindet nach einiger Zeit. Was ist auf Ebene der Teilchen passiert?“</b>	<b>Anzahl der Antworten</b>
Kupferatome nehmen 2 Elektronen auf und werden zu Kupferionen reduziert.	10
<b>Die Eisenatome geben 2 Elektronen ab und werden zu Eisenionen oxidiert.</b>	7
Das Kupfer kann oxidiert werden.	2
<b>Die Kupferionen nehmen 2 Elektronen auf und werden zu Kupferatomen reduziert.</b>	20
Die Eisenatome geben 2 Elektronen ab und werden zu Eisenionen reduziert.	1
<b>Das Eisen kann oxidiert werden.</b>	16
<b>Summe der Antworten (Abschlussbefragung N=38)</b>	<b>38</b>

*Bei Aufgabe 3 verwendet eine Gruppe noch die Erklärung der Vorstellung des Verätzens durch eine Säure.*

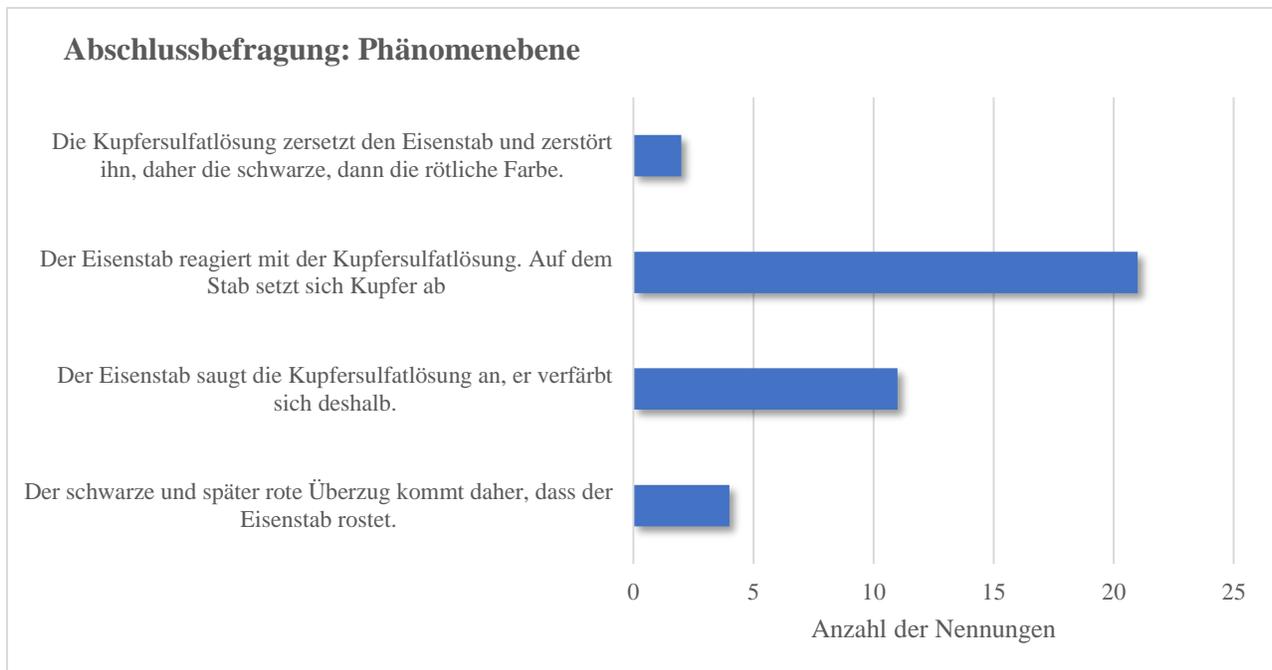


Abbildung 39: Anzahl der Antworten der Lernenden bei der Abschlussbefragung (Erklärung des Zementationsversuchs auf Phänomenebene). Eigene Darstellung

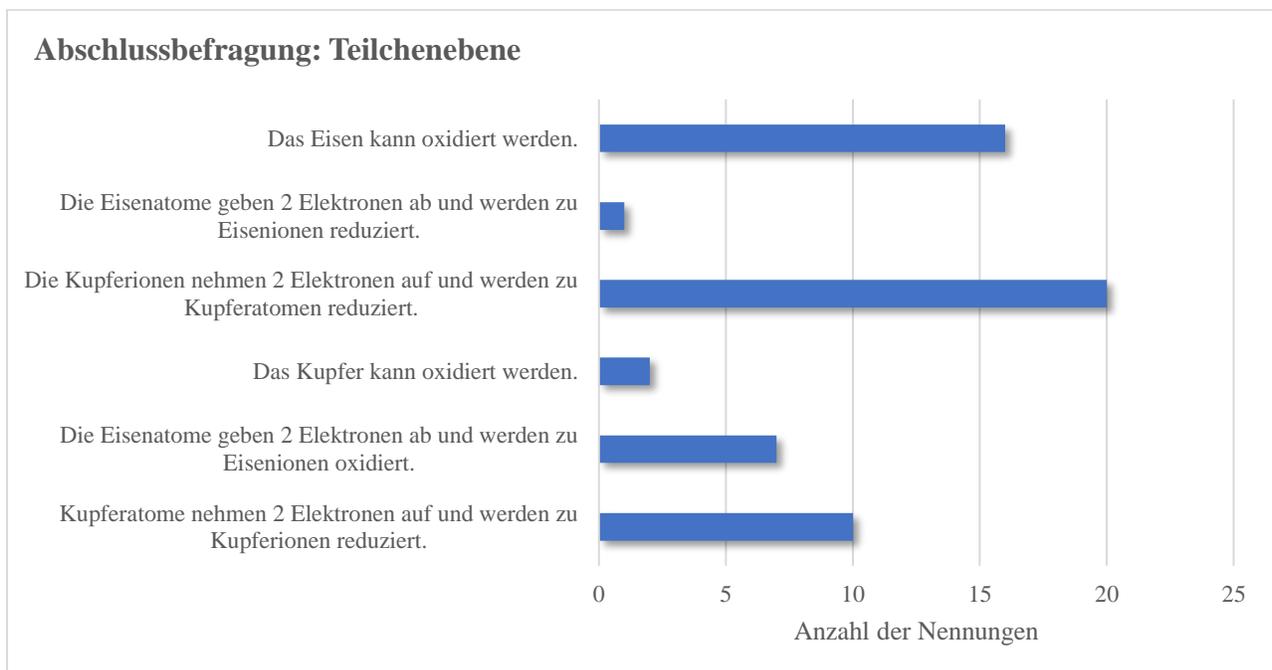


Abbildung 40: Anzahl der Antworten der Lernenden bei der Abschlussbefragung (Erklärung des Zementationsversuchs auf Teilchenebene). Eigene Darstellung

**Abschlussbefragung: Vorhersagen treffen –Verwendung der Begriffe „edel/unedel“ sowie fachlich sinnvolle Erklärung und Verwendung der Begriffe (N=38)**

**Analyseeinheiten**

<b>Kodiereinheit</b>	Ein Wort
<b>Größter Textbestandteil, der unter Kodierung fallen darf</b>	Mehrere Sätze beziehungsweise eine ganze Antwort eines Lernenden pro Frage oder Aufgabenstellung
<b>Auswertungseinheit</b>	Fragebogen zur Abschlussbefragung: Teil 2 „Was habe ich gelernt“ – Multiple Choice Fragen zu makroskopischer und submikroskopischer Ebene der Lernendenvorstellung zur Elektrochemie, Vorhersagen zu Reaktionsfreiwilligkeit anhand edler und unedler Ionen/Atome treffen
<b>Abstraktionsniveau</b>	Kategorie kann auf ein Wort reduziert werden
<b>Programm</b>	QCAMap ( <a href="http://www.qcamap.org">www.qcamap.org</a> ), analog

<b>Kategorie</b>	<b>Ankerbeispiel</b>
Fachlich angemessene Verwendung der Begriffe „edel/unedel“,	„Ja, da Eisen in der Lösung edler ist als das Magnesium.“
Fachlich nicht angemessene Verwendung der Begriffe „edel/unedel“	„Ja, da Kalium edler ist als Kupfer.“
Sinnvolle Vorhersage ohne Erklärung	„Ja.“
Sinnvolle Vorhersage mit Erklärung	„Ja, das Eisen in der Lösung ist edler als das Magnesium.“
Nicht sinnvolle Vorhersage ohne Erklärung	„Nein.“
Nicht sinnvolle Vorhersage mit Erklärung	„Nein, denn es ist $Fe^{3+}$ und nicht $Fe^{2+}$ “ <i>Anmerkung: gefragte Reaktion lautete <math>Fe^{3+} + Mg</math></i>
Keine Angabe	„Keine Ahnung.“
<b>Summe aller kategorisierten Aussagen (Abschlussbefragung N=38)</b>	<b>116</b>

<b>Kategorie</b>	<b>Anzahl der Nennungen</b>
Fachlich angemessene Verwendung der Begriffe „edel/unedel“,	28
Fachlich nicht angemessene Verwendung der Begriffe „edel/unedel“	11
Sinnvolle Vorhersage ohne Erklärung	8
Sinnvolle Vorhersage mit Erklärung	25
Nicht sinnvolle Vorhersage ohne Erklärung	12
Nicht sinnvolle Vorhersage mit Erklärung	21
Keine Angabe	11
<b>Summe aller kategorisierten Aussagen (Abschlussbefragung N=38)</b>	<b>116</b>

### Abschlussbefragung: Vorhersagen treffen

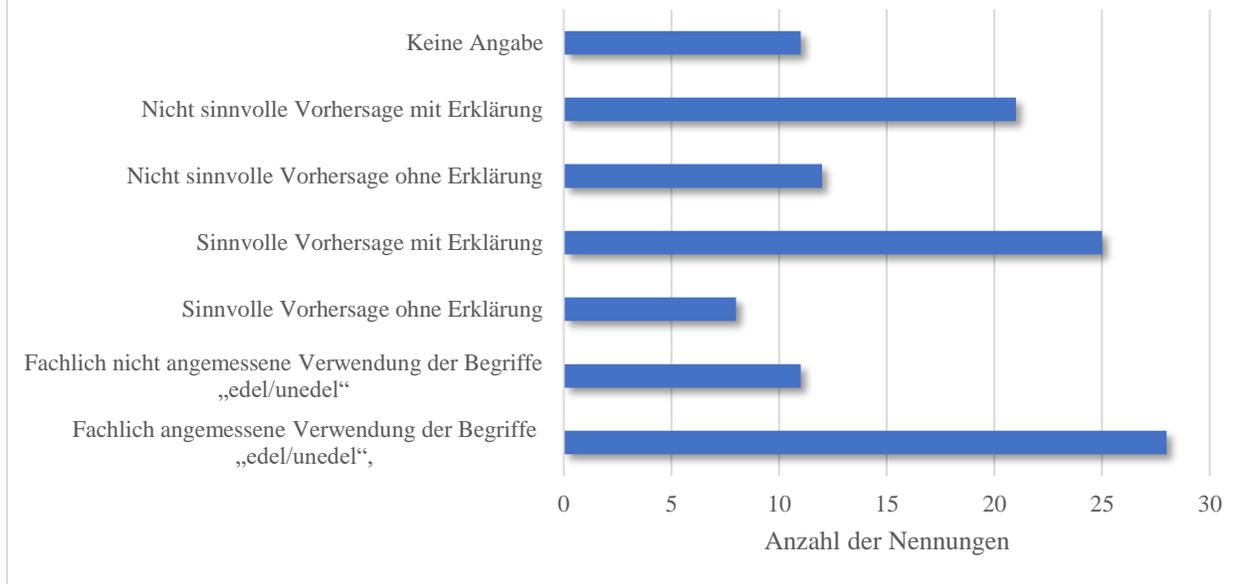


Abbildung 41: Antworten der Lernenden in der Abschlussbefragung (Vorhersagen treffen): Sinnvolle Verwendung der Begriffe edel/unedel sowie sinnvolle Vorhersage treffen. Eigene Darstellung

## 10. Interpretation

Anhand der durch die Untersuchung erhaltenen Daten lassen sich die drei Fragestellungen, die in dieser Arbeit von Interesse sind, zum Teil beantworten. Im Folgenden werden die Daten geordnet nach Fragestellung interpretiert.

### 10.1. Wie gehen Lernende einer 7. Schulstufe mit der digitalen Lernumgebung von Inquirysteps.com um?

- Wie gehen die Lernenden einer 7. Schulstufe mit der digitalen Lernumgebung von Inquirysteps.com um?
- Inwieweit hilft das durch die Plattform bereitgestellte Scaffolding beim selbstständigen Arbeiten?
- In welchen Punkten kann Inquirysteps.com verbessert werden?

Zur Interpretation wurden die Daten aus der Abschlussbefragung sowie die Mitschrift der Lehrperson aus dem Tagebuch herangezogen.

Laut Befragung und Tagebuch gab es allgemein bei den Lernenden keine Schwierigkeiten mit der Durchführung von Aufgabe 1, die meisten Schwierigkeiten gab es bei Aufgabe 2, dem Concept Cartoon (12 von 30 Lernenden, die diese Frage der Abschlussbefragung beantwortet haben), Aufgabe 3 auf Level 2 mit der selbstständigen Versuchsplanung (8 von 30 Lernenden) und Aufgabe 4, der Transferaufgabe, bei denen Vorhersagen getroffen werden mussten (5 von 30 Lernenden). Insgesamt hatten 13 von 30 Lernenden Schwierigkeiten bei offeneren Aufgabenstellungen.

Beim Concept Cartoon gaben die Lernenden an, überfordert zu sein und nicht zu wissen, was von ihnen verlangt wurde. Es konnte auch beobachtet werden, dass die Lernenden Schwierigkeiten hatten, ihre eigenen Gedanken und Konzepte zu den Aussagen zu formulieren beziehungsweise zu artikulieren. Diese Überforderung könnte davon herrühren, dass die Lernenden der untersuchten Gruppen zum ersten Mal mit der Methode des Concept Cartoons in Berührung kamen. Ein weiterer Punkt, der zur Überforderung der Lernenden bei der Bearbeitung der Aufgabe 2 beigetragen haben könnte, ist das Design der Aufgabe auf der Website Inquirysteps.com. Die Überschrift der Aufgabe 2 fordert die Lernenden auf: „Was stimmt bei den Aussagen nicht? – Wie kannst du begründen, was bei Aufgabe 1 passiert ist? Stelle die Aussagen richtig.“ – dies kann zu Missverständnissen führen, da die Lernenden annehmen könnten, dass die Aussagen der Figuren grundsätzlich fachlich nicht korrekt sind. Vielmehr geht es darum, dass die Lernenden über die Aussagen der Figuren diskutieren und ihre Gedanken und Überlegungen dazu formulieren. Statt der Aufforderung „Stelle die Aussagen richtig.“ könnte man zum Beispiel folgende Anweisung geben: „Diskutiert über die Aussagen und formuliert eure Gedanken dazu. Formuliert die Aussagen

neu.“. Weiters könnte die Methode des Concept Cartoons in die Aufgabe 1 integriert werden, um zu verdeutlichen, dass es sich um das Phänomen aus Aufgabe 1 handelt, über das die Figuren im Concept Cartoon sprechen.

Bei Aufgabe 3 sollte eine Untersuchung selbstständig geplant werden, um herauszufinden, wie vier Metalle vom edelsten zum unedelsten Metall zu ordnen sind. Sowohl die Abschlussbefragung als auch die Einträge der Lernenden in den Protokollvorlagen, sowie die Tagebucheinträge bestätigen, dass die Lernenden keine Probleme mit dem Aufstellen einer Hypothese hatten. Viele Lernenden stellten die Hypothese intuitiv auf, sie wussten aus ihrer Alltagserfahrung, dass Silber edel und teuer ist, ebenso wie Kupfer. Lediglich 4 von 38 Personen gaben an, dass sie nicht wussten wofür sie eine Hypothese aufstellen sollten.

17 Lernende der insgesamt 38, welche den Bogen für die Abschlussbefragung ausgefüllt haben, gaben an, sehr gut mit der selbstständigen Planung der Untersuchung zurecht gekommen zu sein. Dies deckt sich jedoch nicht mit der Beobachtung während der Unterrichtseinheit, bei der die meisten Lernenden mit der selbstständigen Planung überfordert waren. Es war jedoch zu beobachten, dass, sobald eine Gruppe eine Planung für die Untersuchung vorgelegt hatte, die anderen Gruppen das gleiche Schema zur Versuchsplanung übernahmen. Somit wurde hier ein Merkmal von Forschendem Lernen, der Austausch unter den Lernenden, erfüllt. Die Lernenden lernten voneinander, während die Lehrperson lediglich durch Mikroscaffolds Unterstützung anbieten musste. Diese Peerunterstützung könnte zu der positiven Erfahrung während der Versuchsplanung geführt haben. Dennoch gaben 8 von 30 Personen an, dass die Anleitung für Aufgabe 3 unverständlich war. Lernende fragten während der Unterrichtseinheit nach einer konkreten Versuchsanleitung. Die zwei Klassen, die bei der Untersuchung beteiligt waren, hatten bisher noch wenig Erfahrung mit Forschendem Lernen auf Level 2 und somit mit der selbstständigen Versuchsplanung – eine gezieltere Übung zur selbstständigen Planung von Versuchen könnte diese Überforderung verhindern.

Ebenso gaben 5 von 30 Lernende an, mit Aufgabe 4, dem Treffen von Vorhersagen, überfordert gewesen zu sein. Eine mögliche Interpretation dafür könnte sein, dass Aufgabe 4 am Ende der Unterrichtseinheit durchgeführt wurde und die Lernenden schon kognitiv überlastet waren. Ebenso ist aus dem Tagebuch zu entnehmen, dass viele Lernende Probleme hatten, anhand der Reaktionsgleichungen zwischen den Ionen in Salzlösungen und den Atomen der Metallstäbe zu unterscheiden woraus sich Verwirrungen für die Lernenden ergaben (siehe unter anderem Kapitel 10.2. und 10.3.). Weiters ist das Design der Aufgabe 4 auf [Inquirysteps.com](http://Inquirysteps.com) umständlich oder Tippkarten sind umständlich formuliert, was zu dieser Überforderung beigetragen haben könnte: Die Überschrift der Aufgabe 4 lautet „Kannst du Vorhersagen treffen?“. Diese geschlossene Formulierung suggeriert den Lernenden ein „Abprüfen“ ihres Wissens und baut Druck auf. Generell könnten die Arbeitsaufträge der Aufgabe 4 offener formuliert werden: statt „Kannst du Vorhersagen treffen?“, „Welche Vorhersagen kannst du treffen?“. Anstelle von „Kannst du hier eine Regelmäßigkeit erkennen?“, „Welche Regelmäßigkeiten kannst du erkennen?“ und anstatt „Welche Reaktionen haben nicht funktioniert?“, „Welche Kombination aus Metallatomen und Metallionen haben nicht reagiert?“.

Betrachtet man die Daten der Abschlussbefragung, so kann man sehen, dass ein Großteil der an der Untersuchung teilgenommenen Lernenden „sehr gut“ bis „gut“ mit Inquirysteps.com zurechtkommen. 28 von 38 Lernenden, welche an der Abschlussbefragung teilnahmen, gaben an mit den Anleitungen, Videos oder Texten zur Versuchsdurchführung und Tippkarten gut zurecht zu kommen, sie bräuchten aber noch Unterstützung durch die Lehrperson. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen aus der Literatur, dass es trotz digitalem Scaffolding den Austausch mit Lehrperson und Peers braucht, um Forschendes Lernen sinnvoll betreiben zu können. Weiters ist anzumerken, dass das Design der Tippkarten teilweise unübersichtlich und überladen wirkt.

22 Lernende haben die Tippkarten verwendet und gaben an, dass die Tippkarten sehr hilfreich waren. 8 Personen konnten die Aufgaben alleine mit Tippkarten bewältigen. 13 Personen gaben an, trotz der Tippkarten Unterstützung von der Lehrkraft benötigt zu haben. Dies untermauert abermals die Wichtigkeit der Lehrperson, auch bei offeneren Lernformaten, um individuelle Lernunterstützung zu bieten. Vor allem beim offeneren Format von Aufgabe 3 gaben 12 Personen an, dass die Tippkarten hilfreich waren. Es ist anzunehmen, dass Lernende Tippkarten und Hilfestellungen eher annehmen und verwenden, wenn sie digital verfügbar sind, da die Lernenden schneller darauf zugreifen können und sich so nicht der vermeintlichen „Scham“ aussetzen, um Hilfe zu fragen. Dennoch ist anzumerken, dass die Tippkarten, vor allem bei Aufgabe 3 und Aufgabe 4 überladen wirken und dadurch leserunfreundlich gestaltet sind. Auch sind sie Tippkarten bei diesen Aufgaben für eine 7. Schulstufe umständlich formuliert. Es wäre anzudenken, diese Tippkarten sprachlich zu vereinfachen und die Textmenge zu reduzieren, indem man lange Tipps auf mehr Tippkarten aufteilt.

16 Lernende gaben dennoch an, die Tippkarten nicht verwendet zu haben. Eine Lernende gab dazu an, dass die Tippkarten auf ihrem Endgerät nicht funktioniert hätten, was den hohen Prozentsatz an Lernenden erklären könnte, welche die Tippkarten nicht verwendet haben. Es müsste daher bei der Programmierung der Tippkarten darauf geachtet werden, dass diese auf jedem Endgerät und mit jedem Browser funktionieren oder es müsste einen entsprechenden Hinweis auf der Startseite geben, der einen bestimmten Browser empfiehlt.

Ansonsten merkten 9 von 12 Lernenden zusätzlich an, dass Material in der physisch vorhandenen Lernschachtel fehlte oder fehlerhaft war (ein Loch in der Plastikpipette, ein fehlender Glasstab oder ein Tippfehler auf der Spannungsreihe).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Lernenden mit der digitalen Lernumgebung von Inquirysteps.com sehr gut bis gut zurechtkommen. Eine gute Performanz und große Selbstständigkeit der Lernenden wird erreicht durch das Nutzen der digitalen Tippkarten in Kombination mit Unterstützung durch die Lehrkraft und die Peers. Die auf der Plattform bereitgestellten Macroscaffolds in Form von Tippkarten und Videoanleitung wurde von den Lernenden gut angenommen und war für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen hilfreich. Tatsächlich gaben 19 von 38 Lernenden an, Elektrochemie, beziehungsweise Oxidation und Reduktion besser verstanden zu haben. 14 Lernende gaben an, die Sachverhalte besser zu verstehen, manches sei ihnen aber noch unklar. Eine Person gab diesbezüglich schriftlich an, bei der Verwendung der Begriffe „oxidieren“ und „reduzieren“ verunsichert zu sein. Die meiste kognitive Überlastung trat bei Aufgabe 3 (Forschendes Lernen auf Level 2) und Aufgabe 4

(Vorhersagen treffen) auf, die Lernenden waren offensichtlich mit dem Prozess des selbstständigen Forschens überfordert. Die Lernenden sollten daher, vor der Bearbeitung der Unterrichtseinheit zu Forschendem Lernen in der Elektrochemie mit der Bearbeitung von Aufgaben auf Level 2 geübt sein. Zusätzlich kann man durch Verbesserungen der Website [Inquirysteps.com](http://Inquirysteps.com), beispielsweise durch Reformulierung der Tippkarten und Aufgaben, etwaige Überforderungen im Vorfeld verhindern.

## 10.2. Untersuchung der Lernendenvorstellung zum Thema Elektrochemie in einer 7. Schulstufe

- Welche Lernendenvorstellungen zeigen die Lernenden vor dem Unterricht zu Redoxreaktionen?
- In welcher Weise verändern sich die Lernendenvorstellungen durch die Einheit des Forschenden Lernens zum Thema der Elektrochemie?

Die Lernendenvorstellungen der Lernenden über Elektrochemie wurden mittels des Fragebogens vor dem Unterricht über Redoxreaktionen erhoben. Die Veränderungen der Lernendenvorstellungen während der Einheit des Forschenden Lernens mit der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ wurde durch Analyse der Protokolleinträge der Lernenden ermittelt. Wie und ob sich etwaige ursprüngliche Lernendenvorstellungen veränderten, wurde mittels der Abschlussbefragung ermittelt.

Die ursprünglichen Lernendenvorstellungen zur Zementationsreaktion, bei der metallische Kupferatome durch Reduktion von Kupferionen in einer Kupfersulfatlösung entstehen und gleichzeitig metallische Eisenatome oxidieren und als Eisenionen in Lösung gehen, welche aus der Literatur bekannt sind wurden auch bei den Lernenden dieser 7.Schulstufe gefunden. Bei der Befragung mittels Fragebogen vor dem Unterricht über Redoxreaktionen erklärten die Lernenden das gesehene Phänomen mit ihren Alltagserfahrungen. Daher ist es wenig überraschend, dass 26 von 40 Lernenden das abgeschiedene metallische Kupfer für Rost hielten. Ebenso die Vorstellung von Anziehung, Abfärben der Lösung auf den Nagel oder das Verätzen des Eisennagels durch die Kupfersulfatlösung sind bekannte Lernendenvorstellungen aus der Literatur, welche auch die Lernenden dieser 7. Schulstufe zeigten. 15 von 40 Lernenden vermuteten, dass die Kupfersulfatlösung den Eisendraht auflöste oder verätzte. 10 von 40 Lernenden vermuteten eine Anziehung oder ein Absetzen eines Stoffes aus der Lösung. Eine weitere Lernendenvorstellung, welche noch nicht aus der Literatur bekannt war, war die Vorstellung, dass es sich bei dem metallischen Niederschlag um etwas Organisches handle. 6 von 40 Lernenden erklärten sich das beobachtete Phänomen mit einem Algenbewuchs oder dem Verfaulen des Eisennagels.

Während der Einheit zum Forschenden Lernen wurde aus den Protokolleinträgen der Lernenden ersichtlich, dass weit mehr als die Hälfte der Lernenden fachlich angemessene Erklärungen zu der

in Aufgabe 1 stattgefundenen Redoxreaktion geben konnten: 61 der 75 kategorisierten Aussagen der Lernenden aus den Protokollvorlagen waren fachlich angemessen formuliert. Interessant ist es, dass trotz des Vorwissens aus dem Unterricht und der angebotenen Tippkarten ungefähr ein Zehntel der Lernenden an den Konzepten wie Rost, Anziehung oder einer Farbreaktion festhielten: 10 der 75 kategorisierten Aussagen bezogen sich auf diese Lernendenvorstellungen.

In der Literatur wird beschrieben, dass 34% der Lernenden der Sekundarstufe I die Begriffe „Oxidation“, „Reduktion“, „edel“ und „unedel“ verwenden, allerdings meist fachlich nicht angemessen (Barke, 2006). Dieser Wert deckt sich nur zum Teil mit der Untersuchung der Antworten der Lernenden aus den Protokollbögen. 11 von 38 Lernenden verwendeten die Begriffe „edel“ und „unedel“ fachlich nicht angemessen. Ein/e Lernende/r gab außerdem bei der Abschlussbefragung dezidiert an, nicht zu wissen wann und in welchem Zusammenhang diese Begriffe verwendet werden. Allerdings verwendeten 28 von 38 Lernenden die Begriffe „edel“ und „unedel“ in einem fachlich angemessenen Kontext.

Aus der Abschlussbefragung ergibt sich, dass 17 von 38 Lernenden bei der Erklärung der Zementationsreaktion von metallischem Kupfer aus einer Kupfersulfatlösung an einem Eisennagel wieder auf eine ursprüngliche Lernendenvorstellung zurückgreifen, wenn die Reaktion auf makroskopischer Ebene beschrieben wird. 4 Lernende hielten am Konzept der Rostenstehung fest, 11 Lernende erklärten das Phänomen durch eine Farbreaktion und 2 Lernende erklärten sich das Phänomen durch die Zerstörung des Eisenstabs durch die Kupfersulfatlösung. Im Vergleich zu den von den Lernenden während der Unterrichtseinheit formulierten Erklärungen bedeutet dies, dass nahezu ein Viertel der Lernenden nach der Lerneinheit wieder in ein altes Erklärungsmuster zurückfiel. Wird aber der gleiche Sachverhalt auf submikroskopischer Ebene gefragt, so kreuzten 20 der befragten 38 Lernenden die richtige Antwort „Kupferionen nehmen 2 Elektronen auf und werden zu Kupferatomen reduziert.“ an, 16 Lernende kreuzten die richtige Antwort „Eisen kann oxidiert werden“ an und 7 Lernende kreuzten die richtige Antwort „Die Eisenatome geben 2 Elektronen ab und werden zu Eisenionen oxidiert.“ an. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass den Lernenden das Phänomen der Oxidation und Reduktion beziehungsweise die Vorgänge bei der Zementationsreaktion auf submikroskopischer Ebene klar und ohne Widersprüche erscheinen. Wird aber auf makroskopischer Ebene eine Erklärung verlangt, so werden ursprüngliche, phänomen-bezogene Erklärungsmuster herangezogen.

### 10.3. Fähigkeit der Lernenden zur Erklärung der chemischen Vorgänge auf submikroskopischer oder makroskopischer Ebene

- Inwieweit ist es für die Altersgruppe (7. Schulstufe) möglich, bei Redoxreaktionen auch die submikroskopische Ebene für Erklärungen heranzuziehen?
- Inwieweit bleiben sie mit ihren Erklärungen auf der makroskopischen Ebene?

Bei der Untersuchung konnte keine eindeutige Tendenz der Lernenden gefunden werden, eher die submikroskopische oder die makroskopische Ebene für ihre Erklärung heranzuziehen.

In 17 von 42 kategorisierten Aussagen der Lernenden aus den Protokollvorlagen (N=21) hielten die Lernenden ihre Erklärung ausschließlich auf makroskopischer Ebene. In 5 von insgesamt 42 kategorisierten Aussagen wurden reine Phänomenbeschreibungen von den Lernenden als Erklärung angesehen. Zwei der Lernenden erklärten den Versuch der Zementation anhand einer fachlich unangemessenen Lernendenvorstellung (Verätzung oder fachlich nicht angemessene Verwendung des Oxidations- oder Reduktionsbegriffs). 9 Lernende verwendeten bei ihren Erklärungen auf stofflicher Ebene den Oxidations- und/oder den Reduktionsbegriff, jedoch wurden diese Begriffe in 4 von 9 Fällen ohne weitere Erklärung verwendet („Es wurde oxidiert.“).

Bei 6 der 42 kategorisierten Aussagen zogen Lernende für ihre Erklärungen nicht einheitlich entweder die makroskopische oder die submikroskopische Ebene heran, sondern vermischten diese. Wurde die makro- und submikroskopische Ebene vermischt, war die Erklärung in 3 von 6 Fällen aufgrund unangemessener Begriffsverwendung fachlich nicht angemessen.

Bei 11 der kategorisierten Aussagen der Lernenden verwendeten die Lernenden bei ihren Erklärungen ausschließlich Teilchenbegriffe. Es wurde also die submikroskopische Ebene herangezogen. In 10 von 11 Fällen war diese Erklärung auf submikroskopischer Ebene fachlich korrekt. 3 Lernende verwendeten Reaktionsgleichungen, um die Vorgänge auf Teilchenebene darzustellen beziehungsweise zu erklären.

Bei 3 Protokollvorlagen gaben die Lernenden an, keine Erklärung abgeben zu können und in 4 Fällen wurde nichts hingeschrieben („keine Angabe“).

Man kann erkennen, dass es zwischen der Anzahl der Lernenden, welche die makroskopische Ebene, eine Mischform und die submikroskopische Ebene zur Erklärung heranziehen, nur geringfügige Unterschiede gibt. Insgesamt ziehen die Lernenden in 17 von 42 Fällen die makroskopische Ebene für Erklärungen heran (5 davon reine Phänomenbeschreibungen), in 6 von 42 Fällen ist die Erklärung eine Mischform und in 11 von 42 Fällen werden die elektrochemischen Vorgänge auf der submikroskopischen Ebene erklärt. Diese Daten könnten damit erklärt werden, dass die Lernenden in der 7. Schulstufe in einem Alter befinden, welches einen Übergang in der kognitiven Entwicklung nach Piaget für die Lernenden darstellt. Die Lernenden befindet im Übergang vom konkret-operationalen Stadium zum formal-operationalen Stadium, in dem abstraktes Denken möglich ist und Gedanken unabhängig von der unmittelbaren Wahrnehmung

werden. Dieser Übergang findet zwischen dem 11. und dem 15. Lebensjahr statt. Die Lernenden, welche an dieser Untersuchung teilgenommen haben, sind zwischen 12 und 14 Jahre alt. Demnach befinden sie sich, je nach persönlicher Entwicklung, entweder noch im konkret-operationalen Stadium oder im formal-operationalen Stadium, erkennbar durch die Verteilung der Erklärungsmuster: rund 40% stützen ihre Erklärung des chemischen Vorgangs auf ihre eigene Wahrnehmung, rund 7% befinden sich in einer Umbruchsphase und rund 26% befinden sich schon im formal-operationalen Stadium.

Die in der Literatur beschriebene Schwierigkeit der Lernenden in der Sekundarstufe I die Brücke zwischen Phänomen- und Teilchenebene zu schlagen zeigt sich auch bei der Abschlussbefragung zur möglichen Veränderung von Konzepten deutlich. Wird nach einer Erklärung auf makroskopischer Ebene verlangt, so greifen die Lernenden zum Großteil auf ihre eigene Wahrnehmung und Alltagserfahrung zurück. Sollen die Vorgänge allerdings auf der Teilchenebene erklärt werden (Multiple-Choice Frage des zweiten Teils der Abschlussbefragung), so beantwortet ein Großteil der Lernenden die Frage fachlich korrekt. Es hat den Anschein, dass die Lernenden der 7. Schulstufe die makroskopische und die submikroskopische Ebene klar trennen oder keine Verbindung zwischen diesen sehen. Grund dafür könnte sein, dass, wie oben schon beschrieben, auf makroskopischer Ebene Lernendenvorstellungen vorherrschen, während diese Konzepte auf der submikroskopischen Ebene neu sind. Es sollte daher durch Makro- oder Mikroscaffolding versucht werden, diese beiden Ebenen zu verbinden. Die Lernenden sollen erkennen können, dass die Vorgänge auf der submikroskopischen Ebene zur Erklärung des Phänomens auf der makroskopischen Ebene herangezogen werden können.

## 11. Fazit und Ausblick

Die Forschungsfragen, die diese Arbeit beantworten soll, wurden nur zum Teil beantwortet. Es konnte nicht zur Gänze beantwortet werden, wie beständig die ursprünglichen Lernendenvorstellungen zur Elektrochemie tatsächlich sind, da sich die Interpretation auf die ausgewerteten Daten der Abschlussbefragung beziehen, welche direkt im Anschluss an die Einheit des Forschenden Lernens zur Elektrochemie durchgeführt wurde. In weiteren Untersuchungen könnte geklärt werden, wie und ob sich diese ursprünglichen Konzepte nach einem längeren Zeitraum verändern.

Anhand der zur Verfügung stehenden Daten kann man sagen, dass die Lernenden der 7. Schulstufe gut mit der Website [Inquirysteps.com](http://Inquirysteps.com) zurechtkommen und das bereitgestellte Scaffolding in Form von Videoanleitungen und Tippkarten hilfreich für die selbstständige Bearbeitung der Aufgaben sind. Weiters kann man anhand der Abschlussbefragung einen Lernfortschritt bei den Lernenden erkennen – 19 von 38 Lernende geben an, Reduktion und Oxidation und die Zementation besser verstanden zu haben und 14 von 38 Lernende geben an diesen Bereich besser zu verstehen, es aber noch Unklarheiten gibt. Wenig überraschend ist es, dass die Lernenden angaben, zusätzlich zu den Makroscaffolds auf der Website noch Mikroscaffolding durch die Lehrperson zu benötigen. Die Tippkarten und die Videoanleitungen helfen den Lernenden demnach bei der selbstständigen Bearbeitung, die Lernenden fühlen sich aber durch eine zusätzlich anwesende Lehrperson besser unterstützt. Unklarheiten und Schwierigkeiten, die die Lernenden vor allem mit Aufgabe 2, dem Concept Cartoon, und den offeneren Aufgaben 3 und 4 (Versuch auf Level 2 und Vorhersagen treffen) hatten, könnten durch Veränderungen des bereitgestellten Makroscaffoldings verhindert werden.

Im Folgenden sind Vorschläge zur Weiterentwicklung der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“, welche sich im Rahmen dieser Untersuchung herauskristallisiert haben, aufgelistet. Diese Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge werden anschließend im Detail weiter erläutert:

- Lange, umständlich formulierte Erklärungen von Überschriften, Aufgabenstellungen und Tippkarten vereinfachen
- Formatierung der Tippkarten leserfreundlicher gestalten
- Concept Cartoon in Aufgabe 1 integrieren, damit die Zuordnung der Aussagen der Figuren des Concept Cartoons klarer dieser Aufgabe zuzuordnen ist
- Die Aufgabe zur Bearbeitung des Concept Cartoons umbenennen, um die Aufgabenstellung klarer hervorzuheben
- Lernende diskutieren über die Aussagen des Concept Cartoons zunächst in Kleingruppen, anschließend werden die Aussagen im Plenum gemeinsam mit der Lehrperson diskutiert
- Untersuchungen auf Level 2 im Vorfeld der Unterrichtseinheit üben, damit die Lernenden mit dem Ablauf der eigenständigen Hypothesenfindung und Planung der Untersuchung vertraut sind
- Aufgabe 3: weitere gestufte Hilfen einbauen, um bei Bedarf ein Bearbeiten der Aufgabe auf Level 1 zu ermöglichen

- Aufgabe 3: vor der Durchführung der Untersuchung die Planungen der Untersuchungen im Plenum besprechen
- Mikroscaffolding nur dann anbieten, wenn Probleme oder Fragen nicht mit dem digital bereitgestellten Makroscaffolding beantwortbar sind. Dies ermöglicht eine selbstständigere Bearbeitung der Lernschachtel und eine individuellere Anpassung des Arbeitstempos
- Mehr als zwei Unterrichtsstunden für die Bearbeitung der gesamten Lernschachtel einplanen, um Zeitdruck zu verhindern und um neu erlernte Inhalte nachhaltiger erlernen zu können
- Zusatzmaterial für schnelle Gruppen bereitstellen
- Im Chemieunterricht nicht nur auf die Begriffe „Oxidation“ und „Reduktion“ als Elektronenübertragungsreaktion eingehen, sondern auch die Begriffe „oxidieren“, „reduzieren“, „edel“ und „unedel“ besprechen.
- Makroscaffolding konzipieren, welche die Verbindung der makro- und submikroskopischen Ebene fördert

Das Design der Tippkarten ist teilweise leserunfreundlich: die mittelbündige Schrift und die teilweise unterschiedlichen Zeilenabstände erschweren den Lesefluss und könnten für sprachensible Lernende eine Hürde darstellen. Ebenso sind manche Tippkarten, vor allem bei Aufgabe 3 und Aufgabe 4, oft überladen, da manche Erklärungen sehr lange formuliert sind. Es bietet sich für nachfolgende Evaluierungen an, diese Tippkarten leserfreundlicher zu gestalten und die Formulierungen zu vereinfachen oder lange Texte auf mehrere Tippkarten zu verteilen.

Die Lernenden hatten Probleme, den Concept Cartoon zu bearbeiten, da sie nicht wussten, was von ihnen verlangt wurde. Wie in Kapitel 10.1. beschrieben war dies das erste Mal, dass die Lernenden mit der Methode des Concept Cartoons in Berührung kamen. Es ist daher ratsam, diese Methode in anderen Chemiestunden mit den Klassen bereits durchgeführt zu haben. Es ist außerdem für die Lernenden schwierig über die Aussagen des Concept Cartoons in der Gruppe zu diskutieren, da ihnen teilweise wichtiges Hintergrundwissen für eine Diskussion fehlt. Für die Interpretation von Aufgabe 1 ist der Concept Cartoon allerdings maßgeblich. Es bietet sich für Lehrpersonen an, den Concept Cartoon gemeinsam mit den Lernenden im Plenum zu behandeln. Manche Überschriften und Aufgabenstellungen sind auf der Website [InquirySteps.com](http://InquirySteps.com) missverständlich und können zu Verwirrungen seitens der Lernenden führen, die diese Aufgaben bearbeiten. Beispielsweise ist Aufgabe 2, bei dem die Lernenden über die Aussagen der Figuren des Concept Cartoons diskutieren sollen, mit der Überschrift „Was stimmt bei den Aussagen nicht? – Wie kannst du begründen, was bei Aufgabe 1 passiert ist? Stelle die Aussagen richtig.“ (*INQUIRYSteps – Forschendes Lernen digital*, 2022). Um klarer hervorzuheben, was die eigentliche Aufgabenstellung bei der Bearbeitung des Concept Cartoons ist könnte die Überschrift der Aufgabe 2 wie folgt lauten: „Diskutiert über die Aussagen und formuliert eure Gedanken dazu. Formuliert die Aussagen neu.“. Die Aussage einer Figur des Concept Cartoons ist leserunfreundlich formuliert und könnte bei sprachsensiblen Lernenden zu Problemen führen: „Damit Rost entstehen kann, braucht der Werkstoff (hier Eisen) feuchte Luft und Zeit.“ (*INQUIRYSteps – Forschendes Lernen digital*, 2022). Stattdessen wäre eine einfachere Formulierung hilfreich (beispielsweise „Damit Eisen rosten kann, sind Wasser, Luft und Zeit nötig.“).

Ebenso schienen die Lernenden mit der Aufgabe 3, Forschendes Lernen auf Level 2 (selbstständige Planung einer Versuchsdurchführung zu einer vorgegebenen Fragestellung) überfordert zu sein. Die Tippkarten für die Versuchsdurchführung dürften den Lernenden nur mäßig weitergeholfen haben – sie waren offensichtlich vom Forschungsprozess überfordert. Eine mögliche Ursache könnte sein, dass die Tippkarte zur Versuchsplanung nicht ausreichend war und die Lernenden zu wenig Übung mit Forschendem Lernen auf Level 2 hatten, um mit dem bereitgestellten Scaffolding die Datenerhebung selbstständig zu planen. Im Falle dieser Untersuchung trifft dies zu. Die Lernenden, welche an der Untersuchung teilgenommen haben, hatten vor der Untersuchung erst eine Unterrichtseinheit, bei denen sie selbstständig einen Versuch planen mussten. Auch hier war starkes Mikroscaffolding nötig. Es ist daher ratsam, vor der fachlich komplexen Einheit „Elektrochemie – Einführung“ Forschendes Lernen auf Level 2 zu üben. Weiters wäre es anzudenken, für die Planung der Untersuchung weitere gestufte Hilfen in die Website einzubauen, die, sofern die Lernenden mit den zur Verfügung stehenden Tippkarten nicht weiterkommen, den Lernenden Anleitungen oder Interpretationsmöglichkeiten auf Level 1 geben. So könnte eine weitere Differenzierung, beispielsweise zwischen einer 7. Schulstufe und einer 8. Schulstufe, vorgenommen werden. Im Falle dieser Untersuchung war es zu beobachten, dass es unter den Lernenden ein Peer Mentoring gab, das heißt einige Lernende planten den Versuch und halfen ihren Peers mit der Planung. Im Zuge der Unterrichtsplanung könnte man auch hier andenken, diesen Diskurs mit den Lernenden fix einzuplanen.

Bei Aufgabe 3 (Forschendes Lernen auf Level 2) und bei Aufgabe 4 (Vorhersagen treffen) lassen sich einige Formulierungen der Überschriften, Fragestellungen oder Arbeitsanweisungen verbessern. Der Titel von Aufgabe 3 ist geschlossen formuliert („Kannst du die Metalle vom edelsten zum unedelsten ordnen?“)(*INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital*, 2022) und kann mit „Ja“ und „Nein“ beantwortet werden. Eine offenere Formulierung, zum Beispiel „Wie können diese Metalle vom edelsten Metall zum unedelsten Metall geordnet werden?“ lässt den Lernenden mehr Freiraum in der Beantwortung dieser Fragestellung. Ebenso sind die Arbeitsaufträge und Fragestellungen bei Aufgabe 4 so formuliert, dass man sie mit „Ja“ oder „Nein“ beantworten kann („Kannst du Vorhersagen treffen?“, „Kannst du eine Regelmäßigkeit erkennen?“). Diese sollte umformuliert werden, damit den Lernenden mehrere Bearbeitungs- und Beantwortungsmöglichkeiten offenbleiben, zum Beispiel „Welche Vorhersagen kannst du treffen?“.

Ein Beispiel für eine Formulierung, die zu Verwirrung führen könnte ist die Fragestellung zu Aufgabe 3: „Als Metalle hast du Kupfer, Silber, Zink und Eisen. Welches Metall ist das edelste? Welches Metall ist das unedelste? Wie würdest du die beiden anderen Metalle dazwischen einordnen?“ (*INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital*, 2022). Die alternative Formulierung könnte lauten: „In der Lernschachtel findest du die Metalle Kupfer, Silber, Zink und Eisen. Wie könnte man diese Metalle vom edelsten Metall zum unedelsten Metall ordnen?“. Bei Aufgabe 4 wird von einer „Kupfersalzlösung“ gesprochen, es sollte daher entweder auf der Website *Inquirysteps.com* explizit darauf hingewiesen werden, worum es sich bei einem Salz handelt oder im Unterricht von der Lehrperson thematisiert werden.

Es war zu beobachten, dass die Lernenden eher auf das digital bereitgestellte Makroscaffolding zugriffen, wenn durch die Lehrperson vermehrt auf die Tippkarte hingewiesen wurde. Die

Lernenden konnte durch das Makroscaffolding ihr Arbeitstempo individuell anpassen. Allerdings ergab sich dadurch das „Problem“, dass manche Gruppen nach den zwei Unterrichtseinheiten bereits mit der Bearbeitung aller vier Aufgaben fertig waren, während andere Gruppen noch nicht fertig waren. Es ist daher ratsam, mehr als zwei Unterrichtsstunden für die Bearbeitung der vier Aufgaben einzuräumen und eventuelles Zusatzmaterial für schnellere Gruppen bereitzustellen.

Es zeigte sich, dass die Lernendenvorstellung, die die Lernenden vor der Einheit zur Elektrochemie hatten, während des Arbeitens mit Inquirysteps.com eher zu fachlich angemessenen Konzepten verändert wurden. Die Beständigkeit der Lernendenvorstellungen zeigte sich allerdings in der Abschlussbefragung, wo auf makroskopischer Ebene die ursprünglichen Konzepte wieder als Erklärung herangezogen wurden. Auf submikroskopischer Ebene wurde das Konzept der Zementation verstanden und angenommen. Es zeigte sich, dass die Lernenden die makroskopische Ebene und die submikroskopische Ebene trennen. Es ist anzunehmen, dass das von Inquirysteps.com bereitgestellte Makroscaffolding zum Verstehen der chemischen Vorgänge auf der Teilchenebene beigetragen hat, da die Lernenden wortähnliche Formulierungen nutzen. Wie lange dieses neue Konzept auf submikroskopischer Ebene beständig ist und ob es nachhaltig erlernt wurde muss in weiteren Untersuchungen geklärt werden. Das in der Untersuchung häufig vorkommende Konzept, die fachlich nicht angemessene Verwendung der Begriffe „Oxidation“, „oxidieren“, „Reduktion“, „reduzieren“, „edel“ und „unedel“, ist ein klassische, durch den Unterricht erzeugtes Fehlkonzent. Im vorangegangenen Chemieunterricht wurde die Oxidation und die Reduktion als Reaktion eingeführt, bei denen Elektronen ausgetauscht wurden. Es hätte verstärkt auch auf die Verben „oxidieren“ und „reduzieren“ eingegangen werden müssen, damit diese Vorgänge von den Lernenden mit den Reaktionsbegriffen verknüpft werden können. Es war außerdem während der Unterrichtseinheit (eine Doppelstunde) nicht genügend Zeit, die neuen Begriffe „edel“ und „unedel“ korrekt und nachhaltig zu lernen. Daher wäre wiederum eine weitere Stunde oder eine weitere Doppelstunde vorteilhaft, in welcher Aufgabe 3 und Aufgabe 4 intensiver bearbeitet und erlernt werden können.

Die Lernenden der 7. Schulstufe befinden sich in einem Übergang zum formal-operationalen Stadium nach Piaget. Es zeigte sich in der Untersuchung auch, dass noch nicht alle Lernenden diese Entwicklung abgeschlossen haben und ihr Denken noch nicht völlig von der unmittelbaren Wahrnehmung trennen können. Die chemischen Vorgänge werden auf makroskopischer Ebene erklärt oder eine Mischform von makro- und submikroskopischer Ebene verwendet. Einige Lernende fühlten sich von der selbstständigen Planung des Versuchs und der verlangten Erklärung auf Teilchenebene überfordert, dennoch schafften rund 28% der Lernenden die Erklärung auf submikroskopischer Ebene. Damit der cognitive load für die Lernenden optimal bleibt bietet sich, vor allem für Aufgabe 3 und Aufgabe 4, die Entwicklung von weiterem Makroscaffolding an, welches die Verknüpfung von makro- und submikroskopischer Ebene erleichtert. Diese Untersuchung könnte in weiterführenden Klassenstufen durchgeführt werden, um die kognitive Entwicklung der Lernenden zu beobachten.

Mit dieser Masterarbeit wurde gezeigt, dass Lernende der 7. Schulstufe beim Forschenden Lernen gut mit digitalen Lernumgebungen wie Inquirysteps.com zurechtkommen und von digitalen Makroscaffolding profitieren. Auch komplexe Themengebiete wie die Elektrochemie können von den Lernenden zum Großteil selbstständig bearbeitet werden, jedoch mit der Notwendigkeit einer anwesenden unterstützenden Lehrkraft. Ursprüngliche Lernendenvorstellungen zur Elektrochemie können teilweise verändert werden, allerdings zeigen sich bestimmte unangemessene Konzepte besonders hartnäckig, wenn es um die Erklärung chemischer Vorgänge auf makroskopischer Ebene geht. Lernende der 7. Schulstufe schaffen es aufgrund ihres Alters noch nicht zur Gänze chemische Phänomene auf submikroskopischer Ebene zu erklären beziehungsweise die Vorgänge auf submikroskopischer Ebene mit den Beobachtungen auf makroskopischer Ebene zu verbinden. Jedoch könnte dies mit weiterer Differenzierung und weiterem Scaffolding auf der Plattform Inquirysteps.com geübt werden.

## Literaturverzeichnis

- Abels, S., Brauns, Sarah, & Egger, D. (2020). *Forschendes Lernen im inklusiven naturwissenschaftlichen Unterricht*. 17(50), 10–14.
- Abrams, E., Southerland, S., Silva, P., & Osborne, T. A. (2008). *Inquiry in the classroom: Reality and opportunities*. NC: IAP.
- Anderson, R. D. (2007). Inquiry as an Organizing Theme for Science Curricula. In *Handbook of Research on Science Education*. Routledge.
- Arnold, J., Kremer, K., & Mayer, J. (2017). Scaffolding beim Forschenden Lernen: Eine empirische Untersuchung zur Wirkung von Lernunterstützungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 21–37. <https://doi.org/10.1007/s40573-016-0053-0>
- Atkins, P. W., & de Paula, J. (2013). *Physikalische Chemie* (5. Aufl.). Wiley.
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Springer.
- Barke, H.-D. (2018). *Chemiedidaktik kompakt: Lernprozesse in Theorie und Praxis* (3. Aufl. 2018.). Springer Berlin Heidelberg Imprint: Springer Spektrum. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-56492-9>
- Begemann, E. (1998). *Piaget, Normal-Entwicklung, individuelle Erfahrung—Überlegungen und Bilanzierungen für (Sonder-)Schulen und Pädagogen*. Universität Innsbruck. <http://bidok.uibk.ac.at/library/beh3-98-begemann-piaget.html#idm52>
- Binnewies, M., Jäckel, M., Willner, H., & Rayner-Canham, G. (2006). *Allgemeine und Anorganische Chemie*. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg.
- Blanchard, M. A., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). *Is inquiry possible in light of accountability*. 4(Vol. 94), p.577-616. <https://doi.org/10.1002/sce.20390>
- Brauer, H., Balster, S., & Wilde, M. (2014). Lehr- und Lernvorstellungen künftig Lehrender zum Lernen von Schülerinnen und Schülern im Fach Biologie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20(1), 191–200. <https://doi.org/10.1007/s40573-014-0019-z>
- Brown, T. L., LeMay, H. E., & Bursten, B. E. (2011). *Chemie—Studieren kompakt* (10. Auflage). Pearson Deutschland GmbH.
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (Hrsg.). (2000). *Lehrplan der AHS Unterstufe Chemie*. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568>
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung. (2022). *Lehrplan—Digitale Grundbildung*.

[https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA\\_2022\\_II\\_267/BGBLA\\_2022\\_II\\_267.pdf](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2022_II_267/BGBLA_2022_II_267.pdf)

Burger, N. (2000). *Vorstellungen von Schülern über Elektrochemie—Eine Interviewstudie* [Dissertation]. Universität Dortmund, Fachbereich Chemie.

Bybee, R. (2015). *The BSCS 5E Instructional Model*. National Science Teacher Association.

Colburn, A. (2000). An inquiry primer. *Science scope*, 23(6), 42–44.

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223–238.  
<https://doi.org/10.25656/01:11173>

Demuth, R., Gräsel, C., & Parchmann, I. (2008). *Chemie im Kontext—Von der Innovation zur nachhaltigen Verbreitung eines Unterrichtskonzepts* (B. Ralle, Hrsg.). Waxmann Verlag GmbH.

Dewey, J. (1938). *Logic The Theory Of Inquiry*. Henry Holt and Company.  
<http://archive.org/details/JohnDeweyLogicTheTheoryOfInquiry>

Duit, R., & Treagust, D. (1998). *Learning in Science—From Behaviourism Towards Social Constructivism and Beyond* (S. 3–25). [https://doi.org/10.1007/978-94-011-4940-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-011-4940-2_1)

Felder-Puig, R., Quehenberger, V., & Teufl, L. (2020). *Nutzung von Smartphones und sozialen Medien durch österreichischen Schülerinnen und Schüler* (S. 10) [HBSC Factsheet 03: Ergebnisse der HBSC Studie 2018]. Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz. [https://www.sozialministerium.at/dam/jcr:d7c436f5-c509-4e7c-84b0-d2cea0b24106/HBSC\\_2018\\_FS\\_03\\_-\\_Smartphone\\_\\_\\_soziale\\_Medien\\_NEUpdf.pdf](https://www.sozialministerium.at/dam/jcr:d7c436f5-c509-4e7c-84b0-d2cea0b24106/HBSC_2018_FS_03_-_Smartphone___soziale_Medien_NEUpdf.pdf).

Goerigk, C., & Schmithüsen, F. (2019). Entwicklungspsychologie I. In C. Goerigk & F. Schmithüsen (Hrsg.), *Der Psycho-Comic: Die Klassiker der Psychologie* (S. 129–134). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-662-59072-0\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-662-59072-0_15)

Groß, O. (2007). *Abscheidung von Nickel und anderen Schwermetallen bei der Reinigung von Zinksulfatlösungen durch Zementation mit Zinkstaub* [Technische Hochschule Aachen].  
[https://publications.rwth-aachen.de/record/61744/files/Gross\\_Oliver.pdf](https://publications.rwth-aachen.de/record/61744/files/Gross_Oliver.pdf)

Grube, C. R. (2010). *Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung—Untersuchung der Struktur und Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I*. Universität Kassel.

Gutmann, V., & Hengge, E. (1971). *Allgemeine und anorganische Chemie*. Verlag Chemie GmbH.

Hähndel, J. (1991). Die Oxidation und Reduktion im Anfangsunterricht Chemie. Eine Auseinandersetzung mit den bisherigen Erfahrungen. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, 2 (39)(8), 4–13.

Haim, K. (2011). Unterrichten Sie noch oder kompetenzieren Sie schon? - Mit Nano Life Acts zu gesteigerter Abstraktionsfähigkeit. *Chemie & Schule*, 26(3), 7–11.

- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), 509–534. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199609\)80:5<509::AID-SCE2>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199609)80:5<509::AID-SCE2>3.0.CO;2-F)
- Heinen, R., & Kerres, M. (2015). Individuelle Förderung mit digitalen Medien, Handlungsfelder für die systematische, lernförderliche Integration digitaler Medien in Schule und Unterricht. In *Individuell Fördern mit digitalen Medien—Chancen, Risiken, Erfolgsfaktoren* (S. 58). Bertelsmann Stiftung.
- Hofer, E. (2020). *Scaffolding im Rahmen von Inquiry-based Learning. Unterstützung der Lernenden auf ihrem Weg zur Erkenntnisgewinnung*. 17(50), 15–19.
- Hofer, E., Abels, S., & Lembens, A. (2016). Forschendes Lernen und das 5E-Modell – ein kurzer Überblick. *Plus Lucis*, 4.
- Holleman, A. F. (2016). *Anorganische Chemie, Band 2; Nebengruppenelemente, Lanthanoide, Actinoide, Transactinoide: Bd. Band 2* (103. Aufl.). Walter De Gruyter & Co. <https://doi.org/10.1515/9783110495904>
- Hu, S.-X. (2018). Über Oxidationszahl-Obergrenzen in der Chemie. *Angewandte Chemie*, 130(12), 3297–3300. <https://doi.org/10.1002/ange.201711450>
- INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital*. (2022). <https://inquirysteps.com/>
- Institut des Bundes für Qualitätssicherung im österreichischen Schulwesen. (2011). *Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe*. IQS. [https://www.iqs.gv.at/\\_Resources/Persistent/6d457e620e0980fe3011494fe357f68c43ab6b9a/bist\\_nawi\\_kompetenzmodell-8\\_2011-10-21.pdf](https://www.iqs.gv.at/_Resources/Persistent/6d457e620e0980fe3011494fe357f68c43ab6b9a/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf)
- Jansen, W., Peper, R., & Fickenfrerichs, H. (1991). Die Redoxreihe der Metalle. *Naturwissenschaften im Unterricht / Chemie*, 39(8), 14–20.
- Kern, G. G., Koliander, B., & Lembens, A. (2017). *Wissen und Können erwerben, anwenden und sichtbar machen—Kompetenzmodelle in den naturwissenschaftlichen Fächern*. 20(1), 19–23.
- Kirschner, P., Sweller, J., & Clark, R. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1)
- Koliander, B. (2020). *Mit Forschendem Lernen Erkenntnisse gewinnen*. 17(20), 2–5.
- Koliander, B., Puddu, S., Spitzer, P., & Jure, P. (2019). Entwicklung einer inklusiven, digitalen Lernumgebung für Forschendes Lernen. *R&E Source Open Online Journal for Research and Education*, 8.
- Koliander, B., & Steininger, R. (2018). *Forschendes Lernen auf Level 2: Schülerinnen und Schüler planen selbstständig die Durchführung von Versuchen*. 2018/1(33), 11–12.

- Latscha, H. P., Klein, H. A., & Mutz, M. (2011). *Allgemeine Chemie: Chemie-Basiswissen I*. Springer Berlin / Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17523-7>
- Lodermeyer, J. (2006). *Elektrochemische Abscheidung von Metallen und Legierungen aus nichtwässrigen Systemen und Aktivierung von passivierten Metalloberflächen zur Abscheidung nanoporöser Schichten aus wässrigen Lösungen* [Universität Regensburg]. <https://epub.uni-regensburg.de/10502/1/Dissertation.pdf>
- Lüke, D., Quarthal, D., & Oetken, M. (2021). Was machen die Ionen in einem Elektrolyten? – Der Leitfähigkeit im Experiment auf der Spur. *Chemkon*, 28(1), 35–39. <https://doi.org/10.1002/ckon.202000038>
- Mahron, A. (1999). *Falschvorstellungen von Schülern in der Elektrochemie—Eine empirische Untersuchung* [Dissertation, Universität Dortmund, Fachbereich Chemie]. <https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/2464/2/Marohnunt.pdf>
- Mahron, A. (2008). Ionenbildung durch Strom. *Chemkon*, 15(2), 75–87. <https://doi.org/10.1002/ckon.200810073>
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse* (12. Aufl.). Beltz. <https://content-select-com.uaccess.univie.ac.at/de/portal/media/view/552557d1-12fc-4367-a17f-4cc3b0dd2d03?forceauth=1>
- Mortimer, C. E. (2020). *Chemie: Das Basiswissen der Chemie*. Georg Thieme Verlag. <https://doi.org/10.1055/b-006-163279>
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191. <https://doi.org/10.1021/ed069p191>
- Reiners, C. (2017). Wissensvermittlung als Bildungsauftrag. In *Chemie vermitteln—Fachdidaktische Grundlagen und Implikationen* (S. 21–32). Springer-Verlag. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-52647-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-52647-7_2)
- Reiners, C., & Saborowski, J. (2017). Wissensvermittlung durch Transformation. In C. Reiners (Hrsg.), *Chemie vermitteln—Fachdidaktische Grundlagen und Implikationen* (S. 33–90). Springer-Verlag. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-52647-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-662-52647-7_3)
- Reitinger, J. (2013). *Forschendes Lernen: Theorie, Evaluation und Praxis in naturwissenschaftlichen Lernarrangements* (Bd. 12). Prolog-Verlag Immenhausen.
- Riedel, E., & Meyer, J. (2019). *Allgemeine und anorganische Chemie* (12. Auflage). Walter De Gruyter GmbH.
- Rohrbach-Lochner, F. (2017). *Lernen in Naturwissenschaften: Verstehen und entwickeln Band 3: Design-Based Research zur Weiterentwicklung der chemiedidaktischen Lehrerausbildung zu Schülervorstellungen* (A. Mahron, Hrsg.). Logos Verlag.

- Schaumburg, H. (2015). Chancen und Risiken digitaler Medien in der Schule. Medienpädagogische und -didaktische Perspektiven. In *Individuell Fördern mit digitalen Medien—Chancen, Risiken, Erfolgsfaktoren* (S. 338). Bertelsmann Stiftung.
- Stein, M. (2016). *Ergänzung eines bestehenden Erhebungsinstruments zum Umgang von Lehrkräften mit „Fehlvorstellungen“ von Schülern* (Publikation Nr. 25; Studium und Forschung, S. 107). Zentrum für Lehrerbildung - Universität Kassel. <https://kobra.uni-kassel.de/bitstream/handle/123456789/2016022349904/SteinErhebungsinstrument.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Streller, S., Bolte, C., Dietz, D., & Notto Da Liega, R. (2019). *Chemiedidaktik an Fallbeispielen*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58645-7>
- Sumfleth, E., Stachelscheid, K., & Todtenhaupt, S. (1991). Redoxreaktionen in der Sekundarstufe I - Sauerstoffübertragung und/oder Elektronenübertragung? *Naturwissenschaften im Unterricht / Chemie*, 39(8), 3.
- Sweller, J. (2011). Cognitive Load Theory. In J. P. Mestre & B. H. Ross (Hrsg.), *Psychology of Learning and Motivation* (Bd. 55, S. 37–76). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387691-1.00002-8>
- Taber, K. (2002). *Chemical misconceptions: Prevention, diagnosis and cure : 1 : Theory*. Royal Society of Chemistry. [https://usearch.uaccess.univie.ac.at/primo-explore/fulldisplay/UWI\\_alma71333796140003332/UWI](https://usearch.uaccess.univie.ac.at/primo-explore/fulldisplay/UWI_alma71333796140003332/UWI)
- Taber, K. S., Tsaparlis, G., & Nakiboğlu, C. (2012). Student Conceptions of Ionic Bonding: Patterns of thinking across three European contexts. *International Journal of Science Education*, 34(18), 2843–2873. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.656150>
- White, B., & Frederiksen, J. (1998). Inquiry, Modeling, and Metacognition: Making Science Accessible to All Students. *Cognition and Instruction - COGNITION INSTRUCT*, 16, 3–118. [https://doi.org/10.1207/s1532690xci1601\\_2](https://doi.org/10.1207/s1532690xci1601_2)
- Wu, H.-L., & Pedersen, S. (2011). Integrating computer- and teacher-based scaffolds in science inquiry. *Computers and education*, 57(4), 2352–2363. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.05.011>
- Wulf, C., Haberstroh, S., & Petersen, M. (Hrsg.). (2020). *Forschendes Lernen: Theorie, Empirie, Praxis*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-31489-7>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Level des Forschenden Lernen anhand der Offenheit der Aufgabestellung – Eigene Darstellung nach Abrams, Blanchard und Colburn (Abrams et al., 2008; Blanchard et al., 2010; Colburn, 2000) .....	14
Abbildung 2: Eigene Darstellung des Inquiry Cycle nach White und Frederiksen (White & Frederiksen, 1998).....	19
Abbildung 3: Forschungsnetz (Koliander & Steininger, 2018) .....	21
Abbildung 4: Kopplung der Redoxreaktion. Eigene Darstellung nach Latscha (Latscha et al., 2011).....	34
Abbildung 5: Ausschnitt der Redoxreihe, eigene Darstellung nach Riedel & Meyer (Riedel & Meyer, 2019). Reaktionspartner, die in reduzierter Form vorliegen reagieren mit Reaktionspartnern, die in oxidiert Form und in der Reihe darunter liegen, also edler sind – gekennzeichnet durch den roten Pfeil. ....	35
Abbildung 6: Ausschnitt aus der elektrochemischen Spannungsreihe. Eigene Darstellung nach Riedel & Meyer sowie Latscha (Latscha et al., 2011; Riedel & Meyer, 2019) .....	38
Abbildung 7: Die häufigsten Oxidationszahlen ausgewählter Elemente. Eigene Darstellung nach Latscha, 2011 (Latscha et al., 2011).....	39
Abbildung 8: Ausschnitt aus der elektrochemischen Spannungsreihe. Eigene Darstellung nach Riedel & Meyer (Riedel & Meyer, 2019) .....	41
Abbildung 9: Aufbau eines Daniell-Elements (Riedel & Meyer, 2019).....	43
Abbildung 10: Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe (Institut des Bundes für Qualitätssicherung im österreichischen Schulwesen, 2011) .....	54
Abbildung 11: Johnstone-Dreieck mit Beispielen aus der Elektrochemie. Eigene Darstellung nach Reiners (Reiners, 2017).....	57
Abbildung 12: kognitive Entwicklungsstadien nach Piaget (Goerigk & Schmithüsen, 2019) .....	58
Abbildung 13: Materialien und Chemikalien (eigene Darstellung) inklusive der zugehörigen Gefahrenpiktogramme ( <a href="https://www.reach-compliance.ch/ghsclp/neuegefahrenpiktogramme/">https://www.reach-compliance.ch/ghsclp/neuegefahrenpiktogramme/</a> Zugriff: 26.05.2022) der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ .....	61
Abbildung 14: Materialliste Aufgabe 1 der Lernschachtel „Elektrochemie –Einführung“ (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022).....	62
Abbildung 15: Concept Cartoon in Aufgabe 2 der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“(INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022).....	64
Abbildung 16: Reaktionsgleichung der Redoxreaktion zwischen Kupferionen und Eisenatomen aus Aufgabe 2: Lösung Teil 2 der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022).....	65
Abbildung 17: Multiple Choice Frage aus Aufgabe 2: Lösung Teil 2 der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ mit korrekt angekreuzten Antwortmöglichkeiten (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022).....	66

Abbildung 18: Materialien zu Aufgabe 3 der Lernschachtel „Elektrochemie –Einführung“ (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022).....	68
Abbildung 19: Tippkarte zur Definition edler und unedler Metalle in Aufgabe 3 der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, 2022) ( <a href="https://inquirysteps.com/elektrochemie-aufgabe-3/">https://inquirysteps.com/elektrochemie-aufgabe-3/</a> Zugriff: 26.05.2022).....	69
Abbildung 20: Tippkarte zur Planung der Untersuchung in Aufgabe 3 der Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022).....	70
Abbildung 21: Selbstüberprüfung der Reihung der vier Metalle von unedelstem Metall nach edelstem Metall – die grüne Farbe zeigt an, dass die Reihung korrekt ist (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022).....	70
Abbildung 22: Selbstüberprüfung – Freiwilligkeit der Reaktionen von Metallen aus der Spannungsreihe (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022) .....	73
Abbildung 23: Selbstüberprüfung – Freiwilligkeit der Reaktionen von Metallen aus der Spannungsreihe (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022) .....	73
Abbildung 24: Tippkarte – Hilfestellung zur Identifikation von freiwillig ablaufenden Redoxreaktionen ( <a href="https://inquirysteps.com/aufgabe-4-vorhersagen-machen/">https://inquirysteps.com/aufgabe-4-vorhersagen-machen/</a> Zugriff: 26.05.2022) .....	74
Abbildung 25: Selbstüberprüfung: Zuordnung der gezeigten Reaktionen nach „Hier findet eine Reaktion statt“ oder „Hier findet KEINE Reaktion statt“ (INQUIRYsteps – Forschendes Lernen digital, o. J., Zugriff: 26.05.2022) .....	75
Abbildung 26: Grafische Darstellung der Häufigkeiten der Hauptkategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse der Antworten der Lernenden auf Basis des Fragebogens zur Erhebung der Lernendenvorstellungen (Eisendraht in Kupfersulfatlösung). Eigene Darstellung .....	88
Abbildung 27: Grafische Darstellung der Häufigkeiten der Überkategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse der Lernendenaussagen zu den Aussagen des Concept Cartoons (Aufgabe 2) - Unterkategorien. Eigene Darstellung .....	91
Abbildung 28: Grafische Darstellung der Häufigkeiten der Überkategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse der Lernendenaussagen zu den Aussagen des Concept Cartoons (Aufgabe 2) - Überkategorien. Eigene Darstellung .....	92
Abbildung 29: Grafische Darstellung der Häufigkeiten der Unterkategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse der Lernendenaussagen auf makro- oder submikroskopischer Ebene (Aufgabe 2 und 3). Eigene Darstellung.....	95
Abbildung 30: Grafische Darstellung der Häufigkeiten der Überkategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse der Lernendenaussagen auf makro- oder submikroskopischer Ebene (Aufgabe 2 und 3). Eigene Darstellung.....	96
Abbildung 31: Anzahl der Nennungen zu Frage 1 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung .....	101
Abbildung 32: Anzahl der Antworten der Lernenden auf Frage 2 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung .....	102

Abbildung 33: Anzahl der Antworten der Lernenden auf Frage 3 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung .....	102
Abbildung 34: Anzahl der Antworten der Lernenden auf Frage 4 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung .....	103
Abbildung 35: Anzahl der Antworten der Lernenden auf Frage 5 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung .....	103
Abbildung 36: Anzahl der Antworten der Lernenden auf Frage 6 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung .....	104
Abbildung 37: Anzahl der Antworten der Lernenden auf Frage 7 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung .....	104
Abbildung 38: Anzahl der Antworten der Lernenden auf Frage 8 der Abschlussbefragung. Eigene Darstellung .....	105
Abbildung 39: Anzahl der Antworten der Lernenden bei der Abschlussbefragung (Erklärung des Zementationsversuchs auf Phänomenebene). Eigene Darstellung.....	107
Abbildung 40: Anzahl der Antworten der Lernenden bei der Abschlussbefragung (Erklärung des Zementationsversuchs auf Teilchenebene). Eigene Darstellung.....	107
Abbildung 41: Antworten der Lernenden in der Abschlussbefragung (Vorhersagen treffen): Sinnvolle Verwendung der Begriffe edel/unedel sowie sinnvolle Vorhersage treffen. Eigene Darstellung .....	109

## Anhang

### Planungsraaster zum Unterrichtsverlauf

#### Unterrichtseinheit zum Forschenden Lernen

- **Thema:** „Elektrochemie – Einführung“
- **Material:** Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“, digitales Endgerät (in Klassenstärke, Privatgeräte der Lernenden), Protokollvorlage
- **Datum:** 18.02.2022 (22.02.2022; 25.02.2022; 08.03.2022)
- **Dauer:** 100 Minuten (14:05 – 15:54)
- **Anzahl der Lernenden:** maximal 14
- **Gruppengröße:** 2-3 Personen (maximal 7 Gruppen)

Zeit	Handlung	Material	Sozialform	Lehrziel
14:05 – 14:15	<ul style="list-style-type: none"><li>- Begrüßung des Themas, welches praktisch bearbeitet wird</li><li>- Gruppeneinteilung (selbstständig)</li><li>- Austeilen der Lernschachteln und der Protokollvorlage (eine Schachtel und eine Protokollvorlage pro Gruppe)</li><li>- Einschalten der Smartphones/Laptops (von Lernenden) und Einsteigen auf <a href="https://inquirysteps.com/lernschachtel-elektrochemie-einfuehrung/">https://inquirysteps.com/lernschachtel-elektrochemie-einfuehrung/</a> Zugriff: 26.05.2022</li><li>- Lehrperson gibt kurze Übersicht über die zu bearbeitenden Aufgaben sowie die Bedienung der Seite Inquirysteps.com</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Lernschachtel vom AECC – Chemie (Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“), Protokollvorlage zur Lernschachtel „Elektrochemie – Einführung“ in Papierform</li><li>- Digitales Endgerät (eines pro Gruppe)</li><li>- Inquirysteps.com</li></ul>	Vortrag	/

14:15 – 14:25	<p>Bearbeitung der Aufgabe 1 „Welches Metall kannst du oxidieren“ nach den Anweisungen auf <a href="http://Inquirysteps.com">Inquirysteps.com</a></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Lernenden stellen in der Vertiefung der Multititerplatte eine Kupfersulfatlösung her, in welche ein Eisendraht gehalten wird, sowie eine Eisensulfatlösung in die ein Kupferdraht gehalten wird.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material aus der Lernschachtel für Aufgabe 1</li> <li>- Protokollvorlage in Papierform</li> <li>- Digitales Endgerät</li> <li>- <a href="http://Inquirysteps.com">Inquirysteps.com</a></li> </ul>	<p>Gruppenarbeit</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Lernenden können einen vorgegebenen Versuch zum Thema Redoxreaktionen auf Level 1 eines Arrangements für Forschendes Lernen mit Hilfe der Anleitungen auf der Plattform <a href="http://Inquirysteps.com">Inquirysteps.com</a> durchführen.</li> </ul>
14:25 – 14:35	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protokollierung der Beobachtung von Aufgabe 1 „Welches Metall kannst du oxidieren?“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protokollvorlage in Papierform</li> <li>- Digitales Endgerät</li> <li>- <a href="http://Inquirysteps.com">Inquirysteps.com</a></li> </ul>	<p>Gruppenarbeit</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Lernenden können zu einem vorgegebenen, angeleiteten Versuch zu einer Redoxreaktion (Eisensulfat und Kupfer sowie Kupfersulfat und Eisen) auf Level 1 eines Arrangements für Forschendes Lernen Beobachtungen anstellen und diese schriftlich in einer Protokollvorlage festhalten.</li> </ul>
14:35 – 14:45	<p>Bearbeitung der Concept Cartoons der Aufgabe 2 „Was stimmt bei den Aussagen nicht?“:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aussagen des Concept Cartoons werden richtiggestellt und in der Protokollvorlage verschriftlicht.</li> <li>- Eine vierte eigene Aussage wird von den Lernenden erstellt und schriftlich im Protokoll festgehalten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protokollvorlage in Papierform</li> <li>- Digitales Endgerät</li> <li>- <a href="http://Inquirysteps.com">Inquirysteps.com</a></li> </ul>	<p>Gruppenarbeit  Diskussion</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Lernenden können zu vorgegebenen, konkurrierenden Erklärungsmodellen (zwei bekannte Lernendenvorstellungen zum Zementationsversuch von einem Eisendraht in Kupfersulfatlösung und eine falsche Aussage auf der Teilchenebene zu diesem Versuch), welche den Versuch zu Redoxreaktionen auf Level 1 zu erklären versuchen, sowohl mündlich als auch schriftlich in ihrer Protokollvorlage Stellung beziehen.</li> <li>- Die Lernenden können zu ihren Beobachtungen aus Versuch 1 zu Redoxreaktion auf Level 1 (Oxidation von Eisen mit einer Kupfersulfatlösung) ein für sie schlüssiges chemisches Erklärungsmodell aufstellen und dieses im Protokoll schriftlich festhalten.</li> </ul>

14:45 – 14:50	Bearbeitung der Aufgabe 2 „Lösung–Teil 2“: - Übertragung der Redoxreaktionen in die Protokollvorlage - Bearbeitung des Multiple-Choice-Quiz zur Wissensüberprüfung	- Protokollvorlage in Papierform - Digitales Endgerät - Inquirysteps.com	Gruppenarbeit oder Einzelarbeit	- Die Lernenden können eine Redoxreaktion schriftlich transferieren. - Die Lernenden können anhand der Redoxreaktion ablesen, welcher Reaktionspartner oxidiert und welcher reduziert wird. - Die Lernenden können ihr erworbenes Wissen in Form einer Wissensüberprüfung anwenden.
14:50 – 15:00	Bearbeitung der Aufgabe 3: - Planung in der Gruppe: Versuch, bei dem überprüft werden kann wie sich die Metalle Silber, Kupfer, Eisen und Zink von edel nach unedel ordnen lässt und verschriftlichen die Planung in der Protokollvorlage - Überblicksmäßige Kontrolle der Versuchsplanung durch die Lehrperson	- Protokollvorlage in Papierform - Digitales Endgerät - Inquirysteps.com	Gruppenarbeit  (Plenum)	- Die Lernenden können in einem Arrangement für Forschendes Lernen auf Level 2 zu einer vorgegebenen Fragestellung zum Thema Elektrochemie (Spannungsreihe der Metalle – Ordnung von edel nach unedel) selbstständig Untersuchungen planen.
15:00 – 15:15	- Durchführung der selbstgeplanten Untersuchung - Übersichtliche Protokollierung der Beobachtung - Reihung der Metalle Silber, Kupfer, Eisen und Zink von edelstem Metall nach unedelstem Metall anhand der beobachteten Reaktionen – sowohl digital auf Inquirysteps.com als auch schriftlich in der Protokollvorlage	- Material aus der Lernschachtel für Aufgabe 3 - Protokollvorlage in Papierform - Digitales Endgerät - Inquirysteps.com	Gruppenarbeit	- Die Lernenden können die Beobachtungen, die sie während des selbstgeplanten Versuchs auf Level 2 zur Zementation von vier Metallen (Silber, Kupfer, Eisen, Zink) anstellen, verschriftlichen und übersichtlich in ihrer Protokollvorlage darstellen. - Die Lernenden können anhand des selbstgeplanten Versuchs auf Level 2 und mit den auf der Webseite Inquirysteps.com zur Verfügung gestellten Tippkarten die Metalle Silber, Kupfer, Eisen und Zink vom edelsten zum unedelsten Metall ordnen.

15:15 – 15:30	<p>Bearbeitung der Aufgabe 4 „Vorhersagen machen“:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analysieren und Lesen der Spannungsreihe und der Tippkarten</li> <li>- Beantworten der Single-Choice Fragen auf Inquirysteps.com, zur Freiwilligkeit einer Reaktion (<a href="https://inquirysteps.com/aufgabe-4-vorhersagen-machen/">https://inquirysteps.com/aufgabe-4-vorhersagen-machen/</a>)</li> <li>- Zuordnung der auf der Website gezeigten Redoxreaktionen zu „Reagiert“ oder „Reagiert nicht“ – gleichzeitiges Ankreuzen in der Protokollvorlage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protokollvorlage in Papierform</li> <li>- Digitales Endgerät</li> <li>- Inquirysteps.com</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Lernenden können zu ihren Beobachtungen zur Spannungsreihe der Metalle ein für sie schlüssiges chemisches Erklärungsmodell aufstellen und dieses in ihrer Protokollvorlage verschriftlichen</li> </ul>
15:30 – 15:45	Putzen der verwendeten Utensilien	Materialien der Lernschachtel	Gruppenarbeit Plenum	/

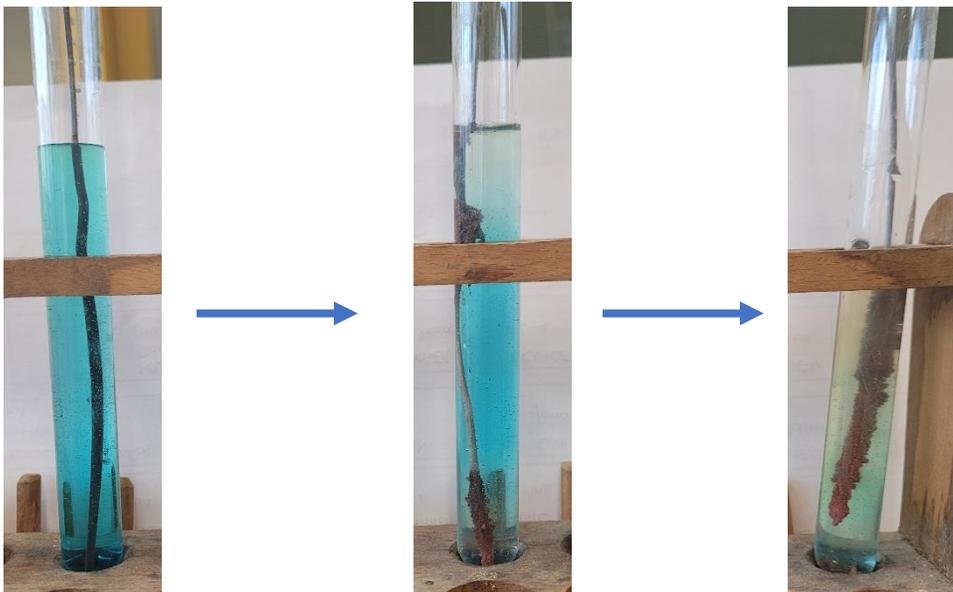
## Befragung für eine Masterarbeit „Was glaubst du?“

Dieser Fragebogen ist anonym. Die Ergebnisse dieses Fragebogens werden nur für die Erstellung einer Masterarbeit verwendet und werden nicht veröffentlicht oder benotet. Du hilfst mit einer genauen Antwort bei der Erforschung von Chemieunterricht.

Befülle die rechten Kästchen – dies ist dein Identifizierungscode

Erster Buchstabe des Vornamens deiner Mutter:	
Zweiter Buchstabe deines Vornamens:	
Einerstelle deines Geburtstags (TT.MM.JJJJ) → Beispiel: Geburtstag am 03.05.2005 → 3	
Erster Buchstabe der Straße, wo du (am häufigsten) wohnst	
Letzter Buchstabe deines Nachnamens	

**Das beobachtete Phänomen:** Im Unterricht wurde folgender Versuch durchgeführt: Ein Eisendraht wird in eine Kupfersulfatlösung ( $\text{CuSO}_4$ -Lösung) getaucht. Nach einiger Zeit befindet sich auf dem Eisendraht ein rötlicher Überzug. Die blaue Farbe der Lösung hat sich geändert.



Bildquelle: eigene Aufnahme

134 Eisendraht unmittelbar nach  
Eintauchen in die  
Kupfersulfat-Lösung

Nach 2 Stunden

Nach 4 Stunden

**Was ist hier deiner Meinung nach passiert? Schreibe einen Text, der dieses Phänomen erklärt.  
Zusätzlich kannst du auch Skizzen anfertigen.  
Schreibe bitte so ausführlich wie dir möglich ist.**

## Lernsachtel zur Elektrochemie

Öffnet zu Beginn die Internetseite [www.inquirysteps.com](http://www.inquirysteps.com) auf und klickt auf die Lernsachtel „Elektrochemie“.

Führt die Versuche aus, so wie sie auf InquirySTEPS.com „Lernsachtel Elektrochemie“ beschrieben werden. Schreibe dazu ganz genau deine Beobachtungen sowie deine Erklärung der chemischen Vorgänge auf. Bearbeite auch die Zusatzaufgaben.

### Aufgabe 1 und 2:

Fragestellung (Was möchtest du herausfinden?):

---

Folgt den Anweisungen auf der Seite InquirySTEPS.com

- Richtet alle Materialien her und führt den Versuch wie beschrieben durch.
- Füllt die Protokollvorlage aus:

a) **Beobachtung:** Notiere **WAS DU SEHEN KONNTEST** so genau wie möglich im Kästchen.  
*Solltet ihr Hilfe benötigen, wie du deine Beobachtungen beschreiben kannst, nutze das Hilfekärtchen auf InquirySTEPS.com.*

b) **Begründung:** Wie könnt ihr begründen, was bei Aufgabe 1 passiert ist?  
 Lest euch dazu jede Aussage genau durch und bezieht zu jeder Aussage Stellung. Notiert euch in der Sprechblase eine vierte, richtiggestellte Aussage.



Bildquelle: [www.inquirysteps.com](http://www.inquirysteps.com)

**Stellungnahme zu den Aussagen:** Stellt die Aussagen richtig oder notiert euch eure Gedanken dazu. Diskutiert in der Gruppe. *Solltet ihr Hilfe benötigen nutzt die Tippkarten auf [InquirySTEPS.com](http://InquirySTEPS.com).*

- „Magnetisches Eisen zieht Kupferionen aus der Lösung“

---

- „Der Eisendraht hat sich rotbraun verfärbt, dabei muss es sich um Rost handeln.“

---

- „Es werden jeweils 2 Elektronen von den Eisenionen an die Kupferatome abgegeben.“

---

- **Eure Aussage:**

---

**c) Stellt die Reaktionsgleichung auf:** *Solltet ihr Hilfe benötigen, gibt es auf der Seite [InquirySTEPS.com](http://InquirySTEPS.com) Hilfestellungen.*

*Formuliere zuerst die Gleichung der Oxidation, dann der Reduktion.*

*Im Anschluss kannst du die Gleichung der gesamten Redoxreaktion aufschreiben.*

- **Oxidation:**

- **Reduktion:**

- **Gesamtgleichung:**

**d) Überprüfungsaufgabe:**

**Kreuzt die angemessenen Antworten an, so wie ihr es auf der Internetseite angekreuzt habt (es sind mehrere Antworten richtig):**

- Kupferatome nehmen 2 Elektronen auf und werden zu Kupferionen reduziert.
- Die Eisenatome geben 2 Elektronen ab und werden zu Eisenionen oxidiert.
- Das Kupfer kann oxidiert werden.
- Die Kupferionen nehmen 2 Elektronen auf und werden zu Kupferatomen reduziert.
- Die Eisenatome geben 2 Elektronen ab und werden zu Eisenionen reduziert.
- Das Eisen kann oxidiert werden.

**Aufgabe 3: Ordnet die Metalle vom edelsten zum unedelsten**

- Folgt den Anweisungen auf der Seite InquirySTEPS.com
- Richtet alle Materialien her und führt den Versuch wie beschrieben durch.
- Füllt die Protokollvorlage aus:

*„Als Metalle hast du Kupfer, Silber, Zink und Eisen. Welches Metall ist das edelste? Welches Metall ist das unedelste? Wie würdest du die beiden anderen Metalle dazwischen einordnen? Notiere deine Vermutung in deinem Protokoll.“ (www.inquirysteps.com)“*

**a) Fragestellung:**

Welches der zur Verfügung stehenden Metalle ist das edelste, welches das unedelste?  
Wie sind die Metalle dazwischen einzuordnen?

*Wenn ihr euch nicht mehr erinnern könnt, was „edel“ und „unedel“ bedeutet nimm die Tippkarte zur Hilfe*

**Formuliere hier deine Vermutungen**

*Meine Vermutung ist, ...*

**b) Planung des Versuchs:**

Überlegt euch, wie ihr die Reihenfolge der Metalle systematisch bestimmen könnt. Notiert euch hier, wie ihr den Versuch durchführen wollt:

*Wenn ihr euch mit der Planung unsicher seid nutzt die Tippkarte auf der Seite [InquirySTEPS.com](http://InquirySTEPS.com)*

**c) Notiert eure Beobachtungen. Verwendet dazu eine übersichtliche Darstellung**

**d) Erklärung:**

Erklärt eure Beobachtungen auf der Ebene der Atome und Ionen. Welche Reaktion hat auf Ebene der Metallionen und der Metallatome stattgefunden?

Gebt für jede Redoxreaktion eine Reaktionsgleichung an – gebt dabei an, welches Metall oxidiert und welches reduziert wird.

**e) Kontrolliert euch selbst, indem ihr „Aufgabe 3 – Analyse“ durchführt.**

Schreibt die Reihenfolge der Metalle an, beginnend mit dem unedelsten, aufsteigend zum edelsten Metall:

## Aufgabe 4: Vorhersagen machen

### Wende dein Wissen an:

Nehmt die **Spannungsreihe der Metalle** zur Hand (im Anhang) und vergleicht die aufgelisteten Metallionen und Metallatome mit eurer ermittelten Reihenfolge.

### Könnt ihr ein Muster erkennen?

**Versucht nun vorherzusagen, ob die folgenden zwei Reaktionen ablaufen können oder nicht** – schreibt dazu nun zu den zwei Reaktionsgleichungen, die ihr auf Inquirysteps.com unter Aufgabe 4 findet, in das Protokoll, ob eine Reaktion stattfindet oder nicht und gebt eine Erklärung dazu ab:

Makroskopische Ebene	Reaktionsgleichung	Kann die Reaktion stattfinden? (JA oder NEIN) <b>Gib eine Erklärung ab</b>
Magnesiumdraht in Kupfersulfatlösung	$\text{Mg} + \text{Cu}^{2+}$	
Silberdraht in Kupfersulfatlösung	$\text{Ag} + \text{Cu}^{2+}$	

**Löst nun Aufgabe 4:** Findet bei der abgebildeten Reaktionsgleichung eine Reaktion statt oder nicht?

*Wenn ihr euch schwer tut eine Vorhersage zu treffen nutzt die Tippkarte bei Aufgabe 4.*

Reaktionsgleichung

Findet eine Reaktion statt?

	JA	NEIN
$\text{Fe}^{3+} + \text{Mg} \rightleftharpoons ?$		
$\text{Al}^{3+} + \text{K} \rightleftharpoons ?$		
$\text{Al}^{3+} + \text{K} \rightleftharpoons ?$		
$\text{K}^+ + \text{Cu} \rightleftharpoons ?$		
$\text{Mg}^{2+} + \text{Sn} \rightleftharpoons ?$		
$\text{Al}^{3+} + \text{Al} \rightleftharpoons ?$		
$\text{Li}^3 + \text{Ag} \rightleftharpoons ?$		
$\text{Sn}^{2+} + \text{Zn} \rightleftharpoons ?$		
$\text{Ni}^{2+} + \text{Na} \rightleftharpoons ?$		
$\text{Ni}^{2+} + \text{Au} \rightleftharpoons ?$		
$\text{Mg}^{2+} + \text{Li} \rightleftharpoons ?$		

**1. Teil: Rückblick auf die Unterrichtsstunde**

Kreuze die Antwort an, die auf dich zutrifft

**Wie ist es dir mit den Anleitungen auf der Seite Inquirysteps.com ergangen?**

- Die Anleitungen zur Versuchsdurchführung und Versuchsplanung waren klar formuliert. Ich habe mich überall ausgekannt.
- Die Anleitungen waren zwar verständlich, ich musste bei der Lehrerin trotzdem ein oder zweimal nachfragen, wie ein Schritt in der Durchführung funktionierte.
- Die Anleitungen waren nur wenig verständlich. Ich musste oft nachfragen, was zu tun ist.
- Die Anleitungen waren überhaupt nicht klar formuliert und verständlich. Ich musste immer nachfragen, was zu tun ist.

**Wenn Anleitungen unverständlich waren, welche waren es?**

**Sind dir Fehler auf der Seite inquirysteps.com oder mit dem Zusatzmaterial aufgefallen? Wenn ja, welche?**

**Hast du die Tipps (Tippkarten) verwendet, die pro Versuch angeboten wurden?**

- JA
- NEIN

**Wenn du die Tipps/Tippkarten verwendet hast, wie hilfreich waren sie?**

- Sehr hilfreich: Die Tipps haben mir geholfen, den chemischen Sachverhalt, die Versuchsplanung und/oder -interpretation besser zu verstehen.
- Eher hilfreich: Die Tipps haben mir geholfen, den chemischen Sachverhalt, die Versuchsplanung und/oder -interpretation besser zu verstehen, es mussten aber trotzdem noch ein oder zwei Sachverhalten besser erklärt werden.
- Nicht so hilfreich: Manche Tipps haben mir zwar geholfen den chemischen Sachverhalt, die Versuchsplanung und/oder -interpretation besser zu verstehen, größtenteils haben sie mich aber verwirrt.
- Gar nicht hilfreich: Die Tipps haben mir überhaupt nicht geholfen und/oder mich verwirrt.

**Wie ist es dir beim Aufstellen einer Hypothese (Vermutung) ergangen? (Beim Versuch, die Metalle von edel zu unedel zu ordnen)**

- Sehr gut: ich konnte gleich eine Hypothese (Vermutung) alleine aufstellen und wusste, wofür ich das tun sollte.
- Gut: ich konnte eine Hypothese (Vermutung) alleine aufstellen, wusste aber nicht, wofür ich das tun sollte.
- Mittelmäßig gut: ich konnte keine Hypothese (Vermutung) alleine aufstellen und ich wusste auch nicht wofür das gut sein sollte.
- Gar nicht gut: ich habe gar keine Vermutung aufgestellt.

**Wie ist es dir mit der selbstständigen Planung des Versuches ergangen (beim Versuch, die Metalle von edel zu unedel zu ordnen)**

- Sehr gut: ich wusste sofort, wie ich den Versuch planen und durchführen musste.
- Gut: ich wusste durch die Tippkarten auf der Internetseite, wie ich den Versuch planen und durchführen musste.
- Mittelmäßig gut: durch die Tippkarten auf der Internetseite wusste ich in etwa, was zu tun ist – die Lehrerin musste mir aber trotzdem nochmal kurz helfen.
- Weniger gut: ich wusste gar nicht, wie ich den Versuch planen und durchführen sollte. Ich brauchte sehr viel Hilfe von der Lehrerin.

**Hast du das Gefühl, dass du durch diese Unterrichtseinheit Redoxreaktionen jetzt besser verstehst?**

- Ja, durch diese Unterrichtseinheit habe ich das Thema besser verstanden.
- Ich habe es verstanden, manches ist mir aber noch unklar.
- Ich habe nur Teile verstanden, vieles ist mir aber noch unklar.
- Ich habe nicht mehr verstanden.

## Teil 2: Was habe ich gelernt?

**Versuch: Der Eisenstab taucht in die blaue Kupfersulfatlösung ein – nach einiger Zeit bildet sich auf dem Eisenstab zuerst ein schwarzer, etwas später ein rötlicher Überzug. Die blaue Farbe der Lösung verschwindet nach einiger Zeit. Was ist hier passiert?**

- Der schwarze und später rote Überzug kommt daher, dass der Eisenstab rostet.
- Der Eisenstab saugt die Kupfersulfatlösung an, er verfärbt sich deshalb.
- Der Eisenstab reagiert mit der Kupfersulfatlösung. Auf dem Stab setzt sich Kupfer ab.
- Die Kupfersulfatlösung zersetzt den Eisenstab und zerstört ihn, daher die schwarze, dann die rötliche Farbe.

**Versuch: Der Eisenstab taucht in die blaue Kupfersulfatlösung ein – nach einiger Zeit bildet sich auf dem Eisenstab zuerst ein schwarzer, etwas später ein rötlicher Überzug. Die blaue Farbe der Lösung verschwindet nach einiger Zeit. Was ist auf Ebene der Teilchen passiert?**

- Kupferatome nehmen 2 Elektronen auf und werden zu Kupferionen reduziert.
- Die Eisenatome geben 2 Elektronen ab und werden zu Eisenionen oxidiert.
- Das Kupfer kann oxidiert werden.
- Die Kupferionen nehmen 2 Elektronen auf und werden zu Kupferatomen reduziert.
- Die Eisenatome geben 2 Elektronen ab und werden zu Eisenionen reduziert.
- Das Eisen kann oxidiert werden.

**Vorhersagen treffen: Nimm die Spannungsreihe zur Hand und entscheide mit deinem Wissen, dass du durch die Einheit „Elektrochemie“ erworben hast, ob die angeführten Reaktionen überhaupt stattfinden können oder nicht und warum sie stattfinden oder nicht:**

Makroskopische Ebene	Reaktionsgleichung	Kann die Reaktion stattfinden? (JA oder NEIN) <b>Gib eine Erklärung ab</b>
Magnesiumdraht in Kupfersulfatlösung	$\text{Cu}^{2+} + \text{Mg}$	
Golddraht in Nickelsulfatlösung	$\text{Ni}^{2+} + \text{Au}$	