



KIRCHLICHE  
PÄDAGOGISCHE  
HOCHSCHULE  
WIEN/KREMS



universität  
wien

# MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Forschendes Lernen anhand einer Lernschachtel:  
Lebensmittelfarbstoffe als Säure-Base-Indikatoren“

verfasst von / submitted by

Cornelia Schäfer, BSc BEd MSc

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

Wien, 2023 / Vienna 2023

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

UA 199 502 504 02

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

Masterstudium Lehramt Sek (AB)  
Unterrichtsfach Biologie und Umweltbildung  
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 selbstständig 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 Arbeit zitiert, durch Fußnoten gekennzeichnet bzw. mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.“

Wien, September, 2023

.....

Cornelia Schäfer, BSc BEd MSc

# **Danksagung**

Ich möchte mich bei allen bedanken, die mich bei diesem Weg so großartig unterstützt haben.

Zuerst bedanke ich mich bei meiner Betreuerin, Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens, die mir die Wahl dieses spannenden Themas ermöglichte und mir wertvollen Input gab. Zudem bedanke ich mich bei meiner Mitbetreuerin, Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr. Brigitte Koliander. Ihre jahrelange Erfahrung im Arbeiten mit Schüler\*innen und ihre Unterstützung machten sie zu einer großartigen Betreuerin.

Zudem bedanke ich mich bei meiner Familie, besonders meinem Mann, und meinen Kolleg\*innen, der Schulleitung und den Schüler\*innen der Informatikmittelschule, an welcher ich die Lernschachtel ausprobiert habe.

# Zusammenfassung

In der vorliegenden Masterarbeit geht es um die Anwendung von Forschendem Lernen anhand einer Lernschachtel. Die Lernschachtel wird von Schüler\*innen der 8. Schulstufe der einer Informatikmittelschule in Niederösterreich ausprobiert.

Beim Forschenden Lernen geht es darum, dass die Schüler\*innen aktiv an ihren Forschungsfragen arbeiten und versuchen, diese auch selbstständig zu beantworten. Das Ziel der Lernschachtel ist es, den Schüler\*innen zu ermöglichen, die Fragestellung, ob sich die Farbstoffe von farbigen Schokolinsen als Säure-Base-Indikatoren eignen, selbstständig zu lösen. Dazu gehört, dass sie ihre Versuche eigenständig planen, beobachten und interpretieren. Das passiert auf Level 1 und Level 2 der Stufen der Forschenden Lernens. Ihre Ergebnisse halten sie dabei in einer Protokollvorlage fest, die als Unterstützung („Scaffolding“) dient. Auch andere Mittel des Scaffoldings, wie gestufte Lernhilfen oder ein Concept Cartoon, wurden verwendet, um den Schüler\*innen Anregungen zum Arbeiten mit der Lernschachtel zu geben. Die Lernschachtel ist eine Schachtel mit unterschiedlichen Geräten, Chemikalien und verschiedenen Anleitungen. Die Schüler\*innen entscheiden selbst, welche Objekte sie aus dieser Schachtel verwenden.

Das Projekt zum Forschenden Lernen erstrecken sich insgesamt über drei Einheiten zu je 50 Minuten. Nach der letzten Einheit erfolgt eine Abschlussbefragung.

Sowohl die Protokolle als auch die Abschlussbefragung werden mittels qualitativer Inhaltsanalyse ausgewertet. Dabei wird neben einer sinnvollen Planung, genauer Beobachtung und dem Ziehen von Schlüssen auch ein Augenmerk auf die Wiedergabe der Fragestellung und die Definition eines Säure-Base-Indikators gelegt. Auch die Verwendung korrekter Begrifflichkeiten, wie der Unterscheidung von Säuren und sauren Lösungen wird analysiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass den Schüler\*innen die Planung, Beobachtung, das Ziehen von Schlüssen und die Wiedergabe der Fragestellung mehrheitlich gut bis sehr gut gelingen. Besonders bei der Beschreibung des Säure-Base-Indikators findet eine Veränderung der Verwendung korrekter Begriffe statt: In den Protokollen wird immer von Säuren und Basen gesprochen, während in der Abschlussbefragung auch die korrekten Begrifflichkeiten saure und basische Lösung verwendet werden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>8</b>
<b>2 Theoretischer Rahmen.....</b>	<b>9</b>
2.1 Forschendes Lernen .....	9
2.1.1 Die Bedeutung von Forschendem Lernen .....	9
2.1.2 Forschendes Lernen und seine Verankerung im Lehrplan .....	10
2.1.3 Lehrplanbezug zum Thema Säure und Basen in der Sekundarstufe I.....	13
2.2 Ziele des Forschenden Lernens .....	14
2.3 Erklärung wichtiger Begrifflichkeiten im Kontext von Forschendem Lernen .....	14
2.3.1 Inquiry und Inquiry-based Learning .....	16
2.3.2 Science Literacy and Scientific Literacy .....	17
2.3.3 Nature of Science (NOS) und Nature of Scientific Inquiry (NOSI).....	18
2.4 Unterscheidung zwischen Forschendem Lernen und Praktischen Arbeiten .....	21
2.5 Die Stufen von Forschendem Lernen.....	22
2.6 Ergebnisse zu Studien zu Forschendem Lernen.....	24
2.7 Scaffolding .....	26
2.7.1 Makro- und Mikro-Scaffolding .....	26
2.7.2 Einsatz von Scaffolding für Forschendes Lernen .....	27
2.8 Forschendes Lernen anhand einer Lernschachtel .....	28
2.9 Forschendes Lernen und das 5E-Modell.....	29
2.10 Didaktische Rekonstruktion .....	30
2.10.1 Das Johnstone-Dreieck .....	30
2.10.2 Die Entwicklungsstufen von Piaget.....	32
2.11 Die Didaktische Rekonstruktion der Lernschachtel.....	33
2.11.1 Die Fachliche Klärung.....	34
2.12 Die Lebensmittelfarbstoffe des Überzugs von Smarties und ihre Eignung als Säure-Base-Indikatoren .....	38
2.12.1 Mögliche Inhaltstoffe des farbigen Überzugs von Smarties.....	44
2.13 Lernendenvorstellungen zum Thema „Säure und Basen“ .....	45
2.13.1 Die Wichtigkeit von Lernendenvorstellungen.....	45
2.13.2 Bekannte Lernendenvorstellungen zum Thema „Säure und Basen“ .....	47
2.14 Didaktische Strukturierung und Lehrziele .....	49
<b>3 Vorstellung der Lernschachtel .....</b>	<b>52</b>
3.1 Die Didaktische Strukturierung der Lernschachtel .....	52
3.1.1 Vorwissen der Schüler*innen .....	52
3.1.2 Das Johnstone-Dreieck und seine Bedeutung für die Lernschachtel.....	52

3.2	Die Lernschachtel zum Thema „Lebensmittelfarbstoffe als Säure-Base-Indikatoren“ .....	52
3.3	Skizze des Unterrichtsablaufs .....	59
3.3.1	Phase 1 – Gefahrensymbole und Sicherheitshinweise zu den Chemikalien in der Lernschachtel.....	59
3.3.2	Phase 2 – Auseinandersetzung mit den Geräten in der Lernschachtel .....	60
3.3.3	Phase 3 – Smarties und die zentrale Fragestellung.....	62
3.3.4	Phase 4 – Erklärung zur Verwendung des Scaffolding-Materials .....	63
3.3.5	Phase 5 – „Forschendes Lernen auf Level 2“ .....	63
3.4	Verwendung der Lernschachtel in den Klassen 4a und 4b einer niederösterreichischen Mittelschule.....	65
<b>4</b>	<b>Evaluierung der Lernschachtel .....</b>	<b>66</b>
4.1	Beschreibung der Lerngruppe .....	66
4.2	Erhebung der Daten.....	67
4.3	Auswertung mithilfe von QCMap .....	68
<b>5</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>71</b>
5.1	Teilanalyse 1 – „Analyse zum Gelingen von Forschendem Lernen basierend auf den Protokollen von Schüler*innen“ .....	71
5.1.1	Ergebnisse der Teilanalyse 1 – „Wie gelingt die Versuchsplanung?“.....	71
5.1.2	Ergebnisse der Teilanalyse 1 - „Wie gelingen die Beobachtungen?“ .....	73
5.1.3	Ergebnisse der Teilanalyse 1 – „Wie gelingt es, Schlüsse zu ziehen?“.....	75
5.2	Teilanalyse 2 – „Beschreibung eines Säure-Base-Indikators“.....	77
5.2.1	Ergebnisse der Teilanalyse 2 – „Was umfasst die Beschreibung eines Säure-Base-Indikators?“ .....	77
5.3	Teilanalyse 3 – „Wiedergabe der Fragestellung der Lernschachtel“ .....	79
5.3.1	Ergebnisse der Teilanalyse 3 – „Wie gut kann die Fragestellung der Lernschachtel formuliert werden?“.....	79
5.4	Der Einsatz der Tippkarten .....	81
5.4.1	Tippkarte 1: Bevor ich starte! .....	81
5.4.2	Tippkarte 2: Nachdem ich die Farben der Smarties gelöst habe! .....	82
5.4.3	Tippkarte 3: Meine Beobachtungen! .....	83
5.4.4	Tippkarte 4: Meine Schlüsse! .....	84
<b>6</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>86</b>
6.1	Teilanalyse 1 – „Analyse zum Gelingen von Forschendem Lernen basierend auf den Protokollen von Schüler*innen“ .....	86
6.1.1	Diskussion – Teilanalyse 1 – „Wie gelingt die Versuchsplanung?“.....	86
6.1.2	Diskussion – Teilanalyse 1 – „Wie gelingen die Beobachtungen?“ .....	87
6.1.3	Diskussion – Teilanalyse 1 – „Wie gelingt es Schlüsse zu ziehen?“.....	89
6.2	Teilanalyse 2 – „Beschreibung eines Säure-Base-Indikators.....	90

6.2.1 Diskussion – Teilanalyse 2 – „Was umfasst die Beschreibung eines Säure-Base-Indikators?“ .....	90
6.3 Teilanalyse 3 – „Wiedergabe der Fragestellung der Lernschachtel“ .....	92
6.3.1 Diskussion – Teilanalyse 3 – „Wie gut kann die Fragestellung der Lernschachtel formuliert werden?“ .....	92
6.4 Methodenkritik, Fazit und Ausblick .....	93
6.4.1 Methodenkritik .....	93
6.4.2 Fazit .....	97
6.4.3 Ausblick .....	99
<b>Literatur .....</b>	<b>102</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>108</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>109</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>110</b>
Konkret geplanter Unterrichtsverlauf zum Umgang mit der Lernschachtel .....	110
Ergebnisse .....	120

# 1 Einleitung

Die letzten Jahre waren sehr stark von der Corona-Pandemie geprägt. Diese Zeit hat auf erschreckende und eindrucksvolle Art gezeigt, wie viel Skepsis in der österreichischen Gesellschaft gegenüber Wissenschaft vorhanden ist. Es scheint noch nicht gelungen zu sein, dass Debatten zu Themen wie Impfung oder Maskenpflicht überwiegend rational und naturwissenschaftlich geführt werden können. Das hat natürlich vielschichtige Gründe, die sich auf persönlicher und politischer Ebene finden, aber es zeigt auch, wie wichtig eine gute naturwissenschaftliche Bildung ist. Diese kann ermöglichen, dass die Menschen nicht nur Naturwissenschaften besser verstehen, sondern auch Medienbeiträge kritisch beleuchten können (Stichwort: Fake News) und darüber diskutieren können (Stichwort: Filterblase). Das sind wichtige Fähigkeiten, die auch nach Corona in Zeiten von Social Media dringend benötigt werden.

Einen Zugang für einen naturwissenschaftlichen Unterricht kann Forschendes Lernen bieten: Hierbei geht es darum, dass die Schüler\*innen aktiv und selbstständig an ihren Forschungsfragen arbeiten und versuchen, diese zu lösen (Hofer & Lembens, 2021; National Research Council, 2000). Dafür gibt es mehrere Rahmenmöglichkeiten: In dieser Arbeit wurde ein Lernschachtel verwendet, die mit verschiedenen Chemikalien, Geräten und verschiedenen Anleitungen gefüllt ist. Die Anleitungen und sinnvolle Fragestellungen werden mit den Schüler\*innen besprochen. Danach können die Schüler\*innen selbst entscheiden, was sie davon wie verwenden. Es wird mit farbigen Schokolinsen gearbeitet, um das Interesse der Schüler\*innen zu wecken (Levine, 1996).

Selbst wenn Schüler\*innen Zugang zu einem Unterricht im Labor haben, fehlt ihnen oftmals die Möglichkeit ihre Versuche eigenständig zu planen und durchzuführen – das kann jedoch im Rahmen des Unterrichtsansatzes „Forschendes Lernen“ umgesetzt werden. Wie gut das gelingt, soll in der folgenden Arbeit analysiert werden.

Das Ziel der in dieser Arbeit entwickelten Unterrichtseinheit ist es, den Schüler\*innen das Thema der sauren und basischen Lösungen und Säure-Base-Indikatoren näherzubringen. Im Lehrplan der Unterstufe ist dieses Thema ein wichtiger Bestandteil (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2023). Die Schüler\*innen sollen Forschendes Lernen bewusst erfahren und dadurch selbstständiger naturwissenschaftlich arbeiten. Dies hilft ihnen idealerweise dabei, die naturwissenschaftliche Arbeitsweise besser zu verstehen und unwissenschaftliche Kommentare und Aussage kritisch zu hinterfragen.

## 2 Theoretischer Rahmen

“Alles Leben ist Problemlösen“ – **Karl Popper** (Popper, 2010)

### 2.1 Forschendes Lernen

In der folgenden Arbeit wird zuerst erklärt, was genau unter Forschendem Lernen zu verstehen ist und warum dieses einen wichtigen Teil des Lernens von Schüler\*innen darstellen kann. Dies wird auch durch dessen Verankerung im Lehrplan und in den Bildungsstandards im Folgenden dargelegt.

#### 2.1.1 Die Bedeutung von Forschendem Lernen

Unter Forschendem Lernen oder im Englischen bekannter als Inquiry-based Learning versteht man einen aktiven Lernprozess. Es geht darum, dass die Schüler\*innen etwas aktiv tun (National Research Council, 2000). Die Schüler\*innen sollen eine naturwissenschaftliche Fragestellung mithilfe von Untersuchungen nachgehen (Hofer & Lembens, 2021). Der Erkenntnisgewinnungsprozess steht im Zentrum und somit der Erwerb von Fähigkeiten in Bereichen wie:

- Fragen stellen, die mit wissenschaftlichen Methoden beantwortet werden können
  - Planen und Durchführen von Untersuchungen
  - Daten sammeln, analysieren und interpretieren
  - auf Beweisen basierende Modelle und Erklärungen konstruieren
  - evidenzbasiert argumentieren
  - Kommunizieren und Evaluieren von Informationen
- (Hofer & Lembens, 2021; National Research Council, 2000).

Es gibt drei entscheidende Merkmale, welche Forschendes Lernen ausmachen:

- a) Vorhandensein einer Fragestellung (asking question)
- b) auf die Fragestellung abgestimmte Untersuchungsprozesse durchführen (collecting data) und
- c) Nutzung der Daten aus dem Untersuchungsprozess zur Bearbeitung der Fragestellung (interpreting those data) (Abrams et al., 2008; Hofer & Lembens, 2021).

Forschendes Lernen wird nicht durch spezifische Sozialformen wie Einzelarbeit oder Gruppenarbeit bestimmt und auch nicht durch spezielle Methoden wie Stationenlernen oder Think-Pair-Share. Entscheidend ist die Umsetzung der oben genannten Merkmale (Hofer & Lembens, 2021).

Die Next Generation Science Standards schreiben dazu: „As in all inquiry-based approaches to science and teaching, our expectation is that student will themselves engage in practices and not merely learn about them secondhand“ (NGSS Lead States, 2013, S. xv). Es ist also sehr

wichtig, dass die Schüler\*innen ihre Erfahrungen selbst machen. Denn nur so könne sie die wissenschaftliche Praxis und das Wissen dahinter verstehen.

Die Schüler\*innen sollen selbstständig beim Forschenden Lernen entscheidende Schritte des wissenschaftlichen Forschungsprozesses durchlaufen. Sie sollen sich selbst sowohl wichtige Fragen zu ihrer Forschung stellen (wie umfangreich diese auch sein möge) und auch logische Antworten dazu finden. Alle Antworten zu allen Fragen werden vermutlich nicht gefunden werden, aber auch das ist ein wichtiger Eckpunkt des Forschenden Lernens, des Forschungsprozesses und jeder wissenschaftlichen Arbeit. Es ist wichtig beschreiben zu können, welche Fragen noch offen sind und welche schon mit der Arbeit geklärt werden konnten.

Reitinger beschreibt Forschendes Lernen folgendermaßen:

„Aus der hier dargelegten Erörterung ergibt sich ein vorläufiges Begriffsverständnis, welches Forschendes Lernen mit der selbständigen Suche und der Entdeckung einer für die Lernenden neuen Erkenntnis assoziiert. Forschendes Lernen läuft dabei in einem autonomen und zugleich strukturierten Prozess ab, welcher von einer sinnlich erfahrbaren Entdeckung über eine systematische Exploration bis hin zu einer für wissenschaftliches Arbeiten charakteristischen Vorgehensweise reichen kann“ (Reitinger, 2013, S. 15).

Dadurch wird noch einmal deutlich, dass es sich bei Forschenden Lernen um eine Art Entdeckungsreise handelt. Sie soll zwar autonom und strukturiert stattfinden, aber dieser Prozess muss auch angeleitet werden. Forschendes Lernen kann als instruktionaler Prozess gesehen werden. Der Grad an Offenheit wird durch verschiedene Levels bestimmt, die diesen stetig steigern (Hofer & Lembens, 2021).

Die Verankerung von Forschendem Lernen im Lehrplan für das Fach Chemie in der Sekundarstufe I und dem Kompetenzmodell für den naturwissenschaftlichen Unterricht (NAWI 8) soll nun näher erläutert werden.

## 2.1.2 Forschendes Lernen und seine Verankerung im Lehrplan

Da sich meine Arbeit primär auf Schüler\*innen der Mittelschule beziehen wird, wird meine Analyse vom Lehrplan der Sekundarstufe I handeln.

In diesem steht unter Bildungs- und Lehraufgabe für Chemie: „Chemische Phänomene und Vorgänge sind wesentliche Bestandteile des täglichen Lebens. Daher ist ein angemessenes naturwissenschaftliches Verstehen im Sinne einer reflexiven Grundbildung essenziell für gesellschaftliche Teilhabe“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2023).

Doch wie kann dieses Ziel am besten erreicht werden? Der Lehrplan sieht hierzu vor, dass die Lebenswelt der Schüler\*innen miteinbezogen werden soll, um dadurch Phänomene des Alltags oder Umwelt besser zu verstehen (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2023).

Das Ziel ist also, dass Chemie anhand der Lebenswelt der Schüler\*innen verstanden werden soll. Genau das versucht diese Arbeit zu erreichen, indem sie sich auf die Farbstoffe von Schokolinsen konzentriert. Die Schüler\*innen kennen dies bereits und haben dadurch schonen einen Zugang zur ihrer Alltagswelt gefunden.

Der empfohlene didaktische Zugang im Lehrplan ist übrigens folgender: „Ausgehend von ihrer Erfahrungswelt sollen die Schülerinnen und Schüler im Chemieunterricht den induktiven Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung nachvollziehen und zunehmend selbstständig durchführen. Dies beinhaltet das Formulieren von Fragen und Vermutungen sowie das Planen, Durchführen, Beobachten und Auswerten von Untersuchungen“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2023).

Wie bereits besprochen beschreibt dies genau die Merkmale von Forschenden Lernen. Seine Anwendung kann sich somit als sehr nützlich erweisen. Als didaktischer Zugang im Chemieunterricht wird der kompetenzorientierte Unterricht empfohlen. Zwar findet sich der Begriff des Forschenden Lernens nicht im Teil des Lehrplans mit dem Schwerpunkt für Chemie, aber es wird im Bereich der „Allgemeine didaktische Grundsätze“ erwähnt. Darin wird ein „gelungener, kompetenzorientierter Unterricht“ beschrieben: In die Planung mit einzubeziehen sind kompetenzfördernde Aufgaben, welche im Sinne der Ergebnisorientierung auf eigenständiges, entdeckendes und forschendes Lernen abzielen“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2023).

Es zeigt sich also, dass Forschendes Lernen seinen Platz im Lehrplan einnehmen kann, auch wenn es im Teil mit Schwerpunkt für Chemie nicht explizit erwähnt wird. Auch zur Beschreibung der Kompetenzen wird es erwähnt.

Im Lehrplan spielt das Kompetenzmodell eine entscheidende Rolle. Es umfasst die Inhaltsdimension und die Handlungsdimension. Die Handlungsdimension gliedert sich in folgende drei Bereiche:

- Wissen aneignen und kommunizieren (W)
  - Erkenntnisse gewinnen und interpretieren (E)
  - Standpunkte begründen, Entscheidungen treffen und reflektiert handeln (S)
- (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2023)

Die Lernschachtel zum Thema Lebensmittelfarbstoffe als Säure-Base-Indikatoren ermöglicht es den Schüler\*innen, ihre Kompetenzen in den Bereichen „Wissen aneignen und kommunizieren (W)“ und „Erkenntnisse gewinnen und interpretieren (E)“ zu schärfen. Der Schwerpunkt liegt nicht auf dem Begründen von Standpunkten, Entscheidungen treffen und reflektiert handeln (S), da die Lernschachtel eine Einführung zum Thema der Eignung von Farbstoffen als Indikatoren darstellt. Dabei eignen sich die Schüler\*innen Wissen und Erkenntnisse an. Eine Begründung der Standpunkte kann zu einem späteren Zeitpunkt sinnvoll sein z.B. im Kontext von Lebensmitteln und der Verwendung von Ressourcen.

Deshalb sollen nun nur die ersten beiden der drei Kompetenzbereiche beschrieben werden:

#### Kompetenzbereich Wissen aneignen und kommunizieren (W)

Die Schülerinnen und Schüler können

- Vorgänge und Phänomene in der Natur, Umwelt und Technik sowie deren Auswirkungen beobachten, erfassen, beschreiben und benennen
- unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen

- Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik in verschiedenen Formen (Grafik, Tabelle, Bild, Diagramm, ...) darstellen, erklären und adressatengerecht kommunizieren.

### Kompetenzbereich Erkenntnisse gewinnen und interpretieren (E)

Die Schülerinnen und Schüler können

- zu den Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und dies beschreiben;
- zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen, Vermutungen aufstellen sowie passende Untersuchungen planen, durchführen und protokollieren;
- Beobachtungen, Daten und Ergebnissen von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren

(Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2023).

Forschendes Lernen anhand der Lernschachtel kann diesen Bereich abdecken, indem Wissen gewonnen und Erkenntnisse gewonnen werden. Zum einen wird auf das Thema der Indikatoren eingegangen und zum anderen können die Schüler\*innen zu Vorgängen in der Natur Fragen stellen und versuchen, diese selbstständig zu bearbeiten.

In Österreich sind für die Naturwissenschaften keine offiziellen Bildungsstandards verordnet (*Institut des Bundes für Qualitätssicherung im österreichischen Schulwesen*, 2023).

Es existiert jedoch ein Kompetenzmodell für naturwissenschaftlichen Unterricht (NAWI 8) für die 8. Schulstufe. Das Modell ist jenem sehr ähnlich, welches im Lehrplan bereits beschrieben wurde (IQS, 2011).

Es gibt jedoch Unterschiede: Es gibt eine weitere Dimension, die Anforderungsdimension. Für die Anforderungsdimension sind drei Schwierigkeitsstufen vorgesehen (N1 – N3). Die Inhaltsdimension verweist auf wichtige fachliche Inhalte im Chemieunterricht (C1 – C5).

Die Handlungsdimension ist in drei Bereiche mit je vier Kompetenzbeschreibungen (Deskriptoren) aufgegliedert:

- Wissen organisieren: Aneignen, Darstellen und Kommunizieren (W1-W4)
- Erkenntnisse gewinnen: Fragen, Untersuchen, Interpretieren (E1-E4)
- Schlüsse ziehen: Bewerten, Entscheiden, Handeln (S1-S4)

Dabei entsprechen die Deskriptoren W1-W3 den genannten Punkten aus dem Bereich „Wissen aneignen und kommunizieren“ aus dem Lehrplan. Ein zusätzlicher Punkt ist W4: „Ich kann einzeln oder im Team die Auswirkungen von Vorgängen in Natur, Umwelt und Technik auf die Umwelt und Lebenswelt erfassen und beschreiben.“

Der Deskriptor E1 entspricht dem ersten Punkt aus dem Bereich „Erkenntnisse gewinnen und interpretieren“ und die Deskriptoren E2-E4 ähneln den anderen Unterpunkten im Lehrplan. Sie lauten:

- E2: Ich kann einzeln oder im Team zu den Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen.
- E3: Ich kann einzeln oder im Team zu den Fragestellungen eine passende Untersuchung oder ein Experiment planen, durchführen und protokollieren.
- E4: Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren (IQS, 2011).

Es ist also die Aufgabe der Lehrperson, den Schüler\*innen den Erwerb dieser Fähigkeiten zu ermöglichen, das Wie wird nicht vorgegeben (oder vorgeschlagen). Somit ist es der Lehrperson überlassen, wie die Umsetzung aussieht.

Forschendes Lernen kann hierfür als eine Möglichkeit zum Erwerb besagter Kompetenzen gesehen werden, da es genau die besagten Deskriptoren, die sich im Wesentlichen mit dem Lehrplan decken, erfüllen kann:

Eine Forschungsfrage wird aufgeworfen und die Schüler\*innen müssen diese beantworten, indem sie Beobachtungen machen und beschreiben (E1), Fragen stellen und Vermutungen aufstellen (E2), Experimente durchführen und protokollieren (E3) und schließlich die Daten ihrer Untersuchungen analysieren und interpretieren (E4). Die so schwierig zugängliche Kompetenz der Erkenntnisgewinnung kann also durch Forschendes Lernen erworben werden.

### **2.1.3 Lehrplanbezug zum Thema Säure und Basen in der Sekundarstufe I**

Im Lehrplan findet das Thema der Säuren und Basen explizite Erwähnung im „Anwendungsbereich“. Hier steht, dass folgende Typen von chemischen Reaktionen besprochen werden sollen:

- Säure-Base-Reaktionen
- Reduktions-Oxidations-Reaktionen
- einfache organische Reaktionen

(Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2023).

Das Thema Säure und Basen wird zwar im Kontext von Typen von chemischen Reaktionen genannt, aber da es noch einmal im Speziellen aufgezählt wird, zeigt sich seine Wichtigkeit. Im Kompetenzmodell für den naturwissenschaftlichen Unterricht (NAWI 8) scheint es in der Inhaltendimension C3 auf: „Grundmuster chemischer Reaktionen“. Hier werden einige Beispiele genannt. Zu diesen gehört auch: „Säure, Basen, Neutralisation, Salze, pH-Wert“ (IQS, 2011).

Dies unterstreicht abermals die hohe Wertigkeit dieses Themenfeldes. Die Frage ist immer, wie man diese zentralen Themen in den Unterricht sinnvoll einbauen kann. Eine Antwort darauf liefert das Forschende Lernen: Es ermöglicht, dass der Inhalt „Säure und Basen“ und im weiteren Sinn Säure-Base-Indikatoren und Lebensmittelfarbstoffe mit dem selbstständigen Durchführen von Versuchen verbunden werden kann. Die Schüler\*innen gewinnen neue Erkenntnisse.

Im Folgenden sollen die Ziele von Forschenden Lernen noch detaillierter beschrieben werden.

## 2.2 Ziele des Forschenden Lernens

Abrams beschreibt drei Ziele, die beim Forschenden Lernen verfolgt werden:

- Constructing Learner's Scientific Knowledge
- Learning to Inquire
- Learning About Inquiry

(Abrams et al., 2008)

Ein Ziel von Forschenden Lernen ist, dass naturwissenschaftliches Wissen (scientific knowledge) bzw. Fachwissen erworben wird. Es ist ebenfalls zentral, dass verstanden wird, wie naturwissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt werden sollen (learning to inquire). Das dritte zentrale Ziel von Forschenden Lernen ist, dass über naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen reflektiert wird (learning about inquiry).

Wie diese Schwerpunkte gesetzt werden und welche am wichtigsten erscheinen wird von der Lehrperson bestimmt. Die Lehrperson entscheidet über die instruktionale Umsetzung. Wie bereits in Kapitel 2.1.1 kann Forschendes Lernen als instruktionaler Prozess angesehen werden (Hofer & Lembens, 2021).

Im Zentrum steht immer der Erkenntnisgewinn wie in Kapitel 2.1.1 beschreiben. Die Schüler\*innen sollen Antworten auf Fragen finden, indem sie ihre eigenen Versuche selbstständig planen und durchführen. Sie sollen ihr Ergebnisse reflektieren und ihr Wissen weiter aufbauen. Die Lernschachtel versucht genau dies den Schüler\*innen zu ermöglichen, indem sie eine Fragestellung zum Thema der Eignung von Farbstoffen als Säure-Base-Indikatoren vorgibt, die die Schüler\*innen beantworten sollen. Dies passiert unter genauen instruktionalen Anweisungen der Lehrperson.

## 2.3 Erklärung wichtiger Begrifflichkeiten im Kontext von Forschendem Lernen

Zwei der drei Ziele Forschenden Lernen von Lernen sind mit dem englischen Wort „inquire“, also forschen bzw. untersuchen, verknüpft wie in Kapitel 2.2 angemerkt.

Dewey 1938, schreibt dazu Folgendes: „We may now ask: What is the definition of Inquiry? [...] 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 elements of the original situation into a unified whole“ (Dewey, 1938, S. 104–105).

Die Beschreibung ist zwar sehr abstrakt, sie ist aber auch sehr treffend, denn beim „Inquiry“ geht es darum, einzelne Wissensbestandteile zu einem neuen Ganzen formen und so die Antworten auf unterschiedliche naturwissenschaftliche Fragen zu finden. Eine unbestimmte Situation bzw. Problemstellung soll in eine bestimmbare überführt werden. Das Problem soll gelöst werden. Zum Lösen dieses Problems müssen laut Dewey Daten gesammelt und beurteilt werden (Dewey, 1938).

Bei Inquiry geht es um das Erkennen eines Problems und seiner naturwissenschaftlichen Lösung. Die Frage ist, wie sich diese Idee mit dem Unterricht und dem Unterrichten verbinden lassen kann.

Auch Dewey schreibt Folgendes: „I mean that science has been taught too much as an accumulation of ready-made material with which students are to be made familiar, not enough as a method of thinking, an attitude of mind, after the pattern of which mental habits are to be transformed“ (Dewey, 1910, S. 122).

In den Naturwissenschaften geht es laut Dewey somit um mehr als um „ready-made material“, also Wissen, das von der Lehrperson als fertiges Produkt präsentiert wird.

Tatsächlich werden in den Naturwissenschaften auch immer Fragestellungen aufgeworfen, beantwortet und verworfen. Neue Versuche und Experimente können geplant und ausprobiert werden, neue Ergebnisse generiert und analysiert werden. Es können neue Hypothesen aufgenommen und verworfen werden und neue Entdeckungen gemacht und mit altem verglichen werden. Kurzum: Die Quintessenz von Naturwissenschaft ist weitaus mehr als diese „ready-made materials“. Es geht darum, naturwissenschaftlichen Denken zu erfahren und umzusetzen.

In Bruners Buch „The Process of Education“, welches 1960 veröffentlicht wurde, schreibt er, wie wichtig er es findet, dass Physikstudierende ihre Probleme selbstständig lösen. Er schreibt, dass es für das Beherrschung eines Feldes dazugehört, dass man Fragen stellt und dass man Probleme löst, die zu diesem Forschungsfeld gehören. Für ihn steht im Zentrum, dass die Schüler\*innen die Möglichkeit bekommen, Probleme selbstständig zu lösen. Basierend darauf kann das Erlernte so organisiert werden, dass daraus bedeutsame Konstrukte entstehen, die eine entscheidende Rolle zum fachspezifischen Verstehen beitragen. Dieses Organisieren kann als das Herausarbeiten von Regeln verstanden werden. Die Schüler\*innen sollen verstehen, dass Menschen in den Naturvorgängen Regeln entdecken können, dass diese sinnvoll sind und auch bei weiteren Entscheidungen helfen können (Bruner, 2009).

Für Lehrpersonen ist es natürlich interessant zu wissen, wie das Einbauen von Inquiry im Unterricht aussehen könnte. Auch Abrams stellt sich diese Frage: „What do classroom Inquiries look like?“ (Abrams et al., 2008, S. xxvii). Die Dauer zur Durchführung von „Inquiries“ kann sich von Stunden bis Wochen oder Monate erstrecken. Beispiele für Inquiries sind Unterrichtssituationen, in denen Schüler\*innen zu folgenden Aktivitäten angehalten werden:

Die Schüler\*innen sollen natürliche und experimentelle Phänomene beobachten und festhalten, sie sollen Fragen formulieren und Experimente planen. Sie sollen Daten analysieren und auswerten, aus diesen Schlüsse ziehen und ihre wissenschaftlichen Ergebnisse präsentieren. Es ist auch wichtig, den Schüler\*innen Raum für Diskussionen und Argumentationen zu geben. Die Idee dahinter ist, dass den Schüler\*innen die Möglichkeit gegeben wird, einen Sinn hinter ihren Tätigkeiten zu erkennen und einen authentischen Zugang zu Naturwissenschaften entwickeln zu können (Abrams et al., 2008).

Da das Wort und die Bedeutung von Inquiry nun detailliert beschrieben wurde, stellt sich als nächste Frage also: „Was ist der Zusammenhang zwischen Inquiry und Forschenden Lernen? Gibt es diesen Zusammenhang überhaupt?“

Sie soll nun detailliert beantwortet und beschrieben werden.

### 2.3.1 Inquiry und Inquiry-based Learning

Forschendes Lernen wird mit Inquiry-based Learning übersetzt, siehe Vorwort von (Bernholt, 2013). Die drei Ziele von Forschenden Lernen sind das Aufbauen von naturwissenschaftlichem Wissen, Durchführen von naturwissenschaftlichen Untersuchungen und naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen zu reflektieren (siehe Kapitel 2.2). Der Prozess dahinter findet angeleitet statt (siehe Kapitel 2.1.1).

Forschendes Lernen wird aber nicht von einer spezifischen Struktur oder Aufbau des Unterrichts bestimmt, sondern vielmehr von den Aktivitäten der Schüler\*innen selbst (Hofer et al., 2018). Diese sollen immer im Zentrum stehen, um die besagten Ziele unter Anleitung der Lehrperson auch zu erreichen. Somit ist Inquiry für das Forschende Lernen (Inquiry-based-Learning) sehr wichtig, aber es unterscheidet sich von diesem. Das Forschende Lernen beschäftigt sich mit der Umsetzung von Inquiry.

Die Bedeutung von Forschendem Lernen zeigt sich dadurch, dass sich wichtige Elemente davon in unterschiedlichen Strategiepapieren der Bildungspolitik wiederfinden. Dazu zählen der österreichische Lehrplan und das Kompetenzmodell für den naturwissenschaftlichen Unterricht (NAWI 8) (siehe Kapitel 2.1.2), aber auch die amerikanischen Next Generation Science Standards (siehe Kapitel 2.1.1), welche beide bereits erwähnt wurden. Eine weitere Verankerung findet sich in den amerikanischen National Science Educational Standards (National Research Council, 2000). Sie beinhalten Richtlinien zur Umsetzung von Inquiry in den Schulen. So wird für Grade 5-8 (Alter: 10-13 Jahr) vorgeschlagen, dass zu fundamentalen Fähigkeiten „to do scientific inquiry“ unter anderem gehört, dass Fragestellungen gestellt werden, Untersuchungen geplant und durchgeführt werden, dass zudem Daten evaluiert werden und Schlüsse gezogen werden (siehe Kapitel 2.1.1). Die entspricht auch den Zielen der Lernschachtel, indem die Schüler\*innen ihre eigenen Versuche zu einer Fragestellung planen, durchführen, evaluieren und interpretieren.

Ein aktuellerer Vorschlag aus den USA, zur Umsetzung von Inquiry in der Schule wird von der American Association for the Advancement of Science vorgeschlagen. Ein wichtiges Ziel wäre, dass die Schüler\*innen von Grade 6-8 (Alter: 11-13 Jahre) wissen, dass die naturwissenschaftlichen Untersuchungen auf der Sammlung von Daten und ihrer Reflexion zur Formulierung ihrer Hypothesen basieren (American Association for the Advancement of Science, 2009). Die American Association for the Advancement of Science wünscht sich, dass die Schüler\*innen systematischer an auch länger andauernden Forschungsprojekten arbeiten. Dabei soll das Kontrollieren von Variablen im Vordergrund stehen, welches unbedingt geübt werden muss (American Association for the Advancement of Science, 2009). Übungsphasen sind immer sehr ratsam, denn dadurch können die Schüler\*innen das Gelernte festigen. Die Schüler\*innen müssen kompetenzorientiert üben können, um durch die gewonnene Routine ihr Fertigkeiten zu schärfen und weiterzuentwickeln (Leisen, 2006). Da Kompetenzen wichtig zur Durchführung von Forschendem Lernen sind, sollte man sich als Lehrperson nicht der Illusion hingeben, dass eine einmalige Durchführung von Forschendem Lernen reichen wird und dass alle Ziele des Unterrichts von den Schüler\*innen sofort erreicht werden. Die Abläufe und die Bildung verschiedener Kompetenzen muss geübt werden.

Die American Association for the Advancement of Science schlägt vor, dass schon im Kindergarten und Primarstufe in „Scientific Inquiry“, dem naturwissenschaftlichen Fragestellungen bzw. Forschen eingeführt werden (American Association for the Advancement of Science, 2009). Auch in Europa wird gefordert, dass dies in der Primarstufe passiert. Die Schüler\*innen sollen bereits das Stellen von Fragen üben, die Planung und Durchführung von Versuchen und das Prüfen ihrer Vermutungen lernen (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013).

Ein zentraler Aspekt von Forschendem Lernen ist ebenfalls, dass die Lehrperson dafür verantwortlich ist, dass ein von ihr angeleiteter Unterricht stattfindet. Sie muss dafür sorgen, dass angemessene Aufgaben gestellt werden. Zwar steht die Tätigkeit der Schüler\*innen im Zentrum von Forschendem Lernen, aber die Lehrperson muss den Prozess des Forschenden Lernens anleiten (Hofer et al., 2018).

Wichtige Elemente von Forschendem Lernen finden sich nicht nur in Dokumenten von Österreich (siehe Lehrplan und Kompetenzmodell für naturwissenschaftlichen Unterricht) oder den USA (siehe Next Generation Science Standards, National Science Educational Standards, American Association for the Advancement of Science), sondern auch im PISA 2018 Science Framework (OECD, 2019), welches für Europa von großer Bedeutung ist. In diesem steht deutlich, dass folgende drei Kompetenzen für die naturwissenschaftliche Bildung von Schüler\*innen entscheidend: Die Schüler\*innen sollen naturwissenschaftliche Phänomene wissenschaftlich erklären können, sie sollen Forschungsfragen stellen und evaluieren können und als dritten Punkt auch ihre Daten und Evidenzen wissenschaftlich interpretieren können. Diese drei Punkte werden von PISA unter „Scientific Literacy“ zusammengefasst (OECD, 2019). Er unterscheidet sich vom Begriff „Science Literacy“ (siehe Kapitel 2.3.2).

Zusammenfasst kann noch einmal festgehalten werden, dass Inquiry und Inquiry-based Learning bzw. Forschendes Lernen nicht ident sind, aber Inquiry ein wichtiger Bestandteil von Forschenden Lernen ist.

### **2.3.2 Science Literacy and Scientific Literacy**

Science Literacy und Scientific Literacy sind nicht dasselbe. Die Termini stehen mit dem Begriff Science Education in starker Verbindung, sind aber nicht synonym zu verwenden.

In dem Text von Roberts und Bybee (2014) wird zwischen Vision I (= Science Literacy) und Vision II (= Scientific Literacy) unterschieden. Vision I wurde vor Vision II in bildungswissenschaftlichen Kontext entwickelt. Bei Science Literacy wird der Fokus auf die Methoden und Techniken der Naturwissenschaften und die Erklärungen und Theorien, die dahinterstehen, gelegt. Bei Scientific Literacy liegt der Schwerpunkt auf den gesellschaftlichen Auswirkungen und Fragen, die mit den Entdeckungen und Entwicklungen in den Naturwissenschaften aufgeworfen werden (Roberts & Bybee, 2014). Dazu gehört zum Beispiel, dass Entscheidungen zu wissenschaftlichen Themen im Bereich Energie oder Gesundheit getroffen werden, dass wichtige Auswirkungen der Wissenschaft auf die Gesellschaft erfasst werden oder die Fähigkeit zur Teilnahme am gesellschaftlichen Diskurs gegeben ist. Dies sind Fähigkeiten, die besonders in Zeiten von Corona besonders gefordert waren und sind.

Beide Bereiche, Science Literacy und Scientific Literacy, sind für Schüler\*innen essentiell und sollten deshalb gleichermaßen unterrichtet werden (Roberts & Bybee, 2014). Man kann aber natürlich Schwerpunkt setzen, indem z.B. in einer Stunde Versuche zum Treibhauseffekt durchgeführt und Daten ausgewertet und evaluiert werden (Schwerpunkt: Science Literacy) und in einer anderen Stunde der Treibhauseffekt im Kontext mit dem Klimawandel und seinen Folgen diskutiert wird (Schwerpunkt: Scientific Literacy).

Im PISA 2018 Science Framework werden drei Kompetenzen zum Erreichen der Scientific Literacy genannt (siehe Kapitel 2.3.1). Die Kompetenzen sind zentral „to understand and engage in critical discussions about issues that involve science and technology“ (OECD, 2019, S. 98). Sie sind nötig um an wichtigen naturwissenschaftlichen Diskussionen teilnehmen zu können. Die Schüler\*innen sollen naturwissenschaftliche Phänomene wissenschaftlich erklären können und auch ihre Konsequenzen für die Gesellschaft erfassen. Sie sollen zudem Forschungsfragen stellen und evaluieren können, um wissenschaftliche Fragestellungen herauszuarbeiten und evaluieren zu können. Dabei ist immer entscheidend, dass die Fragestellung wissenschaftlich beantwortet wird. Außerdem sollen die Schüler\*innen ihre Daten wissenschaftlich interpretieren und evaluieren, um zu beurteilen, wie zuverlässig diverse Schlussfolgerungen sind (OECD, 2019). Dadurch wird den Schüler\*innen ermöglicht, ihr Verhalten und das der Gesellschaft kritisch zu hinterfragen und an politischen Diskursen faktenorientiert und sachlich teilzunehmen. Dies wieder ermöglicht politische Teilhabe und stärkt somit die Demokratie, das politische System Österreichs.

In diesem Sinne geht es bei Scientific Literacy über das Wissen und Verstehen von Naturwissenschaften, wie dieses Wissen erzeugt wird und welche Fragestellungen sich dahinter verbergen, ihre kritische Auseinandersetzung mit diesen und welche persönlichen und gesellschaftlichen Konsequenzen daraus gezogen werden können. Wird Scientific Literacy in diesem Sinn definiert, gehören auch Nature of Science (NOS) und Nature of Scientific Inquiry (NOSI) dazu (N. G. Lederman et al., 2013; Mesci & Erdaş-Kartal, 2021). Auf sie soll nun eingegangen werden.

### **2.3.3 Nature of Science (NOS) und Nature of Scientific Inquiry (NOSI)**

Bei Nature of Science (NOS) geht es um „science as a way of knowing“, Naturwissenschaft als Möglichkeit zum Wissensgewinn oder auch um Werte und Vorstellungen, welche im Prozess der naturwissenschaftlichen Wissensbildung entstehen (N. G. Lederman et al., 2013).

NOS beschreibt wichtige Merkmale von Naturwissenschaft. Sie kann durch folgende Aspekte charakterisiert werden:

- Sozialer und kultureller Einfluss auf die Naturwissenschaften:  
Wissenschaft wird durch Werte und Kultur beeinflusst, in denen sie eingebettet ist. Die Gesellschaft legt fest, was geforscht werden darf und auch was gefordert ist (z.B. Impfung gegen Corona).
- Kreativität in der Naturwissenschaft:  
In jeder Phase des Forschungsprozesses spielen Kreativität und Vorstellungskraft eine wichtige Rolle.

- Beobachtung und Schlussfolgerung:  
Beobachtung muss als wissenschaftliche Handlung verstanden werden. Sie unterscheidet sich von der „alltäglichen“ Handlung. Verschiedene Wissenschaftler\*innen ziehen aus gleichen Beobachtungen eventuell nicht gleiche Schlussfolgerungen. Sie können z.B. durch ihre Erwartungshaltung beeinflusst werden.
- Veränderbarkeit von naturwissenschaftlichem Wissen:  
Das Wissen in den Naturwissenschaften darf nicht als absolut gesehen werden, es verändert sich im Laufe der Zeit. Es ist dennoch nicht beliebig, da es belastbar und zuverlässig ist.
- Theorie und Gesetz:  
Naturwissenschaftliche Theorien sind anerkannte Erklärungsgebäude. Gesetze beschreiben Beobachtungen bzw. Beziehungen von Naturphänomenen unter konstanten Bedingungen.
- Vielfalt naturwissenschaftlicher Methoden:  
Es gibt nicht die „eine“ naturwissenschaftliche Methode. Sie variieren nicht nur in den verschiedenen Fachgebieten, sondern auch innerhalb dieser. Welche Methode gewählt wird, hängt von dem Forschungsgegenstand und Forschungsziel ab.

(Koska & Krüger, 2012)

Im naturwissenschaftlichen Unterricht können einzelne Aspekte des hier genannten einfließen. Nachdem z.B. Schüler\*innen gleiche Beobachtungen in einem Experiment gemacht haben, könnten Schlussfolgerungen offen diskutiert werden und sichtbar machen, ob sich diese unterscheiden und vielleicht auch warum. In einer anderen Stunde könnte man zum Beispiel über die Konsequenzen ihrer Schlussfolgerung auf einer gesellschaftlichen Ebene (z.B. Konsequenzen des Klimawandels) sprechen. Wiederum an anderer Stelle könnte mit den Schüler\*innen besprochen werden, wie sich Meinung und Beweislage z.B. zum Klimawandel in den letzten Jahren verändert hat. So könnten wichtige Aspekte von NOS besprochen werden und ihnen so bei der Meinungsbildung politischer Diskurse helfen.

Folgende Argumente sprechen unbedingt dafür, dass NOS wichtig ist: es hilft, dass Technologien, die unseren Alltag bestimmen, verstanden werden; es sorgt dafür, dass demokratische Entscheidungen informiert getroffen werden können oder die moralischen Werte oder kulturellen Vorstellungen einer Gesellschaft besser zu verstehen (N. G. Lederman, 2006). Wünscht man sich ein aufgeklärtes und aktives Mitglied der Gesellschaft zu sein, ist ein Wissen zu Nature of Science entscheidend. Da unsere Welt von Wissenschaft geprägt ist, ist es wichtig ihre Regeln zu kennen. Das hilft informierte Entscheidungen zu treffen und die Demokratie zu stärken anstatt uninformed Entscheidungen zu treffen und die Demokratie damit zu schwächen (siehe Corona-Pandemie, Filterblase in Social Media).

Bei Nature of Scientific Inquiry (NOSI) geht es hingegen um konkrete Arbeitsweisen in den Naturwissenschaften. Es geht z.B. um verschiedene Methoden, die gewählt werden können, um die Forschungsfragen zu beantworten oder warum diese Methoden gewählt werden (Schwartz et al., 2008).

Folgende Aspekte sind wichtig für NOSI:

- Questions guide investigations: Wissenschaftler\*innen müssen zuerst konkrete Fragen stellen, die ihnen dann helfen, ihre Forschung voranzutreiben.
- Multiple methods of scientific investigations: Wissenschaftler\*innen verwenden verschiedene Methoden, die abhängig von der Forschungsfrage sind.
- Multiple purposes of scientific investigations: Wissenschaftler\*innen verfolgen unterschiedliche Zwecke mit ihrer Forschung (heilen von Krankheiten, Welt besser verstehen....).
- Justification of scientific knowledge: Wissenschaftler\*innen begründen ihre Erklärungen basierend auf naturwissenschaftlichen Beweisen.
- Recognition and handling of anomalous data: Wissenschaftlicher\*innen beleuchten ihre Daten kritisch und ignorieren keine Daten, die vielleicht ihrer Theorie widersprechen könnten.
- Distinctions between data and evidence: Wissenschaftler\*innen unterscheiden zwischen Daten (z.B. Werte, Fotos, ...) und Beweisen (Produkt Datenanalyse).
- Community of practice: Wissenschaftler\*innen überprüfen immer auch die Arbeit anderer Wissenschaftler\*innen (Peer Review).

(Schwartz et al., 2008)

Im Unterricht kann das so umgesetzt werden, dass kritisch reflektiert wird, warum Daten, die von der Theorie der Schüler\*innen abweichen, nicht einfach verworfen werden dürfen, sondern diskutiert werden müssen. Eine andere Möglichkeit wäre, dass die Schüler\*innen die Arbeiten gegenseitig kritisch beleuchten und ein Feedback geben (Peer Review). Sie könnten auch in einer größeren Gruppe ihre Versuchsergebnisse präsentieren und diskutieren. Das sind Ideen, wie der Unterricht von NOSI für die Schüler\*innen begreifbar werden kann.

Zwar gibt es Überlappungen zwischen NOS und NOSI, aber generell kann gesagt werden, dass: “NOS aspects are those that pertain most to the *product* of inquiry, the scientific knowledge. NOSI aspects are those that pertain most to the *process* of inquiry, the “how” the knowledge is generated and accepted” (Schwartz et al., 2008, S. 3).

Bei NOS geht es mehr um die Produkte der Forschung in den Naturwissenschaften und bei NOSI um den Prozess der Forschung in den Naturwissenschaften. Bei NOS stehen die allgemeinen Merkmale von Naturwissenschaft im Vordergrund und bei NOSI der Prozess dahinter.

Durch das Durchführen von Versuchen im naturwissenschaftlichen Unterricht alleine ohne Phasen der Reflexion kann ein Wissen und Verstehen NOS/NOSI von den Schüler\*innen nicht aufgebaut werden. Die Schüler\*innen sollten stattdessen z.B. ihren Forschungsfragen im Labor nachgehen und anschließend über ihre Aktivitäten reflektieren und über das Wissen, das sie gerade gewonnen haben. So können die Aspekte von NOS/NOSI explizit gemacht werden. Es geht dabei nicht darum, dass die Lehrperson den Schüler\*innen gewisse Anweisungen gibt, die sie dann ausführen, sondern, dass sie den Schüler\*innen einen Rahmen vorgibt, indem Reflexion möglich ist (Abd-El-Khalick et al., 2004). Die Schüler\*innen brauchen hierfür die Anleitung der Lehrperson. Sie leitet die Diskussionen, stellt ihnen anregende Fragen und hilft ihnen so dabei, naturwissenschaftliches Wissen auf einer übergeordneten Ebene kritisch zu reflektieren und sich damit auseinanderzusetzen (R. L. Bell, 2009).

Es zeigt sich jedoch ein Mangel an Umsetzung des Unterrichts von NOS/NOSI an den österreichischen Schulen. NOSI-Aspekte werden von vielen Lehrer\*innen in dem Unterricht nicht oder nur geringfügig mit einbezogen (J. S. Lederman et al., 2021). Auch das Verstehen von NOS ist ein Problem für die Lehrer\*innen (Scheuch et al., 2018).

Forschendes Lernen und Scientific Literacy und somit NOS/NOSI sind also eng miteinander verknüpft: Wird Forschendes Lernen erfolgreich durchgeführt, können die benötigten Kompetenzen zum Erreichen einer Scientific Literacy erarbeitet werden. Dadurch wird wiederum eine Grundlage geschaffen, um sich mit naturwissenschaftlichem Wissen auf einer übergeordneten Ebene auseinanderzusetzen.

Gelingt diese Auseinandersetzung, ergeben sich für die Schüler\*innen und die Gesellschaft folgende Möglichkeiten:

- Verstehen Menschen, wie Wissenschaftler\*innen arbeiten (wie sie Schlussfolgerungen ziehen, welche Grenzen dies aufweisen etc.) werden wissenschaftliche Behauptungen leichter akzeptiert und weniger wahrscheinlich abgelehnt (American Association for the Advancement of Science, 2009). Dieser Punkt ist besonders zur Beurteilung gesellschaftlicher Fragen und Entdeckungen wichtig (Stichwort: Impfgegner\*innen, Klimawandelleugner\*innen).
- Fokussiert sich der Unterricht nur auf Gesetze und Theorien, kann es nicht gelingen, dass die Menschen verstehen, wie Wissenschaftler\*innen arbeitet und es entwickelt sich ein falsches Bild von Wissenschaft (American Association for the Advancement of Science, 2009). Forschendes Lernen, Scientific Literacy, NOS/NOSI können dem entgegenwirken.

In Schulen in Österreich ist das Unterrichten, welches auf Inquiry basiert, jedoch noch nicht stark verbreitet (Puddu, 2017).

Auch in anderen Ländern ist das ein Problem. Die Gründe hierfür reichen von Fehlen von Material, Einschränkungen in der organisatorischen Ausführung, Fehlen von Fertigkeiten usw. Dies sollte sich aus den nun genannten Gründen jedenfalls ändern (Hofer et al., 2018).

Das praktische Arbeiten im naturwissenschaftlichen Unterricht, in welchem z.B. Versuchsprotokolle wiederholt werden, sind nicht mit Forschendem Lernen gleichzusetzen. In welcher Weise es sich von diesem unterscheidet, wird nun beschrieben.

## 2.4 Unterscheidung zwischen Forschendem Lernen und Praktischen Arbeiten

Die Frage ist nun, wie sich praktisches Arbeiten in den Naturwissenschaften von Forschendem Lernen abgrenzt. Durch „laboratory experiences“, praktischen Arbeiten im Labor, bekommen die Schüler\*innen die Möglichkeit, sich mit ihrer Umwelt auseinanderzusetzen, sie verwenden verschiedene Geräte, unterschiedliche Arten zur Sammlung von Daten und Modelle und Theorien aus der Naturwissenschaft (Singer et al., 2005). Dabei werden jedoch häufig Phänomene reproduziert, oftmals nach einer rezeptartigen Anleitung (Hofer & Lembens, 2021). Diese praktische Auseinandersetzung macht gerade den Chemieunterricht so besonders. Der Ablauf ist jedoch oft so, dass den Schüler\*innen ein Versuchsprotokoll vorgegeben wird und sie dieses dann wie beschrieben durcharbeiten. Dabei haben die Schüler\*innen nicht die

Möglichkeiten, sich mit ihren eigenen Fragestellungen zu befassen oder sich mit anregenden Fragen zu Naturwissenschaften und ihrer Arbeitsweisen zu stellen, wie es NOS/NOSI-Aspekte fordern (siehe Kapitel 2.3.3).

Wie bereits erwähnt, schreibt Dewey 1910 bereits davon, wie wichtig er es findet, dass Naturwissenschaft mehr als aufbereitete Materialien und Stoff ist. Es ist seiner Meinung nach wichtig, dass naturwissenschaftliche Prozesse nicht nur einfach durchlaufen werden, sondern dass die Schüler\*innen Erfahrungen machen, die ihnen dabei helfen, wissenschaftlich zu arbeiten und Wissenschaft verstehen zu können (Dewey, 1910).

Für Dewey ist dies aber nicht nur das Anwenden von verschiedenen Methoden. Tatsächlich ist er der Meinung, dass zwar viele Schüler\*innen Versuche mit großer Geschicklichkeit durchführen, ihnen aber der damit verbundene Erkenntnisgewinn nicht bewusst ist. Dazu braucht es mehr, es muss Inquiry stattfinden, denn das Produkt hierfür kann tatsächlich als Wissen, als Erkenntnis verstanden werden (Dewey, 1910, 1938).

Inquiry ist ein zentraler Bestandteil von Forschendem Lernen, obwohl es sich von diesem unterscheidet (siehe Kapitel 2.3.1). Forschendes Lernen erfordert die Anwesenheit einer Fragestellung. Sie soll im Verlauf von Forschendem Lernen bearbeitet und beantwortet werden. Das ist bei praktischen Arbeiten, bei denen nur das Üben im Umgang mit Geräten oder Reproduzieren von Phänomenen im Vordergrund stehen, nicht gefordert (Hofer & Lembens, 2021).

Beim Forschenden Lernen werden natürlich Fähigkeiten des praktischen Arbeitens benötigt, um zuverlässige Daten zu produzieren.

Die Ergebnisse müssen anschließend auf die Fragestellung bezogen interpretiert werden. So können wichtige Erkenntnisse gewonnen werden. Es ist aber nicht zwingend notwendig, dass Erkenntnisprozesse nur auf eigenständigen praktischen Arbeiten basieren. Forschendes Lernen kann z.B. durch Analyse bereits vorhandener Daten oder durch Arbeiten mit Modellen stattfinden (Hofer & Lembens, 2021).

Praktisches Arbeiten ist somit für Forschendes Lernen nicht zwingend notwendig. Wichtig ist jedoch, dass beim Forschenden Lernen die Schüler\*innen von einer Fragestellung ausgehen und diese durch Anwendung diverser Methoden und Interpretation von Daten beantworten können.

Die Umsetzung findet auf verschiedenen Stufen (Level) unter Anleitung der Lehrperson statt (Hofer & Lembens, 2021). Sie werden im folgenden Kapitel erläutert.

## 2.5 Die Stufen von Forschendem Lernen

In der Literatur finden sich unterschiedliche Ergebnisse zur Fragestellung, ob Forschendes Lernen bei den Schüler\*innen zu höheren Lernerfolgen führt. Zwar gibt es Studien, deren Ergebnisse darauf hindeuten, dass Forschendes Lernen weniger effizient wirkt als Unterricht mit direkten Anweisungen, Resultate anderer Studien weisen jedoch darauf hin, dass durch Forschendes Lernen ein gleicher oder sogar größerer Lerneffekt erzielt werden kann.

Diese vermeintlich widersprüchlichen Ergebnisse entstanden auch deshalb, weil sich die Definitionen von Inquiry, von Forschenden Lernen, unterscheiden (Blanchard et al., 2010).

Laut Blanchard, 2010, gibt es verschiedene Stufen, Levels, von Forschenden Lernen:

Tabelle 1: Stufen (Level) von Forschenden Lernen nach Blanchard (Blanchard et al., 2010, S. 581)

	Source of Question	Data Collection Methods	Interpretation of Results
<b>Level 0:</b> Verification	Given by a teacher	Given by a teacher	Given by a teacher
<b>Level 1:</b> Structured	Given by a teacher	Given by a teacher	Open to student
<b>Level 2:</b> Guided	Given by a teacher	Open to student	Open to student
<b>Level 3:</b> Open	Open to student	Open to student	Open to student

Alle Level findet unter Anleitung der Lehrperson statt.

Level 0 ist so gestaltet, dass die Lehrperson den Schüler\*innen eine Fragestellung und auch die Methode vorgibt. Zusätzlich leitet die Lehrperson die Schüler\*innen dabei an, die Daten zu interpretieren, sodass sie die gewünschten Schlussfolgerungen ziehen können.

Auf Level 1 werden die Schüler\*innen mit einer bestimmten Frage konfrontiert und auch die Methode wird ihnen vorgegeben, aber sie müssen ihre Daten selbstständig interpretieren.

Führen die Schüler\*innen Versuche auf Level 2 durch, wird ihnen nur noch die Fragestellung von der Lehrperson vorgegeben, die Methoden werden von den Schüler\*innen selbst vorgeschlagen und ausgewählt, und auch die Interpretation der Daten obliegt ihnen.

Level 3 erlaubt den Schüler\*innen die Fragestellung selbst zu wählen und ebenfalls die Methoden. Die Interpretation der Daten muss ebenfalls von den Schüler\*innen selbstständig durchgeführt werden.

Tatsächlich gibt es aber kein „optimales Level“, es kommt immer auf die Klasse, Materialien, Themen und das jeweilige Lehrziel an, welches Level sinnvoll ist. Level 3 ist somit nicht das „perfekte, ideale“ Level, es kommt auf die Situation und den Kontext an.

In Blanchards Untersuchung wurde die Effizienz einer Umsetzung von Forschendem Lernen auf Level 2 in den folgenden Bereichen getestet: konzeptuelles Wissen, prozedurales Wissen und NOS/NOSI. Konzeptuelles Wissen bedeutet für die Untersuchung von Blanchard z.B. zu wissen, dass die schwarze Tinte aus mehreren Farbstoffen besteht (Blanchard et al., 2010). Konzeptuelles Wissen beschäftigt sich mit Informationen, die miteinander verknüpft werden (Kelter & Kaup, 2019). Unter prozedurelem Wissen versteht man ein Wissen zu Methoden in den Naturwissenschaften und wie diese am besten eingesetzt werden (OECD, 2019). Bei der Untersuchung von Blanchard wäre das z.B. wie schwarze Tinte auf einem Chromatographiepapier aufgetragen werden sollte.

Bei der Untersuchung von Blanchard handelte es sich um 1700 Proband\*innen in Middle Schools (11- bis 14-Jährige) und High Schools (14- bis 18-Jährige). Das Ergebnis der Studie lautete, dass Schüler\*innen, die am Forschenden Lernen auf Level 2 teilnahmen, bei Tests aus den besagten Kategorien insgesamt besser abschnitten als Schüler\*innen, die an einem Unterricht teilgenommen hatten, in welchem genauen Anweisungen zum Beantworten der Fragestellung vorgegeben sind und auch das Auswerten und Interpretieren der Daten von der Lehrperson bestimmt wird („traditional verification group“ oder Forschendes Lernen auf Level 0) (Blanchard et al., 2010).

Forschendes Lernen findet unter Anleitung statt (siehe Kapitel 2.1.1) statt. Dies findet auf allen Leveln statt. Auf Level 3, auf welchem sogar die Fragstellung von den Schüler\*innen bestimmt wird, ist es wichtig, dass die Schüler\*innen im Prozess des Forschenden Lernens begleitet werden.

Beim Wechsel auf ein nächsthöheres Level sind das Anwenden und Üben zusätzlicher Kompetenzen erforderlich. Die Schüler\*innen müssen z.B. beim Sprung von Level 1 auf Level 2 die Planung ihrer Versuche selbstständig erstellen. Dabei empfiehlt es sich, schrittweise vorzugehen, also mit einem niedrigeren Level zu beginnen und dann mit einem höheren fortzufahren. Als Starpunkt empfiehlt sich Level 0 (Hofer & Lembens, 2021).

## 2.6 Ergebnisse zu Studien zu Forschendem Lernen

Wie in Kapitel 2.5 beschrieben erzielten Schüler\*innen, die Forschendes Lernen auf Level 2 durchführten, bessere Resultate bei Tests über konzeptuelles und prozedurales Wissen und NOS/NOSI als Schüler\*innen der Kontrollgruppe („traditional verification group“).

Für eine erfolgreiche Umsetzung von Forschendem Lernen ist zum einen wichtig, dass Inquiry passiert (siehe Kapitel 2.3.1). So konnten Blanchards Untersuchungen zeigen, dass sie ihre besten Ergebnisse im Bereich von konzeptuellen Wissen dank „stronger implementation of Inquiry methods“ erzielen konnte (Blanchard et al., 2010, S. 607).

Ein weiterer wichtiger Punkt ist der Grad an Offenheit des Forschenden Lernens. So weisen Studien darauf hin, dass strukturierteres Forschendes Lernen zu besseren naturwissenschaftlichen Leistungen führt, aber höhere Level an Forschendem Lernen (also höherer Freiheitsgrade) einen positiven Effekt auf die Einstellung von Schüler\*innen zu Naturwissenschaften zeigen (Hofer et al., 2018; Jiang & McComas, 2015). Sieht man sich die Ergebnisse von Blanchards Untersuchung 2010 (siehe Kapitel 2.5) etwas genauer an, so kann zudem eine besondere Zunahme des prozeduralen Wissens bei Versuchen auf Level 2 im Vergleich zur „traditional verification group“ (Forschendes Lernen Level 0) festgestellt werden. Im Bereich des konzeptuellen Wissens konnte dies nicht festgestellt werden. Eine Zunahme an Wissen konnte wiederum im Bereich von NOS/NOSI beobachtet werden (Blanchard et al., 2010).

Ob Forschendes Lernen gelingt, hängt aber von einem weiteren Faktor ab: der Lehrperson.

Es ist extrem wichtig, dass die Lehrperson ein gutes „Scaffolding“ (siehe Kapitel 2.7) zur Verfügung stellt und somit ein gutes „Grundgerüst“ zum Aufbau der Stunde aufweisen kann. Es ist wichtig, dass die Lehrperson den Unterricht gut anleitet, damit Forschendes Lernen gelingt (Hofer et al., 2018).

Kirschner hält fest, dass gänzlich offenen Lernformate sich weniger effizient für das Lernen erweisen als Formate, die den Schüler\*innen genaue Vorgabe im Unterricht geben. In offen Lernformaten sollen die Schüler\*innen ihre eigenen wichtigen naturwissenschaftlichen Inhalte konstruieren - ohne Informationen der Lehrperson (Kirschner et al., 2006). Kirschner zählte auch Forschendes Lernen zu diesen Lernformaten (Kirschner et al., 2006). Dies ist jedoch laut Hmelo-Silver nicht der Fall, denn Forschendes Lernen erfolgt durchaus unter Anleitung (Hmelo-Silver et al., 2007), vergleiche auch mit Kapitel 2.1.1.

Blanchard geht sogar so weit, dass sie findet, ein Unterricht, wie er von der „traditional verification group“ durchgeführt wird, ist gegenüber einem Unterricht mit Forschendem Lernen vorzuziehen, wenn der letztere von der Lehrperson schlecht durchgeführt wird (Blanchard et al., 2010; Hofer et al., 2018).

Es kann somit festgehalten werden, dass Forschendes Lernen als effizienter Unterrichtsansatz gedeutet werden kann. Entscheidend ist jedoch, dass der Unterricht sehr gut angeleitet wird. Die Schüler\*innen brauchen ein gutes Gerüst für den Unterricht und die Lehrperson muss sich über seine bedeutende Rolle im Prozess des Forschenden Lernens bewusst sein. Von der Annahme, dass eine wissenschaftliche Fragestellung ohne jeglichen weiteren Input den Schüler\*innen reicht, effizient zu lernen, kann nicht ausgegangen werden.

Sowohl in den USA als auch in europäischen Ländern wird Forschendes Lernen von Lehrer\*innen als wichtig erachtet. Trotzdem wird es von zahlreichen Lehrer\*innen nicht verwendet (Hofer et al., 2018). Die Gründe sind vielfältig. Einige hier werden genannt:

- Viele Lehrer\*innen empfinden Forschendes Lernen als sehr zeitaufwändig. Dies deckt sich nicht mit den Vorgaben des Lehrplans.
- Ein weiterer Umstand, der Forschende Lernen erschwert, sind laut Lehrer\*innen die fehlenden materiellen und räumlichen Ressourcen. Zu große Klassen werden als weiteres Problem genannt.
- Die Einstellung von Lehrer\*innen zu Forschendem Lernen wird von ihrem Verständnis von NOS und was sie als „richtigen“ Unterricht und den Zweck von naturwissenschaftlichem Unterricht halten, beeinflusst.

(Hofer et al., 2018)

Ähnliche Hürden für Forschendes Lernen wurden auch von Hofer in einer Studie darüber, was Forschendes Lernen für fünf österreichische Chemielehrer\*innen bedeutet, gefunden. Sie gaben z.B. an, dass zeitliche und räumliche Ressourcen zu gering wären. Sie schätzten Forschendes Lernen als nicht effizient ein. Das kann daran liegen, dass Forschendes Lernen ihrer Meinung nach auf Level 2 und Level 3 stattfinden soll. Die Schüler\*innen sollten aber zuerst mit einem niedrigen Level von Forschendem Lernen einsteigen. Bei vielen Lehrer\*innen ist auch die Idee, dass Forschendes Lernen immer mit einer Fragestellung beginnt, nicht vorhanden. Dadurch ist es nicht verwunderlich, wenn die befragten Lehrpersonen Forschendes Lernen nur als Möglichkeit sehen, methodische Fähigkeiten zu verbessern (Hofer et al., 2018).

Die Erfahrungen der Lehrer\*innen und ihre Einstellung zur Forschenden Lernen sind natürlich wesentlich. Denn sie sind sicher ein großer Faktor, der bestimmt, ob und in welcher Weise Forschendes Lernen durchgeführt wird. Sie sollten daher unbedingt sehr ernst genommen werden.

Wie bereits erwähnt spielt beim Forschenden Lernen ein gutes Scaffolding eine entscheidende Rolle. Denn Forschendes Lernen ermöglicht zwar selbstbestimmtes Arbeiten und Lernen, doch was soll im Unterricht passieren, wenn die Schüler\*innen keine Lösung des Problems finden? Hierfür eignet sich Scaffolding, ein Gerüst an Lernunterstützungen, welches den Schüler\*innen helfen kann, Fortschritte bei der Lösung des Problems bzw. der Probleme machen zu können. Was man unter Scaffolding versteht und wie man es einsetzen kann, wird nun besprochen werden.

## 2.7 Scaffolding

Gestufte Lernhilfen, Concept Cartoons oder weitere Unterstützungen im Unterricht wie Protokollvorlagen können unter den Überbegriff „Scaffolding“ zusammenfasst werden können.

Erstmals wurde der Begriff Scaffolding den 1970ern verwendet. Der Einsatz von Scaffolding sorgte Schüler\*innen für gesteigertes Interesse, die Aufgaben zu lösen. Es half ihnen beim Finden von Lösungswegen und bei Kontrolle ihrer Frustration. Es empfiehlt sich ebenfalls Teilschritte zum Lösen des Problems einzuführen (Pineker-Fischer, 2017).

Scaffolding kann als ein wichtiges Werkzeug betrachtet werden, um Schüler\*innen in ihren Lernprozessen zu unterstützen. Das Scaffold ist genau das: Es hilft beim Erarbeiten von Aufgaben, nimmt ihnen aber nicht diese Arbeit und Erkenntnisentwicklung ab. Somit kann es als besonders wertvolle Maßnahme betrachtet werden, die den Schüler\*innen bei der Beantwortung ihrer naturwissenschaftlichen Fragesellungen hilft.

Ein weiteres Merkmal von Scaffolding ist, dass es sich dabei um eine zeitliche begrenzte Unterstützung handelt. Es soll den Lernenden helfen, neue Inhalt, Konzepte und Fähigkeiten zu erarbeiten. Sobald dieses Ziel erreicht ist, kann das Scaffolding entfernt werden, da es nicht mehr benötigt wird (Pineker-Fischer, 2017).

Beim Scaffolding ist ebenfalls Vygotkijs Zone der nächsten Entwicklung wichtig. Sie kann als Distanz zwischen der aktuellen Entwicklung der Lernenden und der potentiell möglichen Entwicklung, die durch entsprechende Unterstützung erreicht werden kann, verstanden werden. Dabei dürfen die Aufgaben von den Lernenden jedoch als nicht zu schwierig oder zu einfach empfunden werden. Werden die Aufgaben als zu schwierig empfunden, kann dies zu Frustration führen. Sind sie jedoch zu leicht gewählt, fällt der Lerneffekt gering aus (Burns & de Silva Joyce, 2005).

Die Lernenden können maximal profitieren, wenn sie in der Zone der nächsten Entwicklung arbeiten können, wenn sie also dank entsprechender Unterstützung weder unterfordert noch überfordert sind. Gerade in heterogenen Klassen – und jede Klasse ist heterogen, da jeder Schüler bzw. jede Schülerin unterschiedlich ist – kann man sich leicht vorstellen, dass es sich dabei um eine Gratwanderung handeln muss. Diese Gratwanderung kann unterschiedlich gemeistert werden. Die Lernunterstützung durch Scaffolding kann gerade darauf eingehen. Die Schüler\*innen können vor die Option gestellt werden, ob sie das Angebot an Scaffolding überhaupt in Anspruch nehmen wollen und wenn ja, welches genau. Scaffolding kann differenziert stattfinden. Dadurch haben die Schüler\*innen die Möglichkeit zum angemessenen Arbeiten in der Zone der nächsten Entwicklung.

### 2.7.1 Makro- und Mikro-Scaffolding

Beim Scaffolding kann man zwischen Makro-Scaffolding und Mikro-Scaffolding unterscheiden. Unter Makro-Scaffolding versteht man Strategien und Maßnahmen, welche vor Stattfinden des Unterrichts erstellt werden können (Hammond & Gibbons, 2005). Dazu zählen z.B. Protokollvorlagen oder gestufte Lernhilfen, die Schüler\*innen in der Phase „Untersuchungen durchführen und Daten erheben“ unterstützen können. Abgesehen von Protokollvorlagen und gestuften Lernhilfen wurde ein Concept Cartoon für die Lernschachtel eingesetzt.

Als Mikro-Scaffolding fasst man hingegen Maßnahmen zusammen, deren Notwendigkeit sich aus dem Unterrichtsgeschehen heraus entwickelt (Hammond & Gibbons, 2005). Die Schüler\*innen brauchen z.B. einen Anstoß um ihre Fragestellung weiter verfolgen zu können, den die Lehrperson durch eine gezielte Frage oder aktives Zuhören geben kann.

Im Zentrum von Forschendem Lernen steht der Erkenntnisgewinnungsprozess, der Weg zur Erkenntnisgewinnung (siehe Kapitel 2.1.1). Typische Phasen umfassen: Fragen entwickeln, Hypothesen bilden, Untersuchungen durchführen und Daten erheben, Daten auswerten und interpretieren und Ergebnisse präsentieren. In jeder dieser Phase kann Makro- bzw. Mikro-Scaffolding angewendet werden (Hofer, 2020). Ein Überblick zur Anwendung von Makro- bzw. Mikro-Scaffolding findet sich in Tabelle 2, welche von der Autorin nach Hofer, 2020 erstellt wurde.

Tabelle 2: Unterscheidung von Makro-Scaffolding und Mikro-Scaffolding nach Hofer, 2020, S. 16–18

Phase	Makro-Scaffolding	Mikro-Scaffolding
Fragen entwickeln	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stimuli zur Verfügung stellen</li> <li>• Fragenfindungsprozess mit Leitfragen strukturieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktives Zuhören</li> <li>• Offene und „echte“ Fragen stellen</li> </ul>
Hypothesen bilden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswahl an Vermutungen oder Hypothesen (inkl. Begründung) zur Verfügung stellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lernendenaussagen paraphrasieren bzw. umformulieren</li> <li>• Lernendenaussagen in Kontexte einbetten</li> </ul>
Untersuchungen durchführen und Daten erheben	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hinweise für Materialen, Geräte und Durchführung zur Verfügung</li> <li>• Struktur der Dokumentationsprozess vorgeben z.B. Protokolle, ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• .....</li> </ul>
Daten auswerten und interpretieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswertungsprozesse schrittweise anleiten</li> <li>• Leitfragen zur Auswertung und Interpretation aufwerfen</li> </ul>	
Ergebnisse präsentieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verpflichtende Aspekte der Präsentation angeben</li> <li>• Struktur und Ablauf der Präsentation vorgeben</li> </ul>	

Am besten kann der Unterricht gestaltet werden, wenn er aus einer Kombination von Makro- und Mikro-Scaffolding konzipiert ist (Hammond & Gibbons, 2005).

## 2.7.2 Einsatz von Scaffolding für Forschendes Lernen

Im Jahre 2017 wurde eine Studie publiziert, die Scaffolding für Forschendes Lernen einsetzte. Hierbei wurden gestufte Lernhilfen, sogenannte Forschertipps und auch diskurs-reflexive Szenarien in Form von Concept Cartoons eingesetzt (Arnold et al., 2017).

Bei gestuften Lernhilfen handelt sich um differenzierte Lernunterstützungen, die von den Schüler\*innen je nach Bedarf eingesetzt werden können. Schüler\*innen, die mehr Unterstützung benötigen, verwenden diese intensiver als jene, bei denen dies nicht der Fall ist. Leisen hat zur Bekanntmachung dieses Aufgabentyps 1999 viel beigetragen (Leisen, 1999). Stäudel weist darauf hin, dass durch den Einsatz von gestuften Lernhilfen das Kompetenzerleben von Schüler\*innen besonders gesteigert werden konnte. Neben anderen positiven Effekten wie der vermehrten Kommunikation werden sie als hilfreich beim Lösen von Aufgaben eingestuft (Stäudel & Wodzinski, 2010). Dies soll im Laufe der Arbeit überprüft werden.

Bei Concept Cartoons handelt es sich um die Darstellungen verschiedener Figuren (Cartoons), die über einen bestimmten Sachverhalt diskutieren. Die Äußerungen dienen als Impulse und

Diskussionsanregung für die Schüler\*innen (Arnold et al., 2017). Es wird eine Frage diskutiert zu deren Beantwortung naturwissenschaftliches Wissen benötigt wird. Die Aussagen der Personen enthalten mehr oder weniger wissenschaftlich angemessene Deutungen des Phänomens. Die Schüler\*innen sollen zu diesen Aussagen begründet Stellung nehmen. Die Schüler\*innen sollen dadurch angeregt werden, ihre Vorstellungen in Worte zu fassen und im Zuge der Diskussion auch weiterzuentwickeln. Den Schüler\*innen wird eine im Vergleich zum Frontalunterricht höhere Redezeit ermöglicht. Sie müssen auch lernen ihre Argumente zu verteidigen (Steininger, 2016).

Es empfiehlt zudem, dass die Lehrperson anschließend im Plenum mit den Schüler\*innen die Erklärungen und Meinungen der Schüler\*innen bespricht (Steininger, 2016).

Es konnte festgesellt werden, dass die Anwendung von Concept Cartoons einen Zuwachs im Bereich des Fachwissens bringen kann (Arnold et al., 2017).

In dieser Arbeit werden ebenfalls gestufte Lernhilfen und Concept Cartoons verwendet. Sie sollen als Makro-Scaffolding den Schüler\*innen als zusätzliche Lernunterstützung dienen. Zusätzlich sollen Protokollvorlagen, die ebenfalls zu Marko-Scaffolding zählen, eingesetzt werden.

Sie geben den Schüler\*innen ein Struktur vor, die ihnen dabei hilft, die Protokolle zu gestalten (Stiller & Wilde, 2021).

## 2.8 Forschendes Lernen anhand einer Lernschachtel

Die Lernschachteln sind eine Möglichkeit zum experimentellen kooperativen Arbeiten. Die Schüler\*innen werden hierbei vor ein naturwissenschaftliches Problem gestellt, welches sie mit vorgegebenen Materialien in einer Plastikbox kooperativ lösen sollen (Koenen et al., 2016).

Die Schüler\*innen suchen mithilfe dieser vorher festgelegten Auswahl an Geräten und Chemikalien und passenden Anleitungen nach experimentellen Lösungen für ein gegebenes Problem. Die Geräte und Chemikalien in der Lernschachtel sind so ausgewählt, dass sie bei möglichen Lösungen des vorgegebenen naturwissenschaftlichen Problems helfen können. Die Schüler\*innen trainieren durch Verwendungen in Kleingruppen auch ihre kommunikativen Kompetenzen und ihre Fähigkeit zur Problemlösung (Remus, 2010; Sumfleth et al., 2004). Die Lehrperson unterstützt die Schüler\*innen dabei, indem sie den Unterricht strukturiert und anleitet.

Die Lernschachtel dieser Arbeit beinhaltet unterschiedliche Chemikalien und Geräten, die den Schüler\*innen helfen, die Fragestellungen im Bereich Lebensmittelfarbstoffen als Säure-Base-Indikatoren zu beantworten. Sie beginnen mit einem Vorversuch, Forschendes Lernen auf Level 1. In diesem sollen die Schüler\*innen den Effekt einer sauren bzw. basischen Lösung auf eine Universalindikatorlösung testen. Diese zeigt im sauren Bereich eine rosa Färbung und im basischen eine blaue.

Im zweiten Versuch passiert Forschendes Lernen auf Level 2: Die Schüler\*innen sollen herausfinden, welche Farbstoffe von Smarties sich als Säure-Base-Indikatoren eignen. Zum Lösen dieser Aufgaben findet sich in der Lernschachtel zusätzlich unterschiedliche Laborutensilien (Multititerplatte ...), Unterstützungsmaterial (gestufte Lernhilfen, Concept Cartoon, Protokollvorlage) und Anleitungen für die Versuche. Ganz zentral ist aber, dass die

Lehrperson die Schüler\*innen beim Verwenden der Lernschachtel begleitet: Sie macht sie mit den Geräten vertraut, gibt ihnen die Fragestellungen vor und unterstützt die Schüler\*innen bei der Planung ihrer Versuche durch entsprechendes Feedback. Sie gestaltet den Unterricht so, dass Forschendes Lernen für die Schüler\*innen optimal ermöglicht wird. Forschendes Lernen ist nicht an spezifische Sozialformen oder Methoden gekoppelt (siehe Kapitel 2.1.1). Die Lernschachtel bietet jedoch eine gute Möglichkeit Forschendes Lernen durchzuführen und den Schüler\*innen unter Anleitung der Lehrperson das Beantworten der Fragestellungen zu ermöglichen.

„INQUIRYsteps“ ist ein Kooperationsprojekt der PH Niederösterreich (Berufspädagogik) und PH Wien (RECC NawiMa) sowie der Universität Wien (AECC Chemie) und der Universität Graz (Fachdidaktikzentrum Chemie) und möchte „Forschendes Lernen mithilfe digital unterstützter Lernschachteln“ ermöglichen. Bei der Webseite Inquirystep.com handelt sich um eine Onlineplattform, auf welchen naturwissenschaftliche Themen behandelt werden und hierfür digitales Scaffolding für Unterricht in Form von Forschendem Lernen angeboten wird. Die Themen sind als Lernschachteln organisiert. Für die Schüler\*innen müssen zwar Materialien und Chemikalien basierend auf den Vorschlägen der Webseite zusammengestellt werden, aber die Schüler\*innen werden von dieser Webseite auch angeleitet. Eine oder mehrere Fragestellungen sollen beantwortet werden, hierfür leitet die Webseite die Lernenden bei den Aufgaben an. Digitales Scaffolding findet in Form von Tippkarten (gestufte Lernhilfen), Concept Cartoons oder Versuchsanleitungen in Form von Videos oder in schriftlicher Form statt. Das soll den Schüler\*innen ermöglichen, die Lernschachtel in ihrem eigenen Tempo mit der Unterstützung, die sie brauchen, zu bearbeiten. Ein Protokoll kann zudem digital geführt werden. Es ist stark gegliedert und enthält die wichtigsten Eckpunkte der Aufgaben (Fragstellung, Versuchsplanung, Beobachtung und Schlussfolgerung). Es dient den Schüler\*innen als weitere Form von Makro-Scaffolding (INQUIRYsteps, 2023).

Bei meiner Masterarbeit werde ich Forschendes Lernen mithilfe einer Lernschachtel zum Thema „Lebensmittelfarbstoffe als Säure-Base-Indikatoren“ erstellen. Anleitungen und Scaffolding (Tippkarten, Concept Cartoon, Protokollvorlagen) sind ein wichtiger Bestandteil dieser. Ein längerfristiges Ziel ist es, diese Lernschachtel auf der Plattform INQUIRYsteps zugänglich zu machen.

## 2.9 Forschendes Lernen und das 5E-Modell

Das 5E-Modell nach Bybee kann verwendet werden, um Forschendes Lernen zu ermöglichen (Bybee, 2009). Vier aufeinander folgende Phasen (Engage, Explore, Explain, Extend) werden jeweils von der Evaluate-Phase begleitet (Hofer et al., 2016).

- *Engage*: In dieser Phase soll Vorwissen aktiviert werden und die Neugier der Schüler\*innen soll geweckt werden (Bybee, 2009). Das Interesse kann z.B. durch Präsentation eines naturwissenschaftlichen Phänomens, Ereignisses oder Problems geweckt werden. Es soll eine Verbindung zwischen vergangenen und aktuellen Lernerfahrungen gemacht werden (Bybee, 2014).
- *Explore*: Nachdem die Neugier der Schüler\*innen geweckt wurde, sollen diese durch unterschiedliche Aktivitäten ihre aktuellen Vorstellungen hinterfragen. Die Lernenden können zum Beispiel durch die Durchführung von verschiedenen Versuchen neue

Vorstellungen und Ideen entwickeln. Naturwissenschaftliche Fragestellungen können in dieser Phase gestellt und von den Schüler\*innen bearbeitet werden (Bybee, 2009). In dieser Phase können Versuche geplant und durchgeführt sowie Daten gesammelt werden (Hofer et al., 2016).

- *Explain:* In dieser Phase geht es um die Erklärung des naturwissenschaftlichen Sachverhalts. Die Schüler\*innen verarbeiten ihre neuen Erkenntnisse und sollen sie kommunizieren. Zusätzliche Beschreibungen und Erklärungen der Lehrperson können den Schüler\*innen helfen, ihre Beobachtungen zu interpretieren (Bybee, 2009). In dieser Phase können Ergebnisse präsentiert und besprochen werden (Hofer et al., 2016).
- *Elaborate:* Nach Durchlaufen der bisherigen Phasen (Engage, Explore, Explain) sollen die Schüler\*innen ein naturwissenschaftliches Phänomen nun beschreiben und erklären können. Darauf aufbauend können weitere naturwissenschaftliche Sachverhalte erklärt und verstanden werden (Bybee, 2014). In dieser Phase können Kenntnisse vertieft und neue Fragen bearbeitet werden (Hofer et al., 2016).
- *Evaluate:* Die Lehrer\*innen evaluieren die Lernfortschritte der Schüler\*innen. Die Schüler\*innen sollen auch ihr eigenes Verstehen einschätzen und beurteilen (Bybee, 2014). Entwicklungen und Fertigkeiten können beobachtet und Feedback soll gegeben werden (Hofer et al., 2016).

Diese Phase finden bei der Planung der Masterarbeit besondere Berücksichtigung.

Die Didaktische Rekonstruktion der Lernschachtel „Lebensmittelfarbstoffel als Säure-Base-Indikatoren“ wird im Folgenden beschrieben.

## 2.10 Didaktische Rekonstruktion

Bei der Didaktischen Rekonstruktion geht es darum, für eine passende Unterrichtsplanung die fachliche Klärung, die Schüler\*innenperspektiven und die didaktische Strukturierung gleichermaßen miteinzubeziehen. Sie stehen miteinander in Balance (Kattmann et al., 1997).

Dabei ist es in der Chemie wichtig, die Ebenen des Johnstone-Dreiecks zu beachten.

### 2.10.1 Das Johnstone-Dreieck

Johnstone publizierte im Jahr 2000 einen Artikel mit dem Titel „Teaching of Chemistry – Logical or Psychological?“. Darin schreibt er unter anderem (Johnstone, 2000, S. 10): “A sure way to kill a conversation at a party is to confess that you are a chemist. You might as well be a tax-collector or a priest! You fellow guests say things like:

- ‘I was never any good at chemistry’
- ‘I never understood atoms and molecules’
- ‘I enjoyed splashing about in the laboratory, but I didn’t understand what I was doing’

Diese Beschreibungen von Johnstone kommen bestimmt jedem Chemiker und jede Chemikerin bekannt vor. Ohne Umschweife und spezifischen Nachfragen berichten uns erwachsene Menschen von ihrer Überforderung mit dem Fach Chemie. Sie erzählen von fundamentalen

Prinzipien, die sie nie verstanden haben, aber sie scheinbar auch nicht losgelassen haben, denn warum sonst gehen sie auf das Thema ein?

Was ist also in diesem Unterricht schiefgelaufen? Und noch wichtiger: Wie kann man diesen verbessern?

Johnstone schreibt dazu, dass Unterricht in Chemie aus folgendem Grund als besonders herausfordern empfindet: „The psychology for the formation of most of chemical concepts is quite different from the ‘normal’ world. We have added complication of operating on and interrelating three levels of thought: the macro and tangible, the sub micro atomic and molecular, and the representational use of symbols and mathematics“ (Johnstone, 2000, S. 9). Die Schüler\*innen müssen also lernen drei Level (macro, submicro, representational), auf welchen Chemie stattfindet, gleichzeitig zu erfassen. Johnstone nennt diesen Versuch „folly“, also Wahnsinn und sieht die Ursache für viele falsche Vorstellungen von Schüler\*innen darin (Johnstone, 2000, S. 9).

Besonders im Chemieunterricht der Sekundarstufe I erscheint der traditionelle Übergang von der makroskopischen Ebene auf die symbolische als besonders schwierig und kann zur Bildung von Fehlvorstellungen führen. So sehen die Lernenden einerseits keinen Zusammenhang der unterschiedlichen Ebenen, anderseits wird ihnen auch oftmals überlassen, welche Vorstellungen sie sich auf submikroskopischer Ebene machen (Barke, 2006).

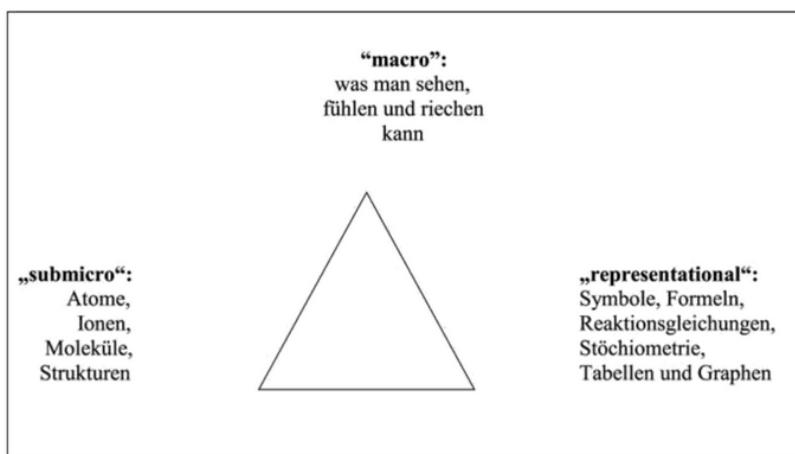


Abbildung 1: Chemisches Dreieck nach Johnstone (Barke, 2006, S. 31)

In der Abbildung 1 von Barke, 2006, sieht man noch einmal deutlich, was Johnstone damit meint:

#### **Makroskopische Ebene:**

Sie beschreibt, was für das Auge sichtbar ist, was man fühlen oder auch riechen kann.

#### **Submikroskopische Ebene:**

Hier geht es um Atome, Ionen, Moleküle und Strukturen.

#### **Repräsentationsebene:**

Hierzu zählen Symbole, Formeln, Reaktionsgleichungen, Modelle, Stöchiometrie, Tabellen und Graphen. Die Repräsentationsebene wird auch als symbolische Ebene beschrieben (Lembens et al., 2019).

Wie bereits erwähnt, ist es für die Lernenden eine Überforderung, alle diese Ebenen gleichzeitig zu beschreiben und begreifen zu müssen. Die Schüler\*innen können nicht zwischen diesen Ebenen einfach so hin- und herspringen wie der geübte Chemiker bzw. die geübte Chemikerin.

Es ist wichtig, dass die drei Ebenen im Unterricht benutzt werden. Sie sollten nicht vermischt, sondern benutzt werden, indem z.B. die richtige Fachsprache verwendet wird. Die Fähigkeit der Trennung der makroskopischen, submikroskopischen und symbolischen Ebenen ist für das Verstehen von chemischen Konzepten und Phänomenen essentiell. Die drei Ebenen müssen hierfür auch verknüpft werden (Nakoinz, 2015).

Ein möglicher Einstieg für die Lernschachtel findet auf makroskopischer Ebene statt: Die Schüler\*innen sollen sehen, wie sich die Farbigkeit der Säure-Base-Indikatoren nach Zugabe einer basischen bzw. sauren Lösung ändert. Ausgehend davon könnte in weiteren Unterrichtseinheiten auf die submikroskopische Ebene eingegangen werden, indem die Struktur der beteiligten Moleküle auf Teilchenebene besprochen wird. Danach könnte dies mit Reaktionsgleichungen aufgearbeitet werden, um die symbolische Ebene zu besprechen. Dadurch bleiben die Ebenen getrennt, werden aber dennoch miteinander in Beziehung gesetzt.

Bei der Planung des Unterrichts sollte auch darauf eingegangen werden, in welcher Entwicklungsphase die entsprechenden Schüler\*innen sich gerade befinden, um den Unterricht dementsprechend zu planen. Dies soll nun erörtert werden.

## **2.10.2 Die Entwicklungsstufen von Piaget**

Jean Piaget (1896-1980) war ein wissenschaftlicher Grenzgänger, in seinen Arbeiten überquerte er immer wieder verschiedene Grenzen. Bekannt wurde er vor allem als Kinderpsychologe. Den Kindern allein galt aber nicht seine Aufmerksamkeit, er konzentrierte sich vor allem auch auf die menschliche Erkenntnisfähigkeit und die menschliche Entwicklung. Piaget wollte die Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens mithilfe naturwissenschaftlicher Methoden erforschen (Kesselring, 1999).

Sieht man genauer hin, so zeigt sich, dass die Grenzüberschreitung auch sein Forschungsgegenstand selbst war. Denn ein Kind, das sich entwickelt, überschreitet immer neue Grenzen seines Könnens und seiner Erkenntnis. Piaget teilt diese Entwicklung in vier Stufen und indem er das tut, macht er deutlich, dass es DIE Erkenntnis oder DAS Erkenntnisvermögen nicht gibt. Denn was man so nennt, ist eher als ein Bündel von hierarchisch gegliederten intellektuellen Fähigkeiten zu verstehen. Die Erforschung dieser benötigt fächerübergreifende Anstrengungen.

Einer der wichtigsten Verdienste Piaget ist es, dass er mit seinen Untersuchungen über Intelligenzentwicklung zeigen konnte, dass es sich die Erkenntnistheorie nicht leisten kann, Entwicklungsfragen außer Acht zu lassen (Kesselring, 1999).

Erkenntnisse können also immer nur in dem Rahmen gemacht werden, in welchem gewisse Fähigkeiten zu Verfügung stehen. Die Ausprägung dieser Fähigkeiten hängt wiederum mit dem Entwicklungsstand des Kindes zusammen.

### **Stufen der Kindlichen Entwicklung**

Im Folgenden sollen die Entwicklungsstufen eines Kindes nach Piaget genauer beschrieben werden. Seine Ergebnisse müssen aufgrund neuerer Forschungsergebnisse differenzierter

betrachtet werden. So durchlaufen Kinder in ihrem individuellen Tempo die einzelnen Stadien, Piagets Grundaussagen über die Entwicklungsstufen sind trotzdem eine wichtige Grundlage für zahlreiche Forschungsfelder und Studien.

Die Stadien der kognitiven Entwicklung nach Piaget sollen im Folgenden zusammengefasst werden (Plappert, 2011): sensomotorisches Stadium (0-2 Jahre), präoperationales Stadium (2-7 Jahre), konkretoperationales Stadium (7-12 Jahre) und das formatoperationale Stadium (ab 12 Jahren).

Jedes Kind zeigt eine individuelle Entwicklung. Üblicherweise sollten sich 13- bis 14-jährige Schüler\*innen im formaloperationalen Stadium befinden. Auf der vierten Entwicklungsstufe von Piaget sind abstraktes Denken und das Ziehen von Schlussfolgerungen aus vorhandenen Informationen bereits möglich. Es können Operationen auf Operationen angewendet werden (Plappert, 2011).

Um die Schüler\*innen passend unterrichten und unterstützen zu können, wäre es von Vorteil, dass die Lernschachtel auf der makroskopischen Ebene des Johnstone-Dreiecks stattfindet. Das bedeutet, dass sie Schüler\*innen sich vor allem darauf konzentrieren sollen, was sie beobachten können, wenn sie testen, welche Farbstoffe von gefärbten Schokolinsen als Säure-Base-Indikatoren wirken. Die detaillierte Beschreibung der didaktischen Rekonstruktion der Lernschachtel findet nun statt.

## 2.11 Die Didaktische Rekonstruktion der Lernschachtel

Wie bereits erwähnt, wird guter Unterricht basierend auf der Didaktischen Rekonstruktion geplant (siehe Kapitel 2.10).

Bei der Didaktischen Rekonstruktion geht es darum, dass für eine passende Unterrichtsplanung die fachliche Klärung, die Schüler\*innenperspektiven und die didaktische Strukturierung gleichermaßen miteinbezogen werden. Sie stehen miteinander in Balance (Kattmann et al., 1997).

Es ist entscheidend, dass bei der Didaktischen Rekonstruktion drei wechselwirkende Teile eng aufeinander bezogen werden (Kattmann et al., 1997).

- Die fachliche Klärung
- Die Erfassung der Schüler\*innenperspektive
- Die didaktische Strukturierung

In der Abbildung 2 ist dies noch einmal graphisch dargestellt.

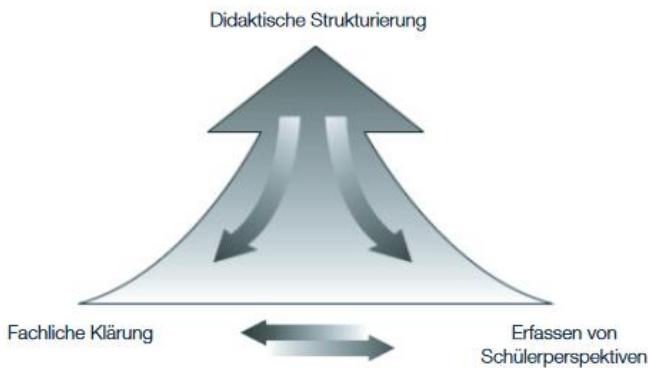


Abbildung 2: Das Beziehungsgefüge der drei Teilaufgaben im Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Reinfried et al., 2009, S. 406)

Das Modell der didaktischen Rekonstruktion behandelt alle diese drei Bereiche gleichberechtigt. Die Gleichbehandlung bezieht sich auf die Konstruktion von Lernumgebungen und die damit zusammenhängende didaktische Strukturierung. Wissenschaftlich geklärte Vorstellungen sollen lern- und lehrbar werden. (Kattmann et al., 1997).

### 2.11.1 Die Fachliche Klärung

Die fachliche Klärung soll wichtige naturwissenschaftliche Konzepte hinter Säuren und Basen besprechen. Im Zuge dessen werden auch der pH-Wert und der Aufbau und die Wirkung von Säure-Base-Indikatoren besprochen. Es soll ein Schwerpunkt auf die Farbstoffe von farbigen Schokolinsen (am Beispiel von Smarties) und ihrer Eignung als Säure-Base-Indikatoren gelegt werden.

#### Naturwissenschaftliche Konzepte zu Säure und Basen

Das historisch ältere Konzept von Arrhenius besagt, dass ein Säure ein Stoff ist, der in wässriger Lösung  $H^+$ -Ionen bildet, während eine Base  $OH^-$ -Ionen bildet (Mortimer & Müller, 2010). Diese Erklärung ist jedoch unzureichend und kann zu falschen Vorstellungen der Lernenden führen.

Im Lehrplan der AHS-Oberstufe werden Säure-Base-Reaktionen als Protonenübertragungsreaktionen als Beispiel für das Donator-Akzeptor-Konzept beschrieben (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2023). Dies entspricht dem Modell Brønsted, welches somit auch in der Sekundarstufe gelehrt werden sollte. Unter das Donator-Akzeptor-Konzept fallen auch Redoxreaktionen bzw. Komplexbildungsreaktionen, welche ebenfalls leichter im Unterricht didaktisch erarbeitet werden können, wenn das Prinzip hinter dem Konzept verstanden wurde.

Nach Brønsted wird unter eine Säure ein Teilchen verstanden, das Protonen abgibt. Eine Base ist ein Teilchen, das Protonen aufnimmt (Brønsted, 1928). Somit kann eine Säure ein Protonendonator und eine Base als Protonendonator beschrieben werden (Schmidt & Dietrich, 2014).

Um chemische Phänomene sinnvoll beschreiben zu können, ist es wichtig, dass das Johnstone-Dreieck beachtet wird (siehe Kapitel 2.10.1). Lehrer\*innen passiert es häufig, dass sie zwischen den drei Ebenen (makroskopische, submikroskopische und symbolische Ebene) wechseln, ohne sich bewusst zu sein, wie schwierig dies für die Schüler\*innen ist (Lembens et al., 2019). Diese müssen noch die Grundlagen der einzelnen Ebenen lernen. Eine Trennung ist dringend empfohlen.

Kommt es zu keiner klaren Trennung, kann es passieren, dass die Lehrperson zwar von „Säuren“ spricht, was sie aber eigentlich meint sind „saure Lösungen“. Die „saure Lösung“ ist der makroskopischen Ebene zuzuordnen, während das Wort „Säure“ nach Brønsted der submikroskopische Ebene zugeordnet wird. Dies erschwert den Schüler\*innen das Begreifen chemischer Phänomene und stellt eine Hürde für diese dar (Lembens et al., 2019).

Sogar erfahrene Lehrpersonen verwechseln die Säure-Base-Modelle von Arrhenius und Brønsted. So bezieht sich die Definition von Arrhenius von Säuren und Basen auf die Substanzebene (makroskopische Ebene), während Brønsted von Säuren und Basen als Teilchen spricht (submikroskopische Ebene). Da die Definition von Brønsted mit den Lehrplan vereinbart werden kann, sollte diese unterrichtet werden (Lembens et al., 2019).

Es ist übrigens sehr schwierig, die falschen Vorstellungen von Lehrpersonen zu korrigieren (Lembens et al., 2019).

Wenn schon Lehrpersonen Probleme damit haben, die makroskopische und submikroskopische Ebenen zu trennen, können die Schüler\*innen durch ihren Unterricht nur Fehlvorstellungen entwickeln. Dies muss natürlich vermieden werden, deshalb ist die Verwendung der richtigen Sprache und passender Erklärungen auch so wichtig.

## Der pH-Wert

Der pH-Wert ist definiert als der negativ dekadische Logarithmus der Konzentration von Protonen ( $H^+$ ) bzw. Hydronium-Ionen ( $H_3O^+$ ). Wird eine Säure zu Wasser gegeben, kommt es zur Senkung des pH-Werts. Andererseits steigt der pH-Wert, wenn eine Base Wasser hinzugegeben wird (Mortimer & Müller, 2010).

In reinem Wasser ist der pH-Wert = 7, solche Lösungen werden als neutral bezeichnet.

Wässrige Lösungen mit einem pH-Wert < 7 werden als saure Lösungen bezeichnet.

Wässrige Lösungen mit einem pH-Wert > 7 werden als basische Lösungen bezeichnet.

(Mortimer & Müller, 2010).

Der pH-Wert ist somit ein Maß für die Aktivität von Hydronium-Ionen in wässriger Lösung. Sie entspricht nicht der Stärke einer Säure oder Base. Die Stärke einer Säure oder Base ist die Eigenschaft der Teilchen, Protonen abzugeben bzw. anzunehmen (Lembens et al., 2019). Das Ausmaß der Fähigkeit einer Säure ein Proton an den Reaktionspartner abzugeben, ist laut Brønsted die Definition für die Säurestärke. Diese ist nicht mit einem niedrigen pH-Wert gleichzusetzen. Hier müssen zwei zentrale Punkte beachtet werden: der pH-Wert wird in sauren Lösungen gemessen (makroskopische Ebene), die Säure wäre das Teilchen (submikroskopische Ebene). Zudem ist der pH-Wert abhängig von der Konzentration der Protonen, somit kann eine starke Säure bei entsprechend niedriger Konzentration in Wasser eine saure Lösung mit relativ

hohen pH-Wert nahe 7 ergeben (Lembens & Reiter, 2018). Umgekehrt gilt das natürlich bei Basen. Starke Basen, die in Wasser gelöst sind, führen nicht automatisch zu einem sehr hohen pH-Wert der basischen Lösung, je nach Konzentration kann dieser auch nahe 7 liegen.

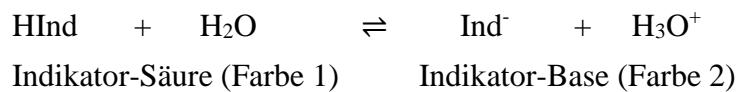
### Indikatoren - im Speziellen Säure-Base-Indikatoren

Das Wort Indikator lässt sich vom lateinischen Wort „indicare“, also „anzeigen“, ableiten. Mithilfe eines Indikators soll somit etwas angezeigt werden, und zwar eine Veränderung, welche während unterschiedlicher Reaktionen stattfinden kann. So gibt es neben Säure-Base-Indikatoren z.B. auch Indikatoren, die den Verlauf von Redoxreaktionen oder Komplexreaktion anzeigen.

Für diese Arbeit sind die Säure-Base-Indikatoren entscheidend. Der Fokus wird auf diesen liegen.

Säure-Base-Indikatoren sind schwache Säuren oder Basen. Sie ändern ihre Farbe bei Aufnahme oder Abgabe von Protonen (Steininger et al., 2015). Nur wenige Tropfen einer verdünnten Indikatorlösung zu einer basischen bzw. sauren Lösung reichen aus, um einen farblichen Effekt beobachten zu können. Sie beeinflussen daher den pH-Wert nicht signifikant (Mortimer & Müller, 2010).

Es gilt:



(Steininger et al., 2015).

Das bedeutet also, dass die Farbe des Indikators, die von der Zugabe der sauren/basischen Lösung bestimmt wird, sich auch wieder verändern kann. Die Reaktion ist eine reversible Reaktion, die in beide Richtungen abläuft. Verändert sich die Farbe des Indikators durch Zugabe einer sauren Lösung, so kann dies durch Zugabe einer basischen Lösung rückgängig gemacht werden.

Der  $\text{pK}_s$ -Wert als Maß für die Stärke der Säure bestimmt den Umschlagsbereich des Indikators. So ist Methylorange ( $\text{pK}_s$ -Wert 3,7) eine schwächere Säure als Phenolphthalein ( $\text{pK}_s$ -Wert 9,5) und ändert seine Farbe bei pH-Werten von 3,2 bis 4,4 (saure Lösung). Phenolphthalein ändert seine Farbe erst bei pH-Werten von 8,5 bis 9,7 (basische Lösung). Die Indikator-Säure und die Indikator-Base liegen im Verhältnis 1:1 vor, welches eine Mischfarbe erzeugt, wenn der pH-Wert dem  $\text{pK}_s$ -Wert entspricht (Steininger et al., 2015).

Es gibt zahlreiche Indikatoren, die im Chemieunterricht eingesetzt werden, wie Bromthymolblau (niedriger pH-Wert gelb; höher pH-Wert blau; der pH-Umschlagbereich liegt zwischen 6,0 bis 7,6) oder Phenolphthalein (farblos bei niedrigen pH-Wert; rot bei hohem pH-Wert; der pH-Umschlagbereich liegt zwischen 8,3 bis 10).

Ein Universalindikator ist eine Mischung aus mehreren Indikatoren, die je nach pH-Wert einen bestimmten Farbton aufweisen. Mit dem Vergleich der entsprechenden Farbskala kann man den pH-Wert eruieren (Mortimer & Müller, 2010).

Der chemische Aufbau typischer Vertreter von natürlich vorkommenden Säure-Base-Indikatoren soll im Folgenden besprochen werden.

## Natürliche Farbstoffe als Säure-Base-Indikatoren

Die Vielfalt der Farben in Pflanzen, Tieren oder Pilzen ist nicht nur ein wunderschöner Anblick, sondern essentiell für das Leben auf der Erde, so ermöglichen wichtige Farbstoffe wie Chlorophyll das Pflanzenwachstum oder Häm (Porphyrinkomplex) die Zellatmung (Mortimer & Müller, 2010). Auch Rotkrautextrakt zeigt eine wunderschöne violette Farbe und eignet sich daher als Säure-Base-Indikator. Für Schüler\*innen ist das Verwenden von Rotkraut besonders spannend, da sie einen Alltagsbezug dazu haben (Steininger et al., 2015). Aus der Küche ist vielen Schüler\*innen Rotkraut bekannt und damit zu arbeiten ist für viele Schüler\*innen interessant.

Der Eindruck von Farbe entsteht dadurch, dass Lichtquanten bestimmter Energie bzw. Frequenz aus dem sichtbaren Bereich des Spektrums des sichtbaren Lichts absorbiert werden. Das reflektierte Licht bestimmt die Farbe, die wir sehen. Erscheint z.B. ein Stoff grün, so wird rotes Licht absorbiert. Der Stoff erscheint in der Komplementärfarbe der absorbierten Spektralfarbe. Die Quantenenergie, die benötigt wird, um Elektronen von HOMO (highest occupied molecular orbital) in den LUMO (lowest unoccupied molecular orbital) zu befördern, entspricht bei delokalisierten  $\pi$ -Elektronensystemen jenen von sichtbarem Licht. Dadurch können wir viele organische Stoffe, deren Moleküle delokalisierte  $\pi$ -Elektronensystemen aufweisen, farbig sehen. Allgemein rückt die Lichtabsorption von Blau nach Rot je mehr  $\pi$ -Elektronen in konjugierten Doppelbindungen vorhanden sind. Fettsäuren z.B. haben zwar zahlreiche Doppelbindungen, diesen sind aber nicht konjugiert. Sie erscheinen farblos (Mortimer & Müller, 2010).

Zahlreiche natürlich vorkommenden Farbstoffe eignen sich als Säure-Base-Indikatoren (siehe Kapitel 2.12). Wie bereits erwähnt ist Rotkraut im Unterricht ein beliebter Säure-Base-Indikator. Rotkraut enthält Anthocyane. Sie sind verantwortlich für die pH-abhängige Veränderung der Farbe des Rotkrautextrakts. Das Anthocyan Cyanidin verändert seine molekulare Struktur und somit sein Absorptionsspektrum in Abhängigkeit vom pH-Wert. Dies ist in Abbildung 3 ersichtlich. Ist der pH-Wert kleiner als 3, zeigt sich eine rote Färbung; bei einem pH-Wert von 6 bis 7 zeigt das Cyanidin eine violette Färbung, bei einem pH-Wert größer als 8 verfärbt es sich bläulich und einem pH-Wert von 12 ist es irreversibel gelb gefärbt, da sich sein Ringsystem geöffnet hat. Dabei verschiebt sich das Absorptionsspektrum in den kurzwelligeren Bereich und es erscheint gelblich. Zuvor finden die ablaufenden Reaktionen reversibel statt (Steininger et al., 2015).

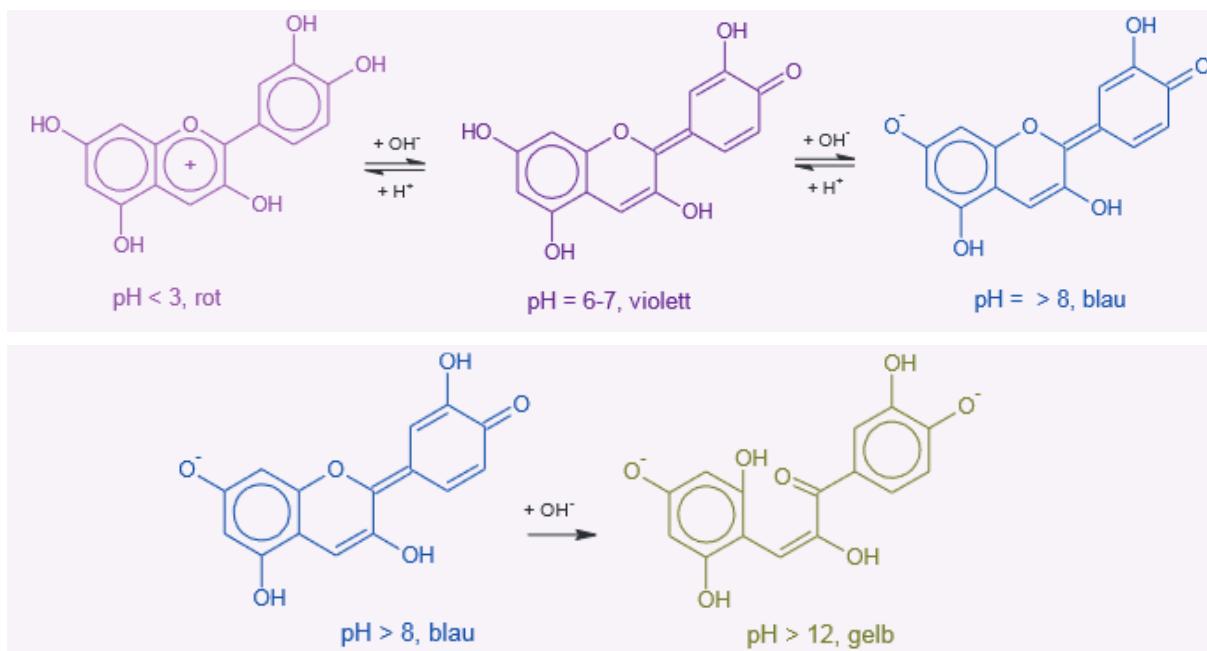


Abbildung 3: Unterschiedliche Struktur und Farbe von Cyanidin abhängig vom pH-Wert  
(Steininger et al., 2015, S. 23)

Im Folgenden werden die gefärbten Schokolinsen vorgestellt. Die Farbstoffe im Überzug und ihre potentielle Wirkung als Säure-Base-Indikatoren soll besprochen werden.

## 2.12 Die Lebensmittelfarbstoffe des Überzugs von Smarties und ihre Eignung als Säure-Base-Indikatoren

Ein zentraler Punkt bei den Überlegungen bei der Gestaltung der Lernschachtel war die Idee, einen Alltagsbezug für die Schüler\*innen zu schaffen. Dies kann durch das Verwenden von Lebensmitteln gut umgesetzt werden. Da die Beliebtheit von Süßigkeiten allgemein bekannt ist, entstand die Idee, farbige Schokolinsen zu verwenden. In Österreich findet sich Marke „Smarties“ von Nestlé in zahlreichen Supermärkten. Die Schüler\*innen sind aus eigener Erfahrung damit vertraut. Deshalb werden Smarties für die Lernschachtel verwendet.

Smarties werden von der schweizerischen Firma Nestlé hergestellt, ein weltweit führender Konzern in der Nahrungsmittelindustrie. Bereits seit 2007 produziert Nestlé seine Smarties-Schokolinsen ohne künstliche Farbstoffe. Stattdessen werden natürliche Farbstoffe aus Lebensmitteln verwendet. Die schlussendlichen Farben werden durch eine Mischung dieser Farbstoffe erzeugt (Nestlé Smarties, 2023).



Abbildung 4: Farbpalette der Smarties von Nestlé

Folgende Inhaltsstoffe sind für die Smarties von Nestlé gelistet:

- Zucker, Magermilch, Kakaomasse, Kakaobutter
- Weizenmehl, Butterreinfett, Molkenerzeugnis
- Reisstärke
- Emulator Lecithine
- Beetenrot (Farbstoff)
- Carotin (Farbstoff)
- Kurkumin (Farbstoff)
- Spirulinakonzentrat (Farbstoff)
- Färberdistel (Pflanzenkonzentrat)
- Rettich (Pflanzenkonzentrat)
- Überzugsmittel: Carnaubawachs, Bienenwachs weiß

(Nestlé Smarties, 2023)

Das weiße Überzugsmittel wird verwendet, damit ein weißer Hintergrund auf den Smarties entsteht, um die aufgetragenen Farben deutlicher sichtbar und strahlender zu machen.

Bei der Auflistung der färbenden Substanzen wird zwischen „Farbstoff“ und „Pflanzenkonzentrat“ unterschieden: Pflanzenkonzentrate werden durch Konzentrierung von Pflanzen gewonnen. Pflanzenkonzentrate können färbend wirkend.

Farbstoffe können in „natürliche“ und „künstliche“ unterschieden werden. Natürliche Farbstoffe werden im Gegensatz zu künstlichen aus natürlichen Rohstoffen wie Pflanzen oder Früchten extrahiert. Künstliche Farbstoffe werden synthetisch erzeugt (König, 1965).

- **Beetenrot** (roter Farbstoff)

Betanin ist der farbgebende Stoff von Beetenrot. Es gehört zur Gruppe der Betalaine. Da sein Absorptionsspektrum sich bei verschiedenen pH-Wert kaum ändert, eignet es sich nicht als Säure-Base-Indikator. Wird es über mehrere Tage bei unterschiedlichen pH-Werten gelagert, ändert sich dies (Devadiga & Ahipa, 2020).

Für die Versuche mit der Lernschachtel ist dies jedoch unerheblich. Die Strukturformel von Betanin ist in folgender Abbildung ersichtlich:

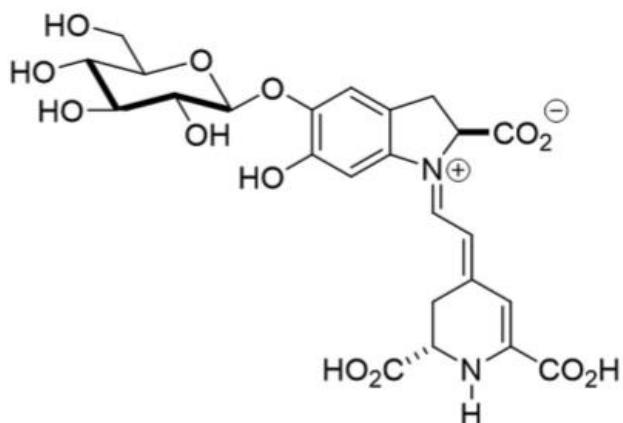


Abbildung 5: Strukturformel von Betanin (Silva et al., 2021, S. 541)

- **Carotin** (oranger Farbstoff)

Carotin gehört zur Gruppe der Carotinoide. Zu dieser Gruppe gehören neben Carotin auch die Xanthophylle. Ein besonders Carotin ist das  $\beta$ -Carotin, welches man in Karotten findet (Kolašinac et al., 2021). Carotine eignen sich nicht als Säure-Base-Indikatoren, da sie relativ stabil bei unterschiedlichen pH-Werten sind (T. Bell et al., 2016).

Die Strukturformel von  $\beta$ -Carotin findet sich in folgender Abbildung:

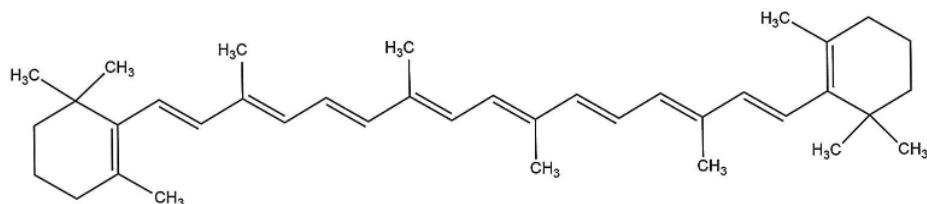


Abbildung 6: Strukturformel von  $\beta$ -Carotin (Kolašinac et al., 2021, S. 1044)

- **Kurkumin** (gelber Farbstoff)

Kurkumin ist ein gelber Farbstoff, der aus Kurkuma gewonnen werden kann. Kurkumin hat in seiner sauren Form eine gelbe Farbe. Unter Zugabe einer basischen Lösung gibt es Protonen ab, wodurch es zu einer strukturellen Umwandlung des Stoffs kommt. Es ändert seine Farbe von Gelb nach Rotbraun. Der Umschlagbereich liegt bei einem pH-Wert von 7,5-8,5. In stark basischen Lösungen spaltet sich auch das Wasserstoff-Ion der zweiten Hydroxygruppe sowie das der Hydroxygruppe des Enols, wodurch eine Färbänderung in Richtung Orange passieren kann (Steininger, 2019).

Die Reaktion, welche unter basischen Bedingungen abläuft, findet sich in folgender Abbildung Lösung:

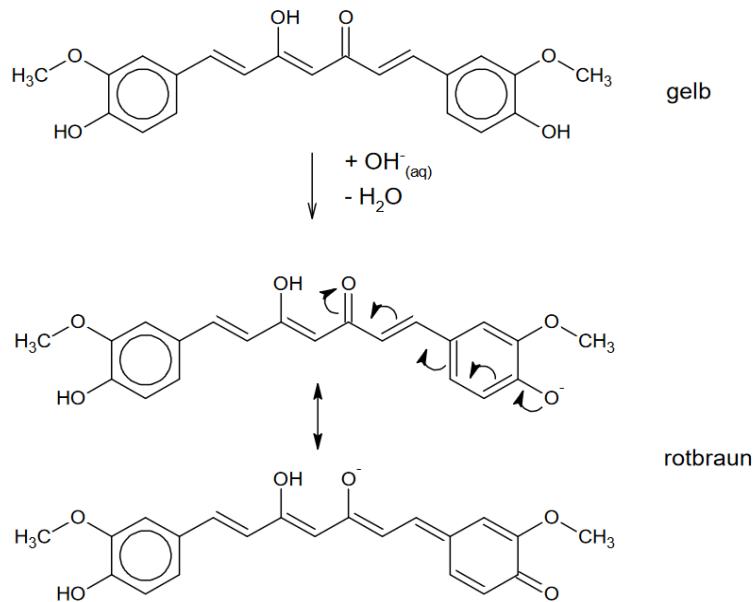


Abbildung 7: Die Veränderung von Kurkumin durch Protonenabgabe in basischer Lösung (Steininger, 2019, S. 14)

- **Spirulinakonzentrat (blauer Farbstoff)**

Cyanobakterien enthalten neben dem grünen Chlorophyll auch das blaue Phycocyanin, wodurch auch andere Lichtwellen absorbiert werden können und so für Fotosynthese verwendet werden können (Mortimer & Müller, 2010). Sie sind Mikroalgen und betreiben Fotosynthese und sind einzellige oder mehrzellige Mikroorganismen. Besonders interessant ist das Pigment und Protein Phycocyanin. Es hat eine starke blaue Farbe und gilt als “photosynthetic accessory pigment”, es spielt also bei der Fotosynthese eine wichtige Rolle. Die Alge *Spirulina* produziert dieses Pigment (Moreira et al., 2018). Die blaue chromophore Gruppe des Phycocyanins ist das Phyocyanobilin. Abbildungen zu den jeweiligen Strukturen und Strukturformeln finden sich hier:

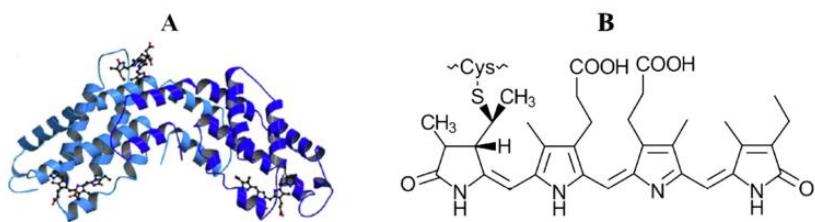


Abbildung 8: (A) Schematische Darstellung der  $\alpha$ -Untereinheit (helles Blau) und  $\beta$ -Untereinheit (dunkles Blau) von Phycocyanin. (B) Strukturform von Phycocyanobilin (Jaeschke et al., 2021, S. 3)

Die Stabilität von Phycocyanin ist pH-abhängig. Sie sinkt mit dem Anstieg des pH-Werts und das Pigment verliert seine Farbe (Moreira et al., 2018). Der Grund hierfür ist die Denaturierung des Proteins, wodurch es zum Verlust seiner mehrdimensionale Struktur und seiner Farbe kommt (Jaeschke et al., 2021). Dieser Vorgang ist für die Zugabe von Natronlauge und Salzsäure-Lösung reversibel, welches durch Zugabe der jeweiligen Stoffe von der Verfasserin der Arbeit beobachtet werden konnte.

Die folgende Abbildung zeigt die Abhängigkeit des Phycocyanins des pH-Werts:

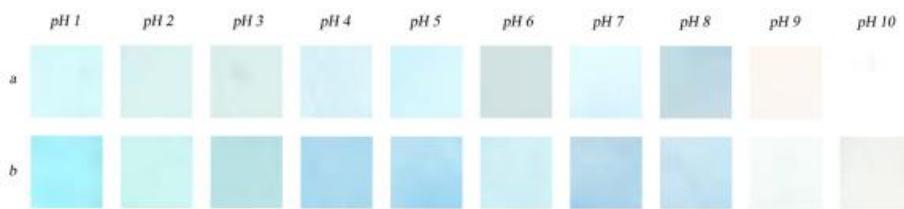


Abbildung 9: Fotos von Membranen mit 3% (w\*v<sup>-1</sup>) Phycocyanin innerhalb eines pH-Bereichs von 1-10. Dicke der Membranen: 34.7 µm (a) und 68.7 µm (b) (Moreira et al., 2018, S. 1861)

- **Färberdistel** (gelb-rotes Pflanzenkonzentrat)

Färberdistel (*Carthamus tinctorius*) enthält das farbgebende Pigment Carthamin. Das Pigment findet z.B. in der Lebensmittelindustrie oder Kosmetikindustrie Verwendung (Kim & Paik, 1997). Seine Strukturformel ist in der folgenden Abbildung ersichtlich:

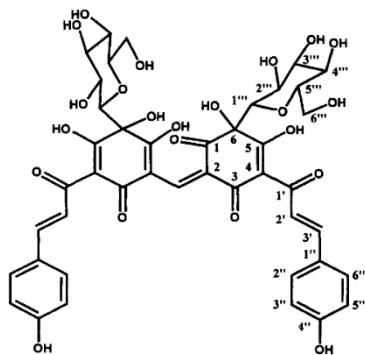
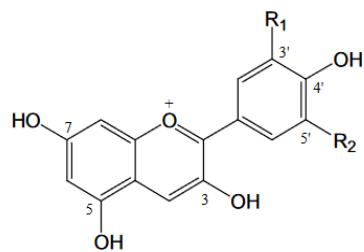


Abbildung 10: Strukturformel von Carthamin (Kim & Paik, 1997, S. 643)

Seine Farbe ist von dem pH-Wert abhängig. In saurer und neutrale Lösung ist seine Farbe Rosa bis Rot, während sie in alkalische Lösungen Orange-Gelb ist (Kim & Paik, 1997).

- **Rettich** (rosafarbene Pflanzenkonzentrat)

Die Schale von rotem Rettich enthält Anthocyane. Anthocyane sind eine Gruppe von über 400 Verbindungen. Sie bestehen aus mindestens einer Zuckerkomponente an der 3. oder 5. Stelle des Anthocyanins und dem Aglykon bzw. Anthocyanidin. Das Anthocyanidin ist die farbgebende Komponente, dessen Farbe vom pH-Wert abhängig ist (Fleschut, 2004). Die folgende Abbildung zeigt das Grundgerüst des Anthocyanidins und zwei wichtige Formen:



Anthocyanidin	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
Pelargonidin	H	H
Cyanidin	OH	H

Abbildung 11: Grundkörper der Anthocyane und die wichtigsten Anthocyanidine in der Natur (Fleschut, 2004, S. 3)

In roten Rettich findet sich vor allem ein Anthocyan, welches zur Gruppe der Pelargonidine zählt. Seine chemische Strukturformel ist in folgender Abbildung ersichtlich:

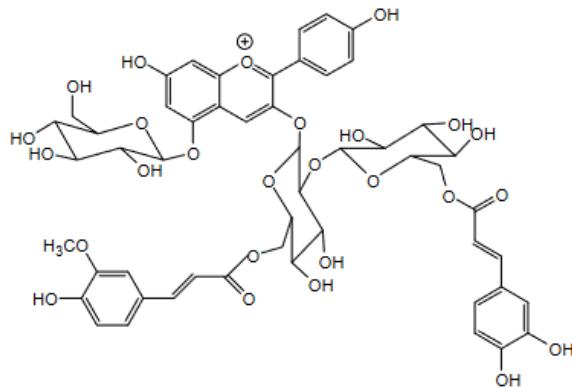


Abbildung 12: Acyliertes Hauptanthocyan der Rettichschale (Fleschut, 2004, S. 4)

Die Farbe der Anthocyane verändert sich üblicherweise mit dem pH-Wert. Bei niedrigen pH-Wert liegt sie bei Rot und verändert sich mit steigendem pH-Wert zu Purpur, Tiefblau und schlussendlich Gelb. Das gelbe Endprodukt entsteht durch eine Ringöffnung des Anthocyans (Fleschut, 2004).

Die folgende Abbildung zeigt die chemischen Reaktionen, die ablaufen, wenn das Molekül unterschiedlichen pH-Werten ausgesetzt ist:

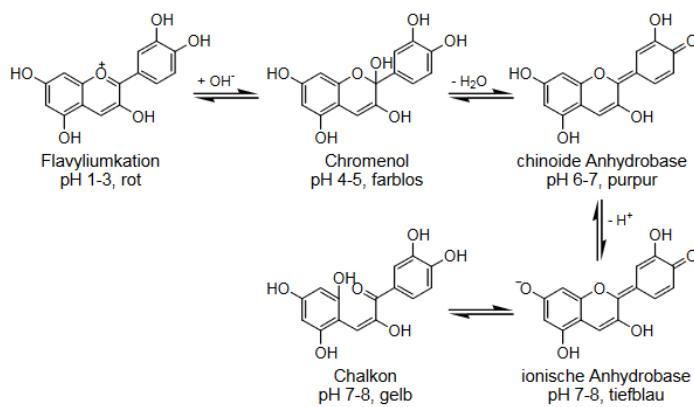


Abbildung 13: Strukturelle Veränderung der Anthocyane in Abhängigkeit vom pH-Wert (Fleschut, 2004, S. 5)

## 2.12.1 Mögliche Inhaltstoffe des farbigen Überzugs von Smarties

Der Hersteller Nestlé war auch nach höflicher Anfrage nicht bereit, in irgendeiner Weise Angaben zu machen.

Deshalb werden in der folgenden Tabelle diesbezügliche Vermutungen beschrieben. Sie basieren darauf, welche Farbstoffe sich als Säure-Base-Indikatoren eignen und welche Mischungen sinnvoll erscheinen, um den gewünschten farblichen Effekt der Smarties zu erreichen:

Tabelle 3: Darstellung der möglichen Inhaltsstoffen von Smarties mit Begründung

Farbe des Smarties	Mögliche Inhaltsstoffe	Begründung
Rot	Beetenrot + Färberdistel	Man erkennt, dass sich die Farbe des Smarties durch die Zugabe der basischen Lösung farblich Richtung Orange ändert. Dies könnte durch die Färberdistel bewirkt werden, deren Farbe sich mit dem pH-Wert ändert. Die starke rötliche Färbung stammt vermutlich vom Beetenrot, welches seine Farbe nicht mit dem pH-Wert ändert.
Blau	Spirulinakonzentrat + Beetenrot	Die blaue Farbe der Smarties kann mit der Verwendung von Spirulinakonzentrat erklärt werden. Sein Farbstoff ist abhängig vom pH-Wert, bei einem hohen pH-Wert bleibt der Farbstoff eher aus. Man erkennt bei Zugabe der basischen Lösung deutlich eine violette Färbung, die von Beetenrot gebildet werden könnte.
Violett	Spirulinakonzentrat + Rettich	Im neutralen pH-Bereich zeigt das violette Smartie eine blaue Färbung. Diese stammt vermutlich vom Spirulinakonzentrat. Bei niedrigem pH-Wert ändert sich die Farbe Richtung Rosa und bei hohem wird die Farbe gelblich. Diese Farbänderung ist typisch für Anthocyane, wie sie in Rettich zu finden sind.
Pink	Rettich	Bei niedrigem pH-Wert ändert sich die Farbe Richtung Rosa und bei hohem wird die Farbe gelblich. Diese Farbänderung ist typisch für Anthocyane, wie sie in Rettich zu finden sind.
Orange	Carotin	Die orange Farbe wird vermutlich von Carotin erzeugt. Sie ändert sie weder im basischen sauren Bereich.

Grün	Spirulinakonzentrat + Kurkumin	Grün wird üblicherweise von einer Mischung aus Gelb und Blau erzeugt. Im basischen Bereich verblasst der Farbstoff des Spirulinakonzentrats, wodurch die gelbe Farbe von Kurkumin besser sichtbar wird.
Gelb	Kurkumin	Die gelbe Farbe von Kurkumin ändert sich nur schwach, wenn sich der pH-Wert ändert. Sie bleibt tendenziell gelblich.
Braun	Beetenrot + Spirulinakonzentrat + Kurkumin	Die braune Farbe kann durch eine Mischung mehrerer Farben gebildet werden. Die leichte Verblasung der Farbe im basischen Bereich wird wahrscheinlich dadurch verursacht, dass das Spirulinakonzentrat bei hohen pH-Werten seine Farbe verliert. Braun wird üblicherweise durch eine Mischung von Rot (Beetenrot), Blau (Spirulinakonzentrat) und Gelb (Kurkumin) gebildet.

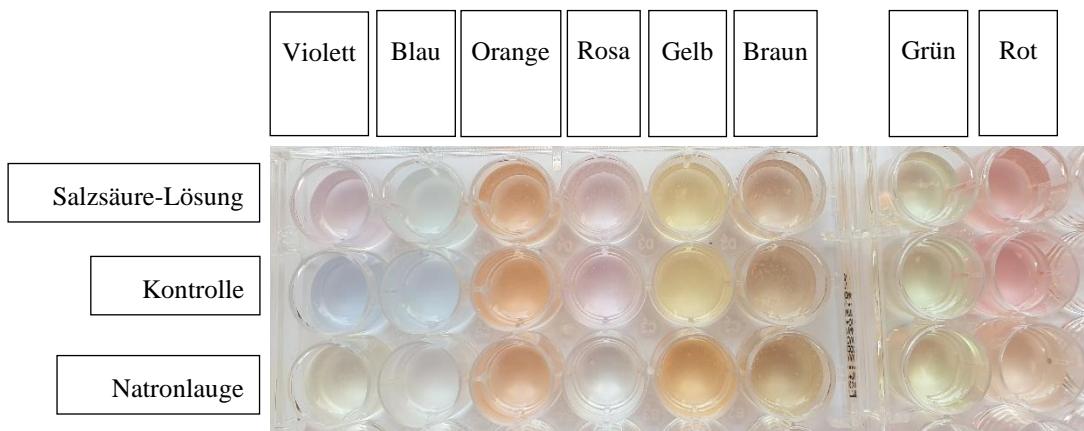


Abbildung 14: Nach Lösen der Farbstoffe von Smarties in Leitungswasser, wurden diese in die Vertiefung von Multititerplatten überführt. Wenige Tropfen einer sauren Lösung (Salzsäure-Lösung) und basischer Lösung (Natronlauge) wurden in die Vertiefungen pipettiert. Der Kontrolle wurde keine Lösung hinzugefügt.

## 2.13 Lernendenvorstellungen zum Thema „Säure und Basen“

In Kapitel 2.10 wurde die Didaktische Rekonstruktion bereits besprochen und die Wichtigkeit der Erfassung der Perspektive der Schüler\*innen. Diese Perspektive der Lernenden umfasst sehr viele Bereiche wie das Vorwissen, Interesse, Geschlecht, kognitive Fähigkeiten etc. der Schüler\*innen (Basten et al., 2021; Wallentin et al., 2008). Dazu zählen auch die Lernendenvorstellungen. Der Fokus wird auf diesen liegen. Ihre Bedeutung soll im Folgenden besprochen werden.

### 2.13.1 Die Wichtigkeit von Lernendenvorstellungen

In dieser Arbeit wird bewusst von Lernendenvorstellungen und nicht Schülervorstellungen gesprochen. Der Grund hierfür ist, dass Schülervorstellungen weibliche Schüler\*innen nicht miteinbezieht (Baumgartner-Hirscher et al., 2022). Außerdem beschränken sich solche Vorstellungen nicht auf Schüler\*innen, sondern finden sich auch bei Student\*innen in der Lehramtsausbildung oder auch noch bei bereits unterrichtenden Lehrer\*innen etc.

Das Unterrichten und Lernen von Chemie stellt sich als herausfordernd dar. Das liegt unter anderem daran, dass die chemische Erklärung von naturwissenschaftlichen Sachverhalten oftmals der Intuition der Lernenden widerspricht. Als Konsequenz haben die Lernenden große Probleme, ihre mitgebrachten Vorstellungen mit diversen chemischen Sachverhalten in Einklang zu bringen (Treagust et al., 2000).

Das naturwissenschaftliche Wissen muss laut der Theorie des Konstruktivismus erst konstruiert oder erzeugt, also durch eigenständige Verknüpfungen und Vorstellungen aufgebaut werden (Treagust et al., 2000). Es reicht oft nicht, wenn die Lernenden einen kurzen Text lesen oder ein Bild eines komplexen chemischen Vorgangs betrachten. Diese Prozesse finden auf mehreren Ebenen statt (makroskopisch, submikroskopisch, symbolische Ebene). Es ist die Aufgabe der Lehrperson diese zwar klar zu trennen, aber auch immer wieder zu verknüpfen.

Das Lernen naturwissenschaftlicher Sachverhalte ist somit ein gradueller Prozess, während dem die mitgebrachten Vorstellungen sich in wissenschaftliche Konzepte wandeln müssen (Treagust et al., 2000). In diesem Prozess müssen Wissenslücken gefüllt und ergänzt werden. Es müssen wissenschaftlich fragwürdige Auffassungen korrigiert und durch fachlich korrekte Konzepte ersetzt werden. Unangemessene mitgebrachte Vorstellungen müssen modifiziert werden. Es kommt zu einem Wissens- und Kompetenzerwerb, der sich meist besser als „conceptual reconstruction“ als „conceptual change“ deuten lässt (Baumgartner-Hirscher et al., 2022). Die Betonung von „conceptual change“ (Konzeptwechsel) legt ihren Schwerpunkt auf „change“ und somit auf den Austausch von Vorstellungen, während „reconstruction“ den Fokus auf den Umbau und Rekonstruktion der mitgebrachten Vorstellungen legt.

Das Lernen von naturwissenschaftlichen Konzepten benötigt das Wissen über die mitgebrachten Vorstellungen der Lernenden. Sie sind entscheidend für das Lernen von chemischen Konzepten und Prozessen (Treagust et al., 2000).

Bereits vorhandene Vorstellungen der Lernenden weichen häufig von den naturwissenschaftlichen Sichtweisen ab und stellen eine Alternative zu wissenschaftlich angemessenen Konzepten dar (Feige et al., 2017; Lembens & Reiter, 2018). Werden diese Alternativen im Unterricht nicht berücksichtigt, können daraufhin Lern- und Verständnisschwierigkeiten entstehen (Feige et al., 2017).

Dass die Lernenden diese oftmals unangemessenen naturwissenschaftlichen Vorstellungen zeigen, bedeutet aber nicht, dass diese prinzipiell keine guten Beobachter\*innen sind. Die Lernende können intelligente Vorstellungswelten schaffen, ähnlich wie dies der Fall bei Naturwissenschaftler\*innen früherer Jahrhunderte war (Barke, 2006).

Zum Thema der Vorstellung von Lernenden gibt es zahlreiche Begrifflichkeiten, die verwendet werden, wie Alltags- oder Vorerfahrungen, Präkonzepte, Fehlvorstellungen, etc. (Feige et al., 2017; Fridrich, 2010). Besonders wichtig ist die Unterscheidung zwischen Präkonzepten und Fehlvorstellungen.

Unter Präkonzepten versteht man vorwissenschaftliche Vorstellungen, die bereits vor dem Unterricht entstanden sind. Sie können beispielsweise durch Interpretieren von Beobachtungen auf der Grundlage von alltäglichen Erfahrungen entstehen und dann mit dem Chemieunterricht in Konflikt geraten (Feige et al., 2017).

Fehlvorstellungen sind hingegen falsche wissenschaftliche Vorstellungen, die erst durch den Unterricht selbst erzeugt werden (Pelster et al., 2019). Barke bezeichnet diese Art von

Fehlvorstellungen auch als „hausgemachte Fehlvorstellungen“ (Dörfler & Barke, 2009). Als Lehrperson ist es immer wichtig, dass der eigene Unterricht kritisch reflektiert wird. Eine unachtsame Formulierung oder ein ungeschickt ausgewähltes Bildmaterial kann schnell für falsche Bilder und Erklärungsmuster bei den Lernenden sorgen, sodass Fehlvorstellungen erzeugt werden.

Zum Thema „Säuren und Basen“ gibt es zahlreiche Lernendenvorstellungen, die auch Beachtung finden sollten. Sie werden im Folgenden beschrieben.

## **2.13.2 Bekannte Lernendenvorstellungen zum Thema „Säure und Basen“**

In Kapitel 2.11.1 wurde bereits mehrfach auf die Wichtigkeit des Unterrichtens von Säuren und Basen nach dem Konzept von Brønsted hingewiesen. Dabei werden Säuren als Teilchen definiert, die Protonen abgeben und Basen als Teilchen, die Protonen aufnehmen. Passiert die Unterscheidung der Ebenen der Johnstones Dreiecks nicht konsequent, so könnten sich daraus zahlreiche falsche Erklärungsmuster zum Thema der Säuren und Basen bei den Schüler\*innen entwickeln.

- Lernendenvorstellungen zur Stärke von Säure und Basen:**

Eine typische Lernendenvorstellung von Schüler\*innen ist, dass sie denken, dass sie den Zusammenhang zwischen pH-Wert und Stärke einer Säure falsch deuten („A strong acid has a higher pH than a weak acid“) (Hoe & Subramaniam, 2016, S. 264). Hier wird ein Zusammenhang zwischen der Stärke einer Säure und dem pH-Wert einer sauren Lösung gemacht, der nicht vorhanden ist (siehe Kapitel 2.11.1).

Die Schüler\*innen glauben, dass der pH-Wert ein Maß für die Stärke der Säure oder die Menge an Säure oder Base in der Lösung beschreiben würde („pH measured the strength of a acid or base or the amount of acid or base present“) (Hoe & Subramaniam, 2016, S. 265). Hier wird abermals fälschlicherweise angenommen, dass die Stärke einer Säure bzw. Base durch den pH-Wert dargestellt werden kann. Zudem wird davon gesprochen, dass die Stärke durch die Menge der vorhandenen Säure bzw. Base beschrieben wird. Es geht aber immer um die Fähigkeit der Teilchen zur Abgabe von Protonen (siehe Kapitel 2.11.1).

- Lernendenvorstellungen zum pH-Wert:**

Wie bereits erwähnt, gibt es eine falsche Vorstellung der Schüler\*innen zum Zusammenhang zwischen dem pH-Wert und der Stärke von Säuren und Basen. Zudem denken viele Schüler\*innen, dass der pH-Wert nur etwas mit Säuren, aber nicht mit Basen zu tun hätte („pH is a measure of acidity but not basicity“) (Garnett et al., 1995, S. 83). Ob es sich um eine basische oder saure Lösung handelt, kann natürlich beides mit dem pH-Wert bestimmt werden.

- Lernendenvorstellungen zu den Eigenschaften von Säuren und Basen:**

Unter den Lernenden existiert die Vorstellung, dass Säuren als sehr gefährlich einzustufen sind, da sie Dinge „verbrennen“ bzw. „wegfressen“, also zerstören können („Acids can burn and eat material away“) (Kind, 2004, S. 47). Die Lernenden denken, dass Säure

großen Schaden anrichten können. Diese Idee entwickelt sich bei jungen Kindern, die lernen, dass Säuren als gefährlich einzustufen sind. Zeichentrickfilme unterstützen diese Vorstellung, indem sie z.B. zeigen, wie Wissenschaftler Löcher in Bänke mithilfe von Säuren erzeugen (Kind, 2004).

Die Lernenden stufen Säure oftmals als gefährlicher und stärker als Basen ein („Acids melt metals, acids are strong and bases are not strong“) (Hoe & Subramaniam, 2016, S. 265).

Zum einen begegnen sie Säuren häufiger als Basen z.B. in den Medien oder im Unterricht (Hoe & Subramaniam, 2016; Kind, 2004). Wenn von Unfällen oder Anschlägen in den Medien berichtet wird, geschieht das auch häufiger in Verbindung mit Säuren und seltener mit Basen (Hoe & Subramaniam, 2016). Dies geschieht, obwohl von Basen mindestens gleich großes Gefahrenpotential ausgeht.

Eine weitere Lernendenvorstellung ist, dass Säuren und Basen gefärbt sind. So stellen sich die Lernenden Säure als rosa vor und Basen als blau und denken auch, dass diese Farbe vom pH-Wert abhängig ist („Acids and bases have their own particular color or color intensity [bases are colored blue, acids are colored pink] and even different pH solutions have different colors“) (Hoe & Subramaniam, 2016, S. 264–265). Säuren werden oft als rot gefärbt eingestuft (Hoe & Subramaniam, 2016). Dies kann daran liegen, dass die Schüler\*innen dies aus den Medien lernen (Erklärungsvideos, Zeichentrickfilme etc.). Sie sehen auch die rötlichen/pinken und blauen Verfärbungen, wenn sie das erste Mal pH-Indikatorpapier verwenden.

- **Lernendenvorstellungen zur Säure-Base-Indikatoren:**

Zwar können die Lernenden häufig die Veränderung der Farbe des Säure-Base-Indikators mit dem pH-Wert beschreiben, aber unterliegen dann der Vorstellung, dass dies immer bei einem pH-Wert von 7 passieren muss („All indicators changed color at the same pH value and this I invariably at pH 7“) (Hoe & Subramaniam, 2016, S. 265). Der pH-Bereich, in welchem der Säure-Base-Indikator seine Farbe ändert, ist jedoch vom pK<sub>s</sub>-Wert des Säure-Base-Indikators abhängig (siehe Kapitel 2.11.1).

Eine weitere Lernendenvorstellung ist, dass die Intensität der Farbe des Säure-Base-Indikators abhängig von der Konzentration der sauren oder basischen Lösung ist (Sumfleth et al., 1999). Es ist jedoch nicht, möglich aufgrund der Farbintensität von sauren oder basischen Lösungen Aussagen über die Konzentration von diesen zu treffen.

In der Lernschachtel zum Thema „Lebensmittelfarbstoffe als Säure-Base-Indikatoren“ sollen die Schüler\*innen Forschendes Lernen durchführen und herausfinden, welche Farbstoffe von dem Überzug von farbigen Schokolinsen sich als Säure-Base-Indikatoren eignen. Im Zuge dessen können die Schüler\*innen die Wirkung von sauren und basischen Lösungen auf besagte Farbstoffe testen. Dies erfüllt mehrere Zwecke: Die Schüler\*innen können die Effekte von sauren und basischen Lösungen auf Säure-Base-Indikatoren auf makroskopischer Ebenen beobachten. Sie können den Farbumschlag mit ihren Augen sehen.

Schüler\*innen haben oft Schwierigkeiten damit, den abstrakten Charakter der Chemie zu verstehen und dass Teilchen nicht einzeln beobachtet werden können (Garnett et al., 1995). Probleme entstehen auch dadurch, dass saure und basische Lösungen oftmals keine Färbung

aufweisen und somit wie Wasser aussehen (Kind, 2004). Wie sollen die Schüler\*innen also zwischen ihnen unterscheiden können?

Ein Weg, ihren unterschiedlichen Charakter sichtbar zu machen, ist das Verwenden von Säure-Base-Indikatoren. Je nach den sauren oder basischen Eigenschaften der Lösung ändern sie deutlich sichtbar ihre Farbe. Die Farbänderung muss nicht bei einem pH-Wert von 7 passieren. Manche der Farbstoffe tun dies nur im sauren, manche in basischer Lösung und manche in sauren und basischen Lösungen. Das können die Schüler\*innen durch ihre Versuche beobachten.

Der makroskopische Fokus der Lernschachtel auf das Thema der Säure-Base-Indikatoren kann einen tollen Einstieg zum allgemeinen Thema „Säure und Base“ liefern. Davon ausgehend könnte die Lehrperson mit der submikroskopischen Ebene fortfahren, die sich auf Brønsted und seine Beschreibung von Säure und Base als Teilchen konzentriert. Säuren werden als Teilchen betrachtet, die Protonen aufnehmen und Basen als jene, welche Protonen abgeben.

Beim Entwickeln der Lernschachtel war es der Autorin besonders wichtig, einen Bezug zum Alltag der Schüler\*innen zu schaffen. Dies kann passieren, indem die Schüler\*innen mit Lebensmitteln arbeiten.

Wie in Kapitel 2.11.1 schon erwähnt, geht die Faszination der Schüler\*innen bei Versuchen mit Rotkrautsaft auch davon aus, dass sie diesen bereits in ihren eigenen Lebensumfeld, der Küche, begegnet sind. Sie kennen Rotkraut aus ihrem Alltag. Das war auch die Idee beim Verwenden von gefärbten Schokolinsen für die Lernschachtel. Schüler\*innen lieben Süßigkeiten. Sie kennen die gefärbten Schokolinsen aus ihrem Alltag.

Im Folgenden sollen die didaktische Strukturierung und die Lehrziele des geplanten Unterrichts zum Forschenden Lernen anhand einer Lernschachtel noch einmal explizit beschrieben werden.

## 2.14 Didaktische Strukturierung und Lehrziele

Das Ziel der Arbeit ist es, Schüler\*innen Forschendes Lernen anhand einer Lernschachtel zu ermöglichen. Hierfür sollen die Schüler\*innen natürliche Farbstoffe von bunten Schokolinsen (Smarties) auf ihre Eignung als Säure-Base-Indikatoren untersuchen.

Bei der Zielgruppe handelt es sich um Schülerinnen der 8. Schulstufe einer Mittelschule. Ihr Stundenplan sieht vor, dass diese zwei Stunden Chemieunterricht pro Woche erhalten. Vor der vierten Klasse findet kein Chemieunterricht statt.

Die Lernschachtel soll Forschendes Lernen auf Level 2 ermöglichen. Da die Schüler\*innen zu diesem Zeitpunkt noch wenig Erfahrung in der Planung und Durchführen von Versuchen haben, ist es sinnvoll, mit Forschenden Lernen auf Level 1 zu beginnen. Zudem empfiehlt auch die Literatur einen graduellen Anstieg der Level von Forschendem Lernen (siehe Kapitel 2.5). Auf Level 1 wird die Fragestellung, die Planung der Versuche und die Durchführung von der Lehrperson vorgegeben. Die Interpretation der Daten wird von den Schüler\*innen durchgeführt.

Haben sich die Schüler\*innen damit vertraut gemacht, sollen sie Forschendes Lernen auf Level 2 durchführen. Auf Level 2 wird nur die Fragestellung vorgegeben. Die Versuchsplanung und die Methode der Datensammlung wird von den Schüler\*innen bestimmt und die Ergebnisse

werden selbstständig analysiert und interpretiert. Als Hilfestellung erhalten die Schüler\*innen Unterstützung in Form von Makro- und Mikro-Scaffolding.

Die Schüler\*innen zwischen 13 und 14 Jahren sollten sich auf der vierten Entwicklungsstufe nach Piaget befinden. Auf dieser Entwicklungsstufe sind abstraktes Denken und das Ziehen von Schlussfolgerungen aus vorhandenen Informationen möglich. Wie immer kann aber von individuellen Unterschieden der Schüler\*innen ausgegangen werden.

Forschendes Lernen bietet die Möglichkeit, die drei Grundbedürfnisse der Selbstbestimmungstheorie der Motivation (Kompetenzerleben, soziale Eingebundenheit, Autonomie) der Schüler\*innen in einem hohen Maß zu erfüllen und somit eine starke Förderung der Motivation der Schüler\*innen zu erreichen (Deci & Ryan, 1993).

Das Grundbedürfnis nach Kompetenzerleben kann erfüllt werden, indem die Schüler\*innen unterschiedliche Experimente mithilfe der Lernschachtel durchführen, ihre eigenen Schlussfolgerungen ziehen und Erkenntnisse aus diesen gewinnen. Es ist wichtig, dass den Schüler\*innen die Aufgabenstellung auf einem Niveau angeboten wird, das sie nicht überfordert. So können sie erleben, dass sie die Fähigkeiten besitzen, diese Aufgaben zu lösen.

Das Gefühl, sich während der Aufgabenbearbeitung sozial eingebunden zu fühlen, kann erreicht werden, indem die Schüler\*innen in Kleingruppen miteinander arbeiten. Die Lehrperson ist ebenfalls als „helfende Hand“ in der Klasse präsent, sodass die Schüler\*innen sich in der Klasse wohlfühlen.

Das Forschende Lernen kann dem Wunsch nach Autonomie gerecht werden, indem die Schüler\*innen die Möglichkeit bekommen, selbstständig und unabhängig zu arbeiten. Sie dürfen entscheiden, welche Versuche sie durchführen und in welcher Reihenfolge sie dies tun.

Sie sollen nach Durchführung der Versuche wissen, dass die Zugabe einer sauren bzw. basischen Lösung Einfluss auf die Farbe gewisser Farbstoffe von Smarties hat.

Im Lehrplan der AHS sieht vor, dass der Chemieunterricht ausgehend von der Lebenswelt der Schüler\*innen darauf abzielen soll, Vorgänge aus dem Alltag zu verstehen (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2023).

Die Versuche mit Smarties eignen sich dafür, da die Schüler\*innen Smarties aus ihrem Alltag kennen, sie so in einem neuen Kontext bringen und einen wichtigen Bezug zum Thema Säuren und Basen herstellen können. Auch im Kompetenzmodell erscheint dies unter C3, Grundmuster chemischer Reaktionen (Säuren, Basen, Salze, pH-Wert auf) auf (IQS, 2011).

Wie bereits erwähnt, ermöglicht Forschendes Lernen, dass verschiedene Handlungskompetenzen erfüllt werden können. Die Schüler\*innen erhalten die Möglichkeit, sich Wissen zu anzueignen (W) und Erkenntnisse zu gewinnen und zu interpretieren (E). Der Fokus der Lernschachtel liegt im Bereich der Erkenntnisgewinnung, wie es das Forschende Lernen vorsieht (siehe Kapitel 2.1.1).

Das Arbeiten mit der Lernschachtel verfolgt folgende Ziele:

Zielsetzung im Bereich des prozeduralen Wissens:

- Die Schüler\*innen können die Bedeutung von chemischen Gefahrensymbolen der chemischen Stoffe richtig einordnen.

- Die Schüler\*innen können die geforderten Sicherheitsregeln im Labor einhalten.
- Die Schüler\*innen können beschreiben, warum besonders beim Arbeiten mit Natronlauge das Tragen von Schutzbrillen unbedingt erforderlich ist.
- Die Schüler\*innen können selbstständig Versuche planen und durchführen.
- Die Schüler\*innen können ihre Durchführung, Beobachtungen und Schlüsse protokollieren.

Zielsetzung im Bereich des fachlichen Wissens:

- Die Schüler\*innen können beschreiben, dass die Säure-Base-Indikatorlösung die Farbe ändert, wenn man sie mit Salzsäure-Lösung bzw. Natronlauge versetzt.
- Die Schüler\*innen können beschreiben, dass ein Säure-Base-Indikator seine Farbe abhängig von dem pH-Wert der Lösung ändert, in welcher er sich befindet.
- Die Schüler\*innen können beschreiben, bei welchen Smarties ein Farbumschlag stattfindet, wenn diese mit Salzsäure-Lösung bzw. Natronlauge versetzt werden.
- Die Schüler\*innen können beschreiben, welche Smarties sich eignen, um ihre Farbstoffe als Saure-Base-Indikatoren zu verwenden.

In den folgenden Einheiten wird der Fokus auf die Frage gelegt werden, warum sich die Farben der Säure-Base-Indikatoren ändern. Die Erklärung soll auf submikroskopischer Ebene passieren. Der Schwerpunkt wird auf dem Donator-Akzeptor-Prinzip der Reaktion von Säuren und Basen liegen.

In den nächsten Kapiteln wird die Lernschachtel, inklusive Lernhilfen, genau vorgestellt werden. Anschließend wird das Vorgehen bei der Evaluation beschrieben und die Ergebnisse werden diskutiert.

# 3 Vorstellung der Lernschachtel

Bei der Erstellung der Lernschachtel werden Ziele im Bereich des prozeduralen und fachlichen Wissens verfolgt (siehe Kapitel 2.14). Sie sollen bei der Erstellung und Verwendung mitgedacht und umgesetzt werden. Zuerst soll das notwendige Vorwissen der Schüler\*innen besprochen werden und die Bedeutung des Johnstone-Dreiecks für die Erstellung der Lernschachtel erläutert werden. Danach soll der Aufbau der Lernschachtel erklärt werden, ihr Einsatz im Unterricht und die Materialien, die der Unterstützung des Lernens dienen (Scaffolding), vorgestellt werden.

## 3.1 Die Didaktische Strukturierung der Lernschachtel

### 3.1.1 Vorwissen der Schüler\*innen

Die Schüler\*innen sollten zum Zeitpunkt des Einsatzes der Lernschachtel idealerweise typische saure Lösungen wie Salzsäure-Lösung und basische Lösungen wie Natronlauge bereits kennen gelernt haben, dies ist jedoch nicht zwingend notwendig. Sie müssen jedoch bereits mit den GHS-Gefahrenpiktogrammen für Chemikalien vertraut sein.

Die Schüler\*innen sollte jedoch bereits experimentelle Versuche durchgeführt haben und klar sein, wie ein Versuchsprotokoll aufgebaut ist und wie es prinzipiell geführt wird.

### 3.1.2 Das Johnstone-Dreieck und seine Bedeutung für die Lernschachtel

Beim Erstellen der Lernschachtel und Unterrichtsplanung ist das Johnstone-Dreieck und seine Verwendung zu beachten.

Da die Schüler\*innen gerade erst mit Chemieunterricht angefangen haben, ist als erster Schritt ein genaues Beobachten von Farbänderungen bei Zugabe von sauren und basischen Lösungen ein guter Einstieg für das Thema „Säure und Basen“. Die makroskopische Ebene, das Ändern der Farbe abhängig vom pH-Wert Wert, ist deutlich sichtbar.

Die submikroskopische Ebene ist deutlich komplexer, da die einzelnen Farbstoffe, die als Säure-Base-Indikatoren wirken, strukturell sehr aufwändig aufgebaut sind. Da dies die Schüler\*innen schnell überfordern könnte, erscheint es somit weitaus sinnvoller für den Einstieg auf der makroskopischen Ebene zu bleiben.

## 3.2 Die Lernschachtel zum Thema „Lebensmittelfarbstoffe als Säure-Base-Indikatoren“

Die Aufgabenstellung der Lernschachtel lautet: „Findet heraus, ob sich die Farbstoffe im Überzug von Smarties als Säure-Base-Indikatoren eignen!“. Das Ziel ist, dass die Schüler\*innen diese Fragestellung am Ende der drei Unterrichtseinheiten mithilfe von Forschendem Lernen beantworten können. Das 5E-Modell von Bybee soll als Rahmung für die Planung dienen (siehe Kapitel 2.9).

*Die Engage-Phase:* In der Engage-Phase der Unterrichtseinheiten soll das Vorwissen der Schüler\*innen aktiviert werden sowie ihre Neugier und ihr Interesse geweckt werden. Die Lernenden erhalten Schutzbrillen und werden darauf hingewiesen, dass sie diese immer tragen müssen, wenn sie mit der Lernschachtel arbeiten. Nachdem die Schüler\*innen die Lernschachtel erhalten haben, sollen sie herausfinden, welche Chemikalien der Grund für das Tragen der Schutzbrille sein könnte. Um das beantworten zu können, müssen sie ihr Vorwissen zu Gefahrensymbolen aus vorangegangen Einheiten aktivieren. Gefahrensymbole werden bereits in den ersten Chemiestunden besprochen.

Nachdem die Schüler\*innen es geschafft haben, die Gefahrensymbole Natronlauge und Salzsäure als „ätzend“ einzustufen und der Grund für das Tragen der Schutzbrillen noch einmal besprochen wurde, wird ihnen erklärt, dass es sich bei Salzsäure-Lösung um eine saure Lösung und bei Natronlauge um eine basische Lösung handelt. Es können Vertreter von sauren und basischen Lösungen besprochen und die Schüler\*innen gefragt werden, ob und woher sie das Wort „Säure“ bzw. „Base“ kennen. Danach üben die Schüler\*innen den Umgang mit den Geräten in der Lernschachtel.

Ist dies gelungen, besteht der zweite Teil der Engage-Phase aus der Beantwortung folgender Fragestellung des Vorversuchs: „Was kannst du beobachten, wenn du eine Universalindikatorlösung mit sauren bzw. basischer Lösung versetzt?“. Zudem soll im Vorversuch eine Beschreibung des Säure-Base-Indikators erfolgen. Zuvor wurde die Definition eines Säure-Base-Indikators mit den Schüler\*innen besprochen (Abbildung 16, „Hefteintrag“). Der Vorversuch ermöglicht den Schüler\*innen Forschendes Lernen auf Level 1 (Abbildung 17, Vorversuch). Sie erhalten eine Anleitung zur Versuchsdurchführung, beschreiben ihre Beobachtungen und werten ihre Ergebnisse aus. Ziel ist es, dass die Schüler\*innen einen deutlichen Farbumschlag sowohl nach Zugabe der sauren Lösung (verfärbt rötlich) als auch basischen Lösung (verfärbt bläulich) beobachten können, der durch die Universalindikatorlösung ermöglicht wird.

*Die Explore-Phase:* Die Schüler\*innen sollen nach der Engage-Phase in der Explore-Phase herausfinden, welche Farbstoffe des Überzugs von Smarties sich als Säure-Base Indikatoren eignen. Während dieses Prozesses wird den Schüler\*innen Forschendes Lernen auf Level 2 ermöglicht. Das Ziel ist somit, dass die Schüler\*innen ihre Versuche selbst planen, durchführen und ihre Beobachtungen interpretieren. In dieser Phase werden folgende Materialien als Makro-Scaffolding zur Verfügung gestellt:

- Protokollvorlage (Abbildung 18)

Die Protokollvorlage dient den Schüler\*innen dazu, dass sie eine gute Struktur zur Umsetzung der Fragestellung der Explore-Phase erhalten. Ziel ist es, dass sie ihre Planung, ihre Beobachtungen und Schlussfolgerungen darin festhalten.

- Gestufte Lernhilfen (Abbildung 19)

Die gestuften Lernhilfen sollen den Schüler\*innen Tipps bei Umsetzung der Fragestellung geben. Die Tipps helfen ihnen beim Versuchsbeginn (Tippkarte 1), was sie nach Lösen der Farbstoffe machen könnten (Tippkarte 2) und wie sie ihre Beobachtungen festhalten (Tippkarte 3) und Schlussfolgerungen ziehen könnten (Tippkarte 4). Die Tippkarten sind jeweils nur ein Vorschlag von vielen, wie sie die Beantwortung der Fragestellung lösen könnten. Sie können, müssen aber nicht von den Schüler\*innen

verwendet werden. Den Schüler\*innen, die gerne in speziellen Bereichen der Explore-Phase Unterstützung hätten, wird diese Unterstützung zur Verfügung gestellt.

- Concept Cartoon (Abbildung 20)

Die Aufgabenstellung zum Concept Cartoon lautet, dass die Schüler\*innen Aussagen zu Säure-Base-Indikatoren diskutieren sollen. Sie sollen die Kommentare von Sprechblasen der Cartoon Figuren besprechen, ihre Meinung dazu abgeben, diese begründen und sich überlegen, wie sie selbst einen Säure-Base-Indikator beschreiben würden. Dadurch soll das Beschreiben von naturwissenschaftlichen Sachverhalten und das Begründen dieser geübt werden.

*Die Explain-Phase:* Die Ergebnisse aus der Explore-Phase sollen in dieser Phase gemeinsam besprochen werden. Ziel ist es, dass die Schüler\*innen beschreiben können, dass ein Säure-Base-Indikator seine Farbe durch Zugabe einer sauren oder basischen Lösung verändert. Dies kann bei gewissen Farbstoffen im Überzug von Smarties beobachtet werden.

*Die Elaborate-Phase:* In darauffolgenden Unterrichtseinheiten können die neu erworbenen Fähigkeiten der Schüler\*innen dazu genutzt werden, das Säure-Base-Konzept nach Brønsted zu besprechen. Da saure und basische Lösungen üblicherweise farblos sind, wird den Schüler\*innen durch Verwendung von Säure-Base-Indikatoren ermöglicht, den Effekt von sauren und basischen Lösungen durch Veränderungen von Farben zu beobachten.

*Die Evaluate-Phase:* Diese Phase findet durchgängig im Unterricht statt. Die Schüler\*innen versuchen ihren eigenen Lernfortschritt zu beobachten und die Lehrperson tut dies ebenfalls laufend. Am Ende der Einheiten erfolgt ein Abschlussbefragung. Diese wurde im Vorfeld erstellt und hilft der Lehrperson Fokus der Einheit im Blickwinkel zu behalten.

Die Lehrperson evaluiert die Lernfortschritte der Schüler\*innen. Die Schüler\*innen sollen auch ihre eigenen Verstehen einschätzen und beurteilen (Bybee, 2014). Entwicklungen und Fertigkeiten können beobachtet werden und Feedback soll gegeben werden (Hofer et al., 2016).



Abbildung 15: Darstellung des typischen Aufbaus der Lernschachtel

Chemikalien der Lernschachtel:

- Natronlauge (1 mol/L)
- Salzsäure-Lösung (1 mol/L)

- Smarties (pro Gruppe 4 Smarties unterschiedlicher Farbe) in Verpackung
- Universalindikatorlösung (Methylrot, Phenolphthalein, Bromthymolblau gelöst in Ethanol und destilliertem Wasser)

Für Natronlauge als auch Salzsäure-Lösung wurde destilliertes Wasser als Lösungsmittel verwendet.

Geräte der Lernschachtel:

- Multititerplatte
- Becherglas 10 mL
- Becherglas 100 mL
- Fineliner Stift (schreibt auf Papier)
- 1 mL Pipette

Zudem erhalten die Schüler\*innen Schutzbrillen, die sie auch unbedingt tragen müssen.

Makro-Scaffolding der Lernschachtel:

- Protokollvorlage
- Gestufte Lernhilfen
- Concept Cartoon

## Hefteintrag

### Eckpunkte einer chemischen Reaktion: Indikatoren und saure und basische Lösungen

Bei einer **chemischen Reaktion** reagieren **Stoffe** zu neuen Stoffen mit neuen Eigenschaften.  
Es gibt Stoffe, die mit **sauren und basischen** Lösungen reagieren.

Beispiele für eine **saure Lösung** ist z.B. Essig oder Zitronensaft.  
Beispiele für **basische Lösungen** ist z.B. Seifenlösung.

Ein Beispiel dafür sind Indikatoren. Indikatoren reagieren mit sauren oder basischen Lösungen.  
Dabei verändern sie ihre Eigenschaften. Eine wichtige Eigenschaft ist ihre Farbe.

**Ein Indikator reagiert mit sauren oder basischen Lösungen zu einem neuen Stoff mit einer anderen Farbe.**

Abbildung 16: Hefteintrag zu Indikatoren von sauren und basischen Lösungen

## Was ist ein Indikator?

1.) Lege deine Multititerplatte auf die weißes Blatt und beschriffe sie wie im Bild mit den Fineliner Stift:

In die **Zeilen** schreibst du:

- saure Lösung
- Kontrolle
- basische Lösung

	Indikatorlösung			
saure Lösung				
Kontrolle				
basische Lösung				

In die **Spalte** schreibst du:

- Indikatorlösung

2.) Nun tropfst du ca. 3 Tropfen Indikatorlösung in jede der drei Vertiefungen.

3.) Du tropfst jetzt in die Vertiefung „saure Lösung“ 3 Tropfen Salzsäure-Lösung.

4.) Anschließend tropfst du in die Vertiefung „basische Lösung“ 3 Tropfen Natronlauge.

5.) Die Vertiefung „Kontrolle“ bleibt frei, der Indikatorlösung wird nichts zugegeben.

Was kannst du beobachten?

Erkläre mit eigenen Worten, was ein Indikator ist!

Abbildung 17: Anleitung zur Durchführung des Vorversuchs, zudem sollen Beobachtungen festgehalten werden und ein Säure-Base-Indikator beschrieben werden.

Mein Name: \_\_\_\_\_  
Name Partner\*in: \_\_\_\_\_



2) Ich halte nun meine Beobachtungen fest:

**Mein Protokoll:** Wirken die Farbstoffe von Smarties als Indikatoren?  
Finde es mit der Lernschachtel heraus!

**Ziel:** Ich will herausfinden, ob sich die Farbstoffe von Smarties als Indikatoren für saure oder basische Lösungen eignen. Dafür erinnere ich mich an den Vorversuch:  
Hierfür wurde eine Indikatorlösung mit einer sauren und basische Lösung versetzt.

Meine Materialien/Chemikalien:

- Multititerplatte
- Becherglas 10 mL
- Becherglas 100 mL
- Pipette
- Fläschchen Salzsäure 1 mol/L
- Fläschchen Natronlauge 1 mol/L
- Smarties – ich bekomme sie von der Lehrperson (siehe Punkt 1)

3) Ich soll nun **Schlüsse** (= Interpretation) aus diesen Versuchen ziehen. Eignen sich die Farbstoffe von Smarties als Indikatoren?

**1) Bevor** ich mit dem Versuch **starte**:  
Wie setze ich meinen Versuch um? Was habe ich geplant? Schreibe es in wenigen Worten auf und zeige es der Lehrperson. Danach erhältst du die Smarties!

---

---

---

---

---

Abbildung 18: Die Protokollvorlage als Makro-Scaffolding Material

→ Tippkarte 1 – Vor dem Beginn des Versuchs:

<p><b>Tipp 1 – Bevor ich starte!</b></p>	<p>Überlege dir, wie du die Farben der Smarties in Lösung bringen könntest! Das Becherglas, Wasser und die Pipette könnten dir dabei helfen.</p>
--	--

→ Tippkarte 2 – Nachdem die Farben der Smarties gelöst sind:

<p><b>Tipp 2 – Nachdem ich die Farben der Smarties gelöst habe!</b></p>	<p>Erinnere dich an den ersten Versuch – wie kann man untersuchen, ob ein Farbstoff ein Indikator ist?</p>
---	--

→ Tippkarte 3 – Protokollführung:

<p><b>Tipp 3 – Meine Beobachtungen!</b></p>	<p>Du kannst Beobachtungen in Form einer Tabelle festhalten:</p> <table border="1"><thead><tr><th>Farbe des Smarties</th><th>Farbe nach Zugabe der sauren Lösung</th><th>Farbe nach Zugabe der basischen Lösung</th></tr></thead><tbody><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>	Farbe des Smarties	Farbe nach Zugabe der sauren Lösung	Farbe nach Zugabe der basischen Lösung															
Farbe des Smarties	Farbe nach Zugabe der sauren Lösung	Farbe nach Zugabe der basischen Lösung																	

→ Tippkarte 4 – Protokollführung:

<p><b>Tipp 4 – Meine Schlüsse!</b></p>	<p>Du kannst deine Schlüsse in Form einer Tabelle festhalten:</p> <table border="1"><thead><tr><th>Farbe des Smarties</th><th>Ist das Smartie ein Indikator?</th><th>Wenn das Smartie ein Indikator ist, warum glaubst du das?</th></tr></thead><tbody><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>	Farbe des Smarties	Ist das Smartie ein Indikator?	Wenn das Smartie ein Indikator ist, warum glaubst du das?												
Farbe des Smarties	Ist das Smartie ein Indikator?	Wenn das Smartie ein Indikator ist, warum glaubst du das?														

Abbildung 19: Die Tippkarten (gestufte Lernhilfen)

Name: \_\_\_\_\_



Abbildung 20: Darstellung des Concept Cartoons zur Fragestellung „Was sind Indikatoren“

### 3.3 Skizze des Unterrichtsablaufs

Zuerst werden die Schüler\*innen in Zweiergruppen eingeteilt. Die Einteilung kann z. B. durch das Ziehen von Namen aus einer Box erfolgen (Bilden von Zufallsgruppen).

Sind die Gruppen gebildet, teilt die Lehrperson die Schutzbrillen aus, erläutert Gründe für diesen notwendigen Schutz und kontrolliert, dass alle Schüler\*innen die Schutzbrillen aufgesetzt haben.

#### 3.3.1 Phase 1 – Gefahrensymbole und Sicherheitshinweise zu den Chemikalien in der Lernschachtel

Jede Gruppe erhält nun eine Lernschachtel. Die Anweisung an die Schüler\*innen ist, dass sie diese öffnen und herausfinden, welche der Chemikalien der Grund für das Tragen der Schutzbrille sein könnten. Dadurch werden sie herausgefordert, sich mit den Chemikalien in der Lernschachtel zu beschäftigen und auf die Gefahrensymbole zu achten.

Die Schüler\*innen sollen die Gefahrensymbole der Natronlauge und Salzsäure-Lösung als „ätzend“ einstufen können und auch herleiten können, warum sie eine Schutzbrille tragen müssen.

Die Schüler\*innen erhalten die Information:

„Salzsäure-Lösung ist eine saure Lösung, wie Essig oder Zitronensaft, aber gefährlicher. Natronlauge ist eine basische Lösung wie Seifenlösung, aber viel gefährlicher.“

Dies muss unbedingt gemeinsam im Plenum stattfinden. Es muss den Schüler\*innen von der Lehrperson noch einmal ganz klar verdeutlicht werden, dass besonders die basische Lösung,

nämlich Natronlauge, ihren Augen einen sehr großen Schaden zufügen kann. Deshalb muss zu jedem Zeitpunkt eine Schutzbrille getragen werden und die Schüler\*innen dürfen sich niemals gegenseitig mit den Chemikalien bespritzen oder diese zu sich nehmen. Dies sind zwar allgemeingültige Regeln der Laborsicherheit, mit denen die Schüler\*innen bereits vertraut sein sollten, gerade bei Verwendung dieser ätzenden Chemikalien sollte jedoch unbedingt noch einmal gemeinsam an die Laborregeln erinnert werden.

Es soll auch noch einmal thematisiert werden, welche Erste-Hilfe-Maßnahmen getroffen werden müssen, falls es zu Kontakt mit der sauren bzw. basischen Lösungen kommen sollte. Kommt es zur Exposition der Hände oder anderer Körperteile mit den besagten Lösungen, müssen diese unbedingt sofort lange mit Wasser abgespült werden. Bei Augenkontakt muss die Augendusche verwendet werden, um die Augen auszuwaschen.

Mögliche Fragen der Lehrperson an die Schüler\*innen in **Phase 1** könnten sein:

- Welche Chemikalien kannst du in deiner Lernschachtel identifizieren?
- Welche Gefahrensymbole kannst du identifizieren?
- Wofür stehen diese Gefahrensymbole?
- Welche Sicherheitsvorkehrung musst du treffen, wenn du diese ätzenden Chemikalien verwendest?
- Wie verhältst du dich im Umgang mit diesen ätzenden Chemikalien?
- Wie verhältst du dich gegenüber deinen Mitschüler\*innen, wenn du mit diesen ätzenden Chemikalien arbeitest?
- Wie verhältst du dich, wenn deine Hände oder Augen in Kontakt mit den ätzenden Chemikalien kommen?

### **3.3.2 Phase 2 – Auseinandersetzung mit den Geräten in der Lernschachtel**

In der nächsten Phase sollen die Schüler\*innen sich mit den Geräten in der Lernschachtel vertraut machen. Sie können diese betrachten, angreifen und sich in ihren Gruppen überlegen, wofür diese verwendet bzw. eingesetzt werden können.

Auch in dieser Phase sollen die Geräte und ihre Verwendung im Plenum kurz thematisiert werden. Die Lehrperson erfragt den Namen aller Laborgeräte und in welcher Weise diese verwendet werden könnten. Dabei ist darauf zu achten, dass die Besprechung der Verwendung der Geräte sehr allgemein stattfindet. Es soll nicht zu viel von der Planung der Versuche vorweggenommen werden.

Es handelt es sich um folgende Laborgeräte:

Multititerplatte, Becherglas 10 mL, Becherglas 100 mL, 1 mL Pipette.

Mögliche Fragen der Lehrperson an die Schüler\*innen in **Phase 2** könnten sein:

- Wie nennt man dieses Gerät bzw. Werkzeug im Labor?
- Wenn du es schon einmal benutzt hast, wozu hast du es verwendet?
- Wie könntest du es einsetzen?

## Übungsphase – Pipettieren und richtiges Säubern

Anschließend findet eine Übungsphase statt, in welcher sich die Schüler\*innen mit dem Umgang mit den Chemikalien und Laborgeräten vertraut machen. Die Lehrperson sagt den Schüler\*innen, dass es sich um eine gefährliche Substanz in den Fläschchen handelt (tatsächlich handelt es sich nur um Wasser). Sie sollen die Flüssigkeit im Fläschchen vorsichtig in die Multititerplatten überführen. Außerdem sollen sie Wasser in ein Becherglas überführen und mithilfe der 1 mL Pipette die Flüssigkeit in die Vertiefungen der Multititerplatten füllen. Zum Reinigen der 1 mL Pipette soll diese mehrmals mit sauberem Wasser befüllt und dieses Wasser in ein Abfallgefäß (250 mL Becherglas) gespritzt werden. Die Schüler\*innen sollen darauf hingewiesen werden, dass die Flüssigkeiten im Abfallgefäß nicht mehr verwendet werden. Darin sollen später auch die Smarties gesammelt werden. Auch das Säubern der Multititerplatten soll geübt werden und umsichtig erfolgen (Wasser nicht zu stark aufdrehen).

In dieser Phase achtet die Lehrperson besonders darauf, dass die Schüler\*innen sorgsam arbeiten und sie ihnen vertrauen kann. Sie dürfen sich und ihre Mitschüler\*innen auf keinen Fall gegenseitig anspritzen und achtmlos arbeiten. Ist dies der Fall, muss überlegt werden, gewisse Schüler\*innen aus den Folgeexperimenten auszuschließen und ihnen stattdessen schriftliche Arbeitsaufträge zu erteilen.

## Eckpunkte chemische Reaktionen: Indikatoren für saure und basische Lösungen

Zuerst wird die Klasse über die Grundzüge des Ablaufs von chemischen Reaktionen im Kontext von sauren und basischen Lösungen informiert. Der Hefteintrag dazu lautet:

„Bei einer **chemischen Reaktion reagieren Stoffe** zu neuen Stoffen mit neuen Eigenschaften.

Es gibt Stoffe, die mit **sauren und basischen** Lösungen reagieren.

Beispiele für eine **saure Lösung** ist z.B. Essig oder Zitronensaft.

Beispiele für **basische Lösungen** ist z.B. Seifenlösung.

Ein Beispiel dafür sind Indikatoren. Indikatoren reagieren mit sauren oder basischen Lösungen. Dabei verändern sie ihre Eigenschaften. Eine wichtige Eigenschaft ist ihre Farbe.

**Ein Indikator reagiert mit sauren oder basischen Lösungen zu einem neuen Stoff mit einer anderen Farbe.“**

## Der Vorversuch: Zugabe einer sauren oder basischen zu einer Universalindikatorlösung - Forschendes Lernen auf Level 1

Bevor die Schüler\*innen die Phase 3 erreichen, die ihnen das Arbeiten mit den Smarties und Forschendes Lernen auf Level 2 ermöglicht, bedarf es eines Vorversuchs. Die Aufgabenstellung lautet: „Was kannst du beobachten, wenn man eine Universalindikatorlösung mit saurer und basischer Lösung versetzt? Beschreibe danach einen Säure-Base-Indikator. Denke an deinen Hefteintrag!“

Im Vorversuch sollen die Schüler\*innen eine Universalindikatorlösung mit Salzsäure-Lösung bzw. Natronlauge versetzt werden. Dies geschieht in einer Multititerplatte. In eine Vertiefung der Multititerplatte soll die Universalindikatorlösung ohne Zugabe einer weiteren Lösung (Kontrolle) hinzugefügt werden.

Es wird noch einmal wiederholt, dass es sich bei Salzsäure-Lösung um eine saure Lösung wie z.B. Essig handelt und bei Natronlauge um eine basische Lösung wie z.B. Seifenlösung, aber dass beide gefährlicher sind als Essig und Seifenlösung (siehe Phase 1).

Im Plenum:

Eine Universalindikatorlösung wird mit der Salzsäure-Lösung versetzt, wodurch sich diese verfärbt. Anschließend wird eine neue Universalindikatorlösung mit Natronlauge versetzt, welche sich ebenfalls verfärbt. Als Vergleich dient eine unbehandelte Universalindikatorlösung.

Die Lehrperson führt ein Gespräch mit den Schüler\*innen, in welchem herausgearbeitet wird, dass es Stoffe gibt, deren Farbe sich ändert, wenn sie einer sauren oder basischen Lösung ausgesetzt sind. Diese Stoffe nennt man Säure-Base-Indikatoren.

### **3.3.3 Phase 3 – Smarties und die zentrale Fragestellung**

Ein zentraler Bestandteil der Lernschachtel ist für alle Schüler\*innen sofort ersichtlich, soll aber erst nach Auseinandersetzung mit den Gefahrensymbolen und Laborgeräten explizit besprochen werden. Es handelt sich um die farbigen Schokolinsen, (Smarties von Nestlé). Die Schüler\*innen sollen zuerst in ihren Gruppen besprechen, was sie denken, warum sich Süßigkeiten in ihrer Lernschachtel befinden. Da die Schüler\*innen die Schokolinsen bereits aus ihrem Alltag kennen und sich Süßigkeiten allgemein hoher Popularität erfreuen, kann davon ausgegangen werden, dass die Schüler\*innen motiviert an die Fragestellung herangehen werden.

Doch was könnten die Smarties mit den sauren und basischen Lösungen in ihren Lernschachtel zu tun haben?

Intuitiv werden manche Schüler\*innen den Vorschlag machen, dass man die Smarties und die sauren und basischen Lösungen mischen könnte. Damit wären die Schüler\*innen bei der zentralen Fragestellung der Lernschachtel angekommen: Verändern sich die Farbstoffe der Smarties bei Zugabe einer sauren oder basischen Lösung? Und wenn dem so ist: Eignen sich die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren? Genau das sollen die Schüler\*innen herausfinden.

Ist die Aufgabenstellung klar, können die Schüler\*innen in Forschendes Lernen auf Level 2 entlassen werden. Hier gibt die Lehrperson die Fragestellung vor, doch die Schüler\*innen planen ihre Versuche selbst, halten ihre Beobachtungen fest und bestimmen auch über die Interpretation der Daten. Sie erhalten Unterstützung durch eine Protokollvorlage, gestufte Lernhilfen (Tippkarten) und einen Concept Cartoon. Der Zweck und die Art der Verwendung des Scaffolding Materials wird in der nächsten Phase (Phase 4) erklärt.

Mögliche Fragen der Lehrperson an die Schüler\*innen in **Phase 3**:

- Wir wissen, dass es sich bei Salzsäure-Lösung und Natronlauge um ätzende Stoffe handelt. Handelt es sich hierbei um saure oder basische Lösungen?
- Gehört Salzsäure-Lösung zu den basischen oder sauren Lösungen?
- Zählt Natronlauge zu den basischen oder sauren Lösungen?
- Was könnten saure und basische Lösungen mit Smarties zu tun haben?

### 3.3.4 Phase 4 – Erklärung zur Verwendung des Scaffolding-Materials

Die Schüler\*innen sind zu diesem Zeitpunkt mit den Sicherheitshinweisen, den Chemikalien und den Laborgeräten der Lernschachteln vertraut. Sie haben einen Vorversuch durchgeführt und kennen auch die Fragestellung: „Eigenen sich die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren?“.

Sie haben auch bereits eine Protokollvorlage erhalten. Zusätzlich gehören vier Tippkarten und ein Concept Cartoon pro Lernschachtel dazu. Die Verwendung des Scaffolding-Materials wird von der Lehrperson erklärt.

Information der Lehrperson an die Schüler\*innen in **Phase 4**:

- *Protokollvorlage*: Die Protokollvorlage hilft dir dabei, dein Protokoll zu verfassen. Du beschreibst darin deine Planung, deine Beobachtungen und deine Interpretation.
- *Tippkarten*: Die Tippkarten kannst du optional verwenden. Du musst sie also nicht verwenden, kannst dies aber tun. Lies die Überschriften der Tippkarten und wenn du das Gefühl hast, dass du an einem Punkt zum Lösen der Fragestellung nicht weiterkommst, verwende sie.
- *Concept Cartoon*: Wir sehen uns jetzt den Concept Cartoon gemeinsam an. Man sieht vier junge Menschen. Sie haben zu folgender Frage alle unterschiedliche Meinungen zu: „Wie kannst du Säure-Base-Indikatoren beschreiben? Welche Funktion erfüllen sie?“ Lest euch gegenseitig die Sprechblasen vor. Denkt ihr, dass die Aussagen stimmen könnten? Wenn ja, warum bzw. warum nicht? Tauscht euch aus! Und bildet eure eigene Meinung! Wie würdest du einen Säure-Base-Indikator beschreiben? Welche Funktion erfüllt er?

### 3.3.5 Phase 5 – „Forschendes Lernen auf Level 2“

Die Schüler\*innen dürfen sich in dieser Phase in ihren Kleingruppen überlegen, wie sie die Fragestellung „Können die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren wirken?“ beantworten könnten.

Die Schüler\*innen wissen nun, welche Gefahrenhinweise zu beachten sind, welche Chemikalien sie verwenden können und welche Laborgeräte ihnen zum Arbeiten zur Verfügung gestellt werden. Sie wissen auch, wie diese zu verwenden sind und auch das Scaffolding-Material ist ihnen bekannt.

Der erste Bereich der Protokollvorlage fragt danach, wie die Schüler\*innen ihre Versuche planen wollen, um die Fragestellung bearbeiten zu können: „Plant einen Versuch, mit dem ihr herausfinden könnt, ob die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren geeignet sind. Zeige deine Planung der Lehrperson und danach erhältst du die Smarties!“

Die Schüler\*innen müssen diesen Bereich des Protokolls selbstständig befüllen und der Lehrperson zeigen. Brauchen sie in dieser Phase bereits Unterstützung, liegen die passenden Tippkarten (1 und 2) für sie bereit. Erst wenn die Lehrperson den Versuchsplan abgesegnet hat, erhält jede Gruppe vier Smarties. In der darauffolgenden Einheit können sie ihre geplanten Versuche durchführen.

Die Smarties werden so ausgeteilt, dass zumindest einmal eine Farbänderung bei Zugabe der sauren und basischen Lösung beobachtet werden kann (violettes Smartie) und einmal keine Farbänderung beobachtet werden kann, weder bei Zugabe der sauren noch basischen Lösung (oranges Smartie). Die restlichen Smarties werden zwar an die Schüler\*innen nach dem Zufallsprinzip verteilt, jedoch so, dass jede Farbe pro Gruppe nur einmal vorkommt. Arbeitet eine Gruppe besonders schnell, können an diese Smarties einer Farbe ausgeteilt werden, welche die Schüler\*innen noch nicht verwendet haben.

Im Plenum:

Die Lehrperson bespricht die unterschiedlichen Versuchsplanungen mit den Schüler\*innen. Sie geht auf die Ergebnisse der Schüler\*innen ein und bespricht mit diesen ihre Erkenntnisse. Es soll herausgearbeitet werden, welche Farbstoffe sich von Smarties als Säure-Base-Indikatoren eignen und warum. Die Schüler\*innen sollen ihre Schlussfolgerungen begründen können.

### Zu erwartende Beobachtungen und Schlussfolgerungen:

Farbe des Smarties	Farbe nach der Zugabe der sauren Lösung	Farbe nach der Zugabe der basischen Lösung	Eignen sich die Farbstoffe des Smarties als Säure-Base-Indikatoren?	Begründe, warum sich die Farbstoffe des Smarties als Säure-Base-Indikatoren eignen!
Violett	Rosa	Hellgelb	Ja	Es kommt zu einer Farbänderung bei Zugabe der sauren und basischen Lösung.
Blau	Hellblau	Farblos	Ja	Es kommt zu einer Farbänderung bei Zugabe der basischen Lösung.
Orange	Orange	Orange	Nein	Es kommt zu keiner Farbänderung bei Zugabe der sauren bzw. basischen Lösung.
Rosa	Rosa	Hellgelb	Ja	Es kommt zu einer Farbänderung bei Zugabe der basischen Lösung.
Gelb	Gelb	Orange	Ja	Es kommt zu einer Farbänderung bei Zugabe der basischen Lösung.
Braun	Braun	Braun	Nein	Es kommt zu keiner Farbänderung bei Zugabe der sauren bzw. basischen Lösung.
Grün	Grün	Gelb	Ja	Es kommt zu einer Farbänderung bei Zugabe der basischen Lösung.
Rot	Rot	Braun	Ja	Es kommt zu einer Farbänderung bei Zugabe der basischen Lösung.

### **3.4 Verwendung der Lernschachtel in den Klassen 4a und 4b einer niederösterreichischen Mittelschule**

Die Skizze der Unterrichtplanung konnte für die tatsächliche Durchführung sehr gut genutzt werden. Der Ablauf der Einheiten verlief zum größten Teil genau nach der Skizze. Zudem verlief dieser für die beiden Klassen (4a und 4b) fast ident ab. Ein Unterschied ergab sich für den Zeitpunkt des Einsatzes des Concept Cartoons: In der 4a wurde der Concept Cartoon erst nach Erstellung der Planung der Versuche von den Schüler\*innen bearbeitet, in der 4b geschah dies bereits vor der Planung der Versuche. Dies gab der 4a die Möglichkeit, sich vermehrt auf die Planung konzentrieren zu können, bei der 4b wurde zuvor die Zeit etwas knapp. Es ist also ratsam, wirklich viel Zeit für die Planung der Versuche und des Concept Cartoons zu veranschlagen. Die Planung der Versuch ist ein zentraler Punkt, bei dem nicht ganz vorhergesagt werden kann, wie viel Unterstützung bzw. Zeit die Schüler\*innen für ihre Ideen brauchen.

Beim Befüllen der Abschlussbefragung gab es ebenfalls einen Unterschied: Die 4b führte die Abschlussbefragung direkt im Anschluss an die letzte Einheit durch, während bei der 4a dies aus zeitlichen Gründen erst am nächsten Tag möglich war.

Sonst gab es, wie bereits erwähnt, keine Unterschiede in der Durchführung der Einheiten.

# 4 Evaluierung der Lernschachtel

## 4.1 Beschreibung der Lerngruppe

Bei der Gruppe, die evaluiert wird, handelt es sich um Schüler\*innen der 8. Schulstufe einer Mittelschule (Sekundarstufe I) in Niederösterreich. In der Mittelschule gibt es zwei vierte Klassen, welche einen regulären Chemieunterricht von zwei Wochenstunden erhalten. In den Jahren zuvor hatten diese Klassen keinen Chemieunterricht. Es ist somit ihr erstes Schuljahr mit diesem Gegenstand. Sie kennen Versuche aus dem Physikunterricht.

Bis zu dem Zeitpunkt des Einsatzes der Lernschachtel kennen die Schüler\*innen die Gefahrensymbole unterschiedlicher Chemikalien, Sicherheitsregeln und wichtige Laborgeräte. Sie haben auch bereits chemische Versuche (z.B. Trennung eines Salz-Sand Gemisches) zur Einführung in das praktische Arbeiten in Chemie durchgeführt. Abgesehen davon haben sie jedoch noch wenig Erfahrung mit chemischen Arbeiten im Labor.

Das Testen der Lernschachtel durch die Schüler\*innen soll wertvolle Daten zur Evaluation und Weiterentwicklung des Materials liefern.

*4a Klasse:* Die Klasse besteht aus 18 Schüler\*innen: 10 weiblich, 8 männlich

Termin am 28.11.2022

- 17 Personen anwesend, 1 fehlend

Termin am 2.12.2022

- 17 Personen anwesend, 1 fehlend

Termin am 5.12.2022

- 17 Personen anwesend, 1 fehlend

Anzahl der ausgefüllten Protokollvorlagen: 18

Anzahl der abgegebenen Fragebögen: 18

*4b Klasse:* Die Klasse besteht aus 18 Schüler\*innen: 9 weiblich, 9 männlich

Termin am 24.11.2022

- 16 Personen anwesend, 2 fehlend

Termin am 25.11.2022

- 12 Personen anwesend, 6 fehlend

Termin am 1.12.2022

- 17 Personen anwesend, 1 fehlend

Anzahl der ausgefüllten Protokollvorlagen: 18

Anzahl der abgegebenen Fragebögen: 17 (eine Schülerin war krank)

Der Ablauf der Unterrichtseinheit mit den Schüler\*innen findet sich im Anhang.

## 4.2 Erhebung der Daten

Es werden während der Einheit und am Ende der Einheit wichtige Daten über den Einsatz der Lernschachtel erhoben.

Die Schüler\*innen befüllen als Grundlage zur Datenerhebung folgende Unterlagen:

- **Protokollvorlage:** Den Schüler\*innen wird eine Protokollvorlage zum Arbeiten mit der Lernschachtel über die Eignung von den Farbstoffen von Smarties als Säure-Base-Indikatoren bereitgestellt. Sie sollen die Vorlage benutzen und diese wird ausgewertet.
- **Abschlussbefragung:** In der Abschlussbefragung sollen die Schüler\*innen einzeln detaillierte Fragen zu den Unterrichtseinheiten schriftlich beantworten.

Ein weiteres Werkzeug zur Erhebung der Daten ist das Führen eines Tagebuchs. Dieses Tagebuch wird von der Lehrperson geführt:

### Das Tagebuch:

Dabei handelt es sich um eine Mitschrift, in welcher die Lehrperson schildert, wie sie die Stunde erlebt hat. Diese wird in einem A5-Heft festgehalten und während und sofort nach der Stunde als Fließtext verfasst. Es ist von besonderer Wichtigkeit, dass diese Verschriftlichung unmittelbar im Anschluss der Stunde stattfindet, damit so viele Details wie möglich zum Ablauf der Einheit festgehalten werden können. Die Tagebucheinträge konzentrieren sich zum einen auf Beobachtungen des Unterrichts, die methodische und fachliche Ziele verfolgen:

#### Beispiele für methodische Ziele:

- Die Schüler\*innen können die geforderten Sicherheitsregeln im Labor einhalten.
- Die Schüler\*innen können mit unterschiedlichen Geräten im Labor umgehen.
- Die Schüler\*innen können selbstständig Versuche planen und durchführen.
- Die Schüler\*innen können in einer Gruppe arbeiten.
- Die Schüler\*innen können ihre Versuche protokollieren.

#### Beispiele für fachliche Ziele:

- Die Schüler\*innen können beschreiben, dass natürliche Farbstoffe, welche aus Smarties gewonnen werden, sich als Säure-Base-Indikatoren eignen.
- Die Schüler\*innen können die Fragestellung der Lernschachtel wiedergeben.
- Die Schüler\*innen können beschreiben, wie man herausfindet, ob sich ein Farbstoff als Säure-Base-Indikator eignet.

Zum anderen werden das Zeitmanagement, die allgemeine Performanz und das Engagement der Schüler\*innen ausführlich beschrieben.

## 4.3 Auswertung mithilfe von QCAnap

Die von den Schüler\*innen ausgefüllten Protokollvorlagen wurden in Word-Dokumente abgeschrieben. Dies gilt auch für die offenen Fragen der Abschlussbefragung. Dieses Material wird mithilfe der Software „QCAnap“ ausgewertet (*QCAnap – a software for Qualitative Content Analysis*, 2023). Diese Software erlaubt es, das gewonnene Material qualitativ zu untersuchen und auszuwerten. Es basiert auf der qualitativen Inhaltsanalyse von Mayring (Mayring, 2015). Diese fragt nach Festlegung des auszuwertenden Materials nach der Richtung der Analyse, also was in Erfahrung gebracht werden soll. Es geht um die Bestimmung der Fragestellung. Dabei schlüsselt sich eine Forschungsfrage oftmals in mehrere Unterfragen auf (Mayring, 2015).

Ziel der Arbeit ist es, eine Lernschachtel zu entwickeln, welche sich mit der Frage beschäftigt, ob sich die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren eignen. Dies soll im Kontext von Forschenden Lernen passieren.

Die Analyse der Protokolle erlaubt es, herauszuarbeiten, wie gut den Schüler\*innen die praktische Umsetzung von Forschendem Lernen auf Level 2 (siehe Kapitel 2.5) gelungen ist. Dabei wird den Schüler\*innen eine Protokollvorlage zur Verfügung gestellt, die bei der Strukturierung ihrer Antworten helfen soll (siehe Kapitel 2.7.2). Bei Forschendem Lernen auf Level 2 wird die Fragestellung über die Eignung von Farbstoffen von Smarties als Säure-Base-Indikatoren gestellt und findet sich in der Überschrift der Protokollvorlage. Die Planung, Durchführung und Interpretation der Beobachtungen obliegen den Schüler\*innen. Die Protokollvorlage gibt dementsprechend Bereiche vor, in welchen die Schüler\*innen ihre Planung, Beobachtungen und Interpretation festhalten. Alle Bereiche werden separat ausgewertet.

Teilanalyse 1 lautet somit: „Analyse zum Gelingen von Forschenden Lernen basierend auf den Protokollen von Schüler\*innen“ und beschäftigt sich mit folgenden Aspekten: Versuchsplanung, Beobachtung und Interpretation der Schüler\*innen. Dabei wird auch der Umgang mit Fachbegriffen berücksichtigt.

Für Forschendes Lernen ist der Erkenntnisgewinnungsprozess immer zentral (siehe Kapitel 2.1). Dazu gehören neben der Fragestellung, Planung und Durchführung der Versuche, Beobachtungen und Interpretation der Ergebnisse der Schüler\*innen auch die gewonnenen Erkenntnisse aus diesem Prozess. Die Frage stellt sich, ob die Schüler\*innen am Ende der Einheiten von Forschenden Lernen auch beschreiben können, was man unter einem Säure-Base-Indikator versteht. Darum geht es in der Teilanalyse 2: „Beschreibung eines Säure-Base-Indikators“. Hierfür werden die Antworten der Abschlussbefragung der Schüler\*innen ausgewertet. Dabei wird auch der Umgang mit Fachbegriffen berücksichtigt. Es ist anzunehmen, dass Lernendenvorstellungen zu Säure-Base-Indikatoren in die Antworten der Schüler\*innen einfließen werden (siehe Kapitel 2.13.2).

Da es bei Forschenden Lernen (Inquiry-based Learning) immer um „Inquiry“ (siehe Kapitel 2.3.1) geht, soll abschließend auch beantwortet werden, ob die Schüler\*innen sich erinnern können, an was sie im Zuge der Lernschachtel erforscht haben. Hierfür sollen die Schüler\*innen die Fragestellung der Lernschachtel in eigenen Worten formulieren. Teilanalyse 3 lautet somit: „Wiedergabe der Fragestellung der Lernschachtel“. Hierfür werden die Antworten der

Abschlussbefragung ausgewertet. Der Umgang mit Fachbegriffen wird ebenfalls berücksichtigt.

Die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring unterscheidet drei verschiedene Grundformen. Bei diesen Grundformen handelt es sich um drei voneinander unabhängig Analysetechniken und diese nennen sich:

- *Zusammenfassung*: Hier ist das Ziel der Analyse das Material so zu reduzieren, dass wesentliche Inhalte erhalten bleiben und eine überschaubare Zusammenfassung der Inhalte vorliegt.
- *Explikation*: Das Ziel der Analyse ist, dass zu einzelnen fraglichen Textteilen noch zusätzliches Material herangetragen wird. Dadurch sollen die entsprechenden Textteile erläutert und erklärt werden.
- *Strukturierung*: Hier ist das Ziel der Analyse, dass bestimmte Aspekte aus dem Material herausgefiltert werden oder Material aufgrund bestimmter Kriterien einzuschätzen.

(Mayring, 2015)

In dieser Masterarbeit wurde die Methode der Zusammenfassung als Analysetechnik gewählt. Zu diesem Zweck wurden Kategorien induktiv entwickelt. Diese Kategorien werden aus dem Material direkt entwickelt und nicht im Vorhinein festgelegt. Das Ziel ist, eine möglichst naturalistische und gegenstandsnahe Abbildung des Materials zu erhalten. Dabei sollen die Vorannahmen des Forschers bzw. der Forscherin diese Abbildung nicht verzerren (Mayring, 2015). Ein möglichst offener, unvoreingenommener Blick auf das auszuwertende Material soll dadurch stattfinden können.

Eine anderer Zugang wird gewählt, wenn Kategorien deduktiv gebildet werden: Hierbei werden aus Voruntersuchungen oder Theoriekonzepten Kategorien zur Analyse im Vorhinein entwickelt (Mayring, 2015).

Um eine gut nachvollziehbare quantitative Inhaltsanalyse zu ermöglichen, ist es wichtig, folgende Analyseeinheiten festzulegen:

- *Kodiereinheit*: Sie legt fest, welches der kleinste auszuwertende Materialbestandteil ist. Sie ist der minimalste Textanteil, der unter eine Kategorie fallen kann.
- *Kontexteinheit*: Sie legt den größten Textbestandteil fest, der unter eine Kategorie fallen kann.
- *Auswertungseinheit*: Sie legt fest, welche Textteile ausgewertet werden.

(Mayring, 2015)

Nach Bestimmung der Analyseeinheiten in der Masterarbeit wurden die Materialien mithilfe von Paraphrasierung und Generalisierung ausgewertet und die Kategorien erstellt. Durch die Paraphrasierung werden Textbausteine auf eine ähnliche sprachliche Ebene gehoben, durch die Generalisierung werden Inhalte verallgemeinert. Darauf basiert das Bilden der Kategorien (Mayring, 2015). Es ist wichtig, dass dieses Kategoriensystem auch wieder überprüft und wenn

notwendig angepasst wird (Mayring, 2015). Auch dies wurde während der Auswertung der Materialien beachtet.

Nach dem Herausarbeiten der Kategorien kann die Häufigkeit dieser ermittelt und ausgewertet werden.

Die Verwendung und Nützlichkeit der Tippkarten der Schüler\*innen wurde quantitativ mithilfe von Microsoft-Excel ausgewertet.

# 5 Ergebnisse

Um unterschiedliche Aspekte zum Arbeiten mit der Lernschachtel beantworten zu können, wurden in QCAmap drei Teilanlaysen erstellt. Innerhalb einer Teilanalyse kann Material eines Typs hochgeladen werden z.B. alle Protokolle als Word-Dokumente. Die Teilanlaysen wurden nach der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring durchgeführt (siehe Kapitel 4.3).

Die Teilanalyse 1 wurde „Analyse zum Gelingen von Forschenden Lernen basierend auf den Protokollen von Schüler\*innen“ genannt. Sie konzentriert sich auf das Gelingen der Versuchsplanung, der Beobachtung und des Ziehens von Schlüssen. Hierfür wurden alle Protokolle analysiert.

In der Teilanalyse 2 ging es darum, dass die Schüler\*innen einen Säure-Base-Indikator beschreiben können. Sie wurde somit als „Beschreibung eines Säure-Base-Indikators“ bezeichnet. Hierfür wurden die Antworten aller Abschlussbefragungen mit der Aufgabenstellung „Erkläre mit deinen eigenen Worten, was ein Indikator für saure und basische Lösungen ist!“ analysiert.

Die Teilanalyse 3 beschäftigt sich mit der „Wiedergabe der Fragestellung der Lernschachtel“. Die Schüler\*innen sollen die Fragestellung der Lernschachtel formulieren. Es geht um die Eignung von Farbstoffen von Smarties als Säure-Base-Indikatoren. Hierfür werden alle Antworten der Abschlussbefragung mit der Aufgabenstellung: „Formuliere die Fragestellung der Lernschachtel mit Smarties mit deinen eigenen Worten!“ analysiert.

Der Einsatz Tippkarten wurden mithilfe von Microsoft-Excel analysiert.

## 5.1 Teilanalyse 1 – „Analyse zum Gelingen von Forschendem Lernen basierend auf den Protokollen von Schüler\*innen“

In dieser Teilanalyse wurden insgesamt 24 unterschiedliche Protokolle analysiert. Die Schüler\*innen arbeiteten zu zweit (maximal zu dritt) in Gruppen. Jede Person hatte ein Protokoll abzugeben. Waren die geschriebenen Protokolle innerhalb der Gruppe ident, wurden sie nur einmal in die Analyse aufgenommen. Waren die Protokolle jedoch unterschiedlich, so wurden beide in die Analyse aufgenommen und zu der Zahl noch zusätzlich ein Buchstabe hinzugefügt z.B. 14A/14B. In Zuge der Teilanalyse 1 soll untersucht werden wie gut den Schüler\*innen die Versuchsplanung, Durchführung, Beobachtung und Interpretation der Versuche der Schüler\*innen gelingt.

### 5.1.1 Ergebnisse der Teilanalyse 1 – „Wie gelingt die Versuchsplanung?“

Im Folgenden werden die induktiv erhaltenen Kategorien mit Ankerbeispielen und entsprechender Quelle beschrieben.

#### Analyseeinheiten der Teilanalyse 1 - „Wie gelingt die Versuchsplanung?“

- Kodiereinheit: Ein Wort

- Kontexteinheit: Mehrere Sätze bzw. ganze Antwort pro Aufgabenstellung oder Frage
- Auswertungseinheit: Abschnitt der Versuchsplanungen in den Protokollen der Schüler\*innen

Tabelle 4: Hauptkategorien zur Teilanalyse 1 – „Wie gelingt die Versuchsplanung?“

	<b>Bezeichnung</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Ankerbeispiel</b>	<b>Quelle</b>
Hauptkategorie	Angemessene Planung	Diese Hauptkategorie beschreibt eine angemessene Planung, dazu zählt: <ul style="list-style-type: none"> <li>• direkt saure/basische Lösung zugeben</li> <li>• Farben zuerst in Wasser lösen, dann saure/basische Lösung zugeben</li> </ul>	Die Smarties werden in drei der Multititerplatten Vertiefungen hineingelegt. Danach kann man die Säure und die Basis hinzufügen.	Protokoll 1, Versuchsplanung
Hauptkategorie	Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet	Diese Hauptkategorie beschreibt Fachbegriffe, die falsch geschrieben oder unpräzise verwendet werden	Danach kann man die Säure und die Basis hinzufügen.	Protokoll 1, Versuchsplanung
Hauptkategorie	Unangemessene Planung	Zu dieser Hauptkategorie gehört unangemessenes Vorgehen wie: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ausschließlich Zugabe saurer Lösung</li> <li>• saure Lösung/basische Lösung zum Lösen der Farbe</li> </ul>	Zuerst geben wir das Smarties in die Säure und danach in das Wasser, damit es die Farbe verliert.	Protokoll 6, Versuchsplanung
Hauptkategorie	Angemessene Verwendung der Begriffe saure/basische Lösung	In diese Kategorie fällt die angemessene Verwendung der Begriffe saure und basische Lösung.	Keine Counts.	

Die 24 Protokolle enthalten 59 markierte Stellen. Von diesen 59 Stellen bzw. „Counts“ können verschiedene Kategorien unterschieden werden (pro Protokoll: durchschnittlich: 2,5 Counts; maximal: 4 Counts; minimal: 1 Count):

- Angemessene Planung (51 Counts)
- Unangemessene Planung (3 Counts)
- Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet (außer Säure und Base statt saurer und basischer Lösung) (5 Counts)
- Angemessene Verwendung der Begriffe saure/basische Lösung (0 Counts)

Die genaue Auflistung der Counts befindet sich zusammen mit einer noch detaillierteren Beschreibung der Kategorien (Hauptkategorien und Unterkategorien) im Anhang.

Die eindeutige Mehrheit der Protokolle zeigt eine angemessene Planung, während nur eine sehr kleine Minderheit eine unangemessene Planung beschreibt. Es wurden alle Versuchsplanungen noch einmal gesondert von der Lehrperson mit den Schüler\*innen besprochen und den Schüler\*innen danach erlaubt diese durchzuführen.

Besonders detailliert wurden unangemessene Versuchsplanungen besprochen. Diese wurden für die Evaluierung berücksichtigt, um über das Gelingen der Versuchsplanungen Aussagen treffen zu können. Die Durchführung dieser Planungen wurde von den Schüler\*innen nach Besprechung mit der Lehrperson sinnvoll angepasst.

Als angemessene Planung wurden zwei unterschiedliche Versuchsplanungen eingeordnet: Einmal wird direkt saure/basische Lösung auf die Smarties getropft (4 Counts) und einmal wird die Farbe der Smarties zuerst in Wasser gelöst (47 Counts) und anschließend die saure/basische Lösung zu der gefärbten Lösung hinzugegeben. Die überwiegende Mehrheit beschreibt in ihrer Versuchsplanung also das Lösen der Farbe und nicht die direkte Zugabe der sauren/basischen Lösung. Das Lösen der Farbe der Smarties in Wasser lässt sich in folgende zentrale Schritte unterteilen: Farbe lösen (20 Counts), Verteilen (11 Counts), Zugabe saure und basische Lösung (15 Counts). Das Lösen der Farbe und Zugabe der sauren und basischen Lösung wird von der Mehrheit vermerkt, während das Verteilen der Lösung oftmals keine Erwähnung findet.

An einer Stelle wird explizit erwähnt, dass das Verwenden von heißem Wasser wichtig wäre (1 Count).

Eine grob ungemessene Planung beschreibt das Lösen der Farbe mit saurer bzw. basischer Lösung (2 Counts) oder dass ausschließlich die saure Lösung und nicht auch basische verwendet wird, um festzustellen, ob es sich bei den Farbstoffen von Smarties um einen Säure-Base-Indikator handelt (1 Count).

Der Kategorie „Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet“ werden nicht jene Stellen zugeordnet, in denen Schüler\*innen die Begriffe Säure/Base statt saurer/basischer Lösung verwenden. An fünf Stellen werden Fachbegriffe unpräzise verwendet oder falsch geschrieben, so wird statt „Base“ der Begriff „Basis“ verwendet.

Alle Schüler\*innen verwenden noch die Begriffe Säure und Base statt saurer und basischer Lösung in ihren Planungen.

### **5.1.2 Ergebnisse der Teilanalyse 1 - „Wie gelingen die Beobachtungen?“**

Im Folgenden findet die Beschreibung Kategorien mit Ankerbeispielen und entsprechender Quelle statt.

#### **Analyseeinheiten der Teilanalyse 1 - „Wie gelingen die Beobachtungen?“**

- Kodiereinheit: Ein Wort
- Kontexteinheit: Mehrere Sätze bzw. ganze Antwort pro Aufgabenstellung oder Frage
- Auswertungseinheit: Abschnitt der Beobachtungen in den Protokollen der Schüler\*innen

Tabelle 5: Kategorien der Teilanalyse 1 – „Wie gelingen die Beobachtungen?“

	<b>Bezeichnung</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Ankerbeispiel</b>	<b>Quelle</b>
Hauptkategorie	Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet	Diese Hauptkategorie beschreibt Fachbegriffe, die falsch geschrieben oder unpräzise verwendet werden	Lila: Salzsäure = rosa, Natron = grün	Protokoll 14, Beobachtung
Hauptkategorie	Beobachtungen, die den erwartenden Ergebnissen entsprechen	In diese Hauptkategorie fallen Beobachtungen, die den erwartenden Ergebnissen entsprechen.	Orange verfärbt sich nicht. Gelb verfärbt sich nur bei Natronlauge (Base) orange. Lila verfärbt bei Säure violett und bei Base wird grünlich. Rot verfärbt sich nur bei Base orange.	Protokoll 10, Beobachtung
Hauptkategorie	Tabelle	In diese Hauptkategorie fallen alle schriftlichen Aufzeichnungen in Form einer Tabelle.	/ lila / orange / grün / rosa Salzsäure / lila / orange / grün / rosa Natronlauge / blau / orange / gelb / beige	Protokoll 13D, Beobachtungen
Hauptkategorie	Beobachtungen, die stark von erwartenden Ergebnissen abweichen	In diese Hauptkategorie fallen Beobachtungen, die stark von den zu erwartenden Ergebnissen abweichen.	Die Farben haben sich nicht verändert.	Protokoll 6, Beobachtungen
Hauptkategorie	Keine Beobachtung	In diese Hauptkategorie fallen Beschreibungen, die keiner Beobachtung zugeordnet werden. Dazu zählen: • Interpretationen • Versuchsplanung bzw. - durchführung	Erstens lösen wir die Farbe von den Smarties mit Wasser und importieren die gefärbte Flüssigkeit in die Multititerplatte und geben dazu 3 Tropfen.	Protokoll 6, Beobachtungen

Die 24 ausgewerteten Protokolle enthalten 51 markierte Stellen (Counts). Es wurden folgende Kategorien induktiv gebildet (pro Protokoll: durchschnittlich: 2,1 Counts; maximal: 6 Counts; minimal: 1 Count):

- Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet (außer Säure und Base statt saurer und basischer Lösung) (10 Counts)
- Beobachtungen, die den erwartenden Ergebnissen entsprechen (25 Counts)
- Keine Beobachtung (6 Counts)
- Tabelle (2 Counts)
- Beobachtungen, die stark von erwartenden Ergebnissen abweichen (8 Counts)
- Keine Beobachtung (6 Counts)

Die genaue Auflistung der Counts befindet sich zusammen mit einer noch detaillierteren Beschreibung der Kategorien (Hauptkategorien und Unterkategorien) im Anhang.

An zehn Stellen werden Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet. Sie schreiben z.B. „Natron“ statt Natronlauge.

Die überwiegende Mehrheit an markierten Stellen, 25 Counts, fällt in die Kategorie der „Beobachtungen, die den erwartenden Ergebnissen entsprechen“ (siehe Kapitel 3.3.5). In die Kategorie „Beobachtungen, die stark von erwartenden Ergebnissen abweichen“ (z.B. „Die Farben haben sich nicht verändert“) fallen 8 Counts.

In sechs Fällen werden die entsprechenden Abschnitte der Protokolle der Schüler\*innen nicht Beobachtungen zugeordnet, sondern einer Versuchsplanung bzw. -durchführung (1 Count) oder einer Interpretation (5 Counts)

An zwei Stellen werden Tabellen zur Beschreibung der Beobachtungen gewählt.

### 5.1.3 Ergebnisse der Teilanalyse 1 – „Wie gelingt es, Schlüsse zu ziehen?“

Im Folgenden findet die Beschreibung der Kategorien mit Ankerbeispielen und entsprechender Quelle statt.

#### Analyseeinheiten der Teilanalyse 1 - „Wie gelingt es, Schlüsse zu ziehen?“

- Kodiereinheit: Ein Wort
- Kontexteinheit: Mehrere Sätze bzw. ganze Antwort pro Aufgabenstellung oder Frage
- Auswertungseinheit: Abschnitt des Ziehens von Schlüssen in den Protokollen der Schüler\*innen

Tabelle 6: Kategorien der Teilanalyse 1 – „Wie gelingt es, Schlüsse zu ziehen?“

	Bezeichnung	Beschreibung	Ankerbeispiel	Quelle
Hauptkategorie	Korrekte Interpretation	In diese Hauptkategorie fallen Interpretationen, die den zu erwartenden Ergebnissen entsprechen.	Grün: ändert Farbe bei Base = Indikator Orange: ändert nicht die Farbe ≠ Indikator Blau: ändert bei Salzsäure und Base = Indikator Gelb: ändert bei Base die Farbe = Indikator	Protokoll 17, Schlüsse ziehen
Hauptkategorie	Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet	Diese Hauptkategorie beschreibt Fachbegriffe, die falsch geschrieben oder unpräzise verwendet werden	Lila ist einer, weil es sich auch bei Natron ändert.	Protokoll 8, Schlüsse ziehen
Hauptkategorie	Beobachtung	In diese Hauptkategorie fallen Beobachtungen, keine Interpretationen.	Keine Counts.	

Hauptkategorie	Tabelle	Hier werden schriftliche Aufzeichnungen in Form einer Tabelle gemacht.	<table border="1"> <tr> <td>Farbe</td><td>/ Indikator?</td><td>/ Wenn, wieso glaubst du das?</td></tr> <tr> <td>Grün</td><td>/ Ja</td><td>/ Farbe ändert sich (basisch)</td></tr> <tr> <td>Gelb</td><td>/ Ja</td><td>/ Farbe ändert sich (basisch)</td></tr> <tr> <td>Orange</td><td>/ Nein</td><td>/ Farbe ändert sich (saurer Säure)</td></tr> <tr> <td>Blau</td><td>/ Ja</td><td>/ Farbe ändert sich (Säure pink, basisch helles Blau)</td></tr> <tr> <td>Rot</td><td>/ Ja</td><td>/ Farbe ändert sich (basisch)</td></tr> </table>	Farbe	/ Indikator?	/ Wenn, wieso glaubst du das?	Grün	/ Ja	/ Farbe ändert sich (basisch)	Gelb	/ Ja	/ Farbe ändert sich (basisch)	Orange	/ Nein	/ Farbe ändert sich (saurer Säure)	Blau	/ Ja	/ Farbe ändert sich (Säure pink, basisch helles Blau)	Rot	/ Ja	/ Farbe ändert sich (basisch)	Protokoll 7, Schlüsse ziehen
Farbe	/ Indikator?	/ Wenn, wieso glaubst du das?																				
Grün	/ Ja	/ Farbe ändert sich (basisch)																				
Gelb	/ Ja	/ Farbe ändert sich (basisch)																				
Orange	/ Nein	/ Farbe ändert sich (saurer Säure)																				
Blau	/ Ja	/ Farbe ändert sich (Säure pink, basisch helles Blau)																				
Rot	/ Ja	/ Farbe ändert sich (basisch)																				
Hauptkategorie	Nicht korrekte Interpretation	Hier wird aus den zu erwartenden Beobachtungen auf falsche Interpretationen geschlossen	Gelb: Ja, Indikator verändern Zugabe von Säure	Protokoll 5B, Schlüsse ziehen																		
Hauptkategorie	Versuchsplanung bzw. -durchführung	Hier wird die Versuchsplanung bzw. -durchführung beschrieben und nicht die Interpretation.	Keine Counts.																			

In den 24 Protokollen finden sich 31 markierten Stellen und es verschiedene induktiv entwickelte Kategorien unterschieden werden (pro Protokoll: durchschnittlich: 1,3 Counts; maximal: 3 Counts; minimal: 1 Count). Diese Markierungen sind folgendermaßen verteilt:

- Korrekte Interpretation (25 Counts)
- Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet (außer Säure und Base statt saurer und basischer Lösung) (2 Counts)
- Beobachtung (0 Counts)
- Tabelle (2 Counts)
- Nicht korrekte Interpretation (2 Counts)
- Versuchsplanung bzw. -durchführung (0 Counts)

Die genaue Auflistung der Counts befindet sich zusammen mit einer noch detaillierteren Beschreibung der Kategorien (Hauptkategorien und Unterkategorien) im Anhang.

Die überwiegende Anzahl an markierten Stellen (25 Counts) fällt in die Kategorie der „Korreken Interpretationen“. Das bedeutet, dass aus den Beobachtungen die zu erwartenden richtigen Interpretationen geschlossen werden können (siehe Kapitel 3.3.5). Es zwei Beispiele der Kategorie „Nicht korrekte Interpretation“. Das bedeutet, dass aus den zu erwartenden Beobachtungen falsche Interpretationen geschlossen werden.

Es gibt keine Stelle, an welcher eine Beobachtung anstatt einer Interpretation stattfindet. An zwei Stellen wurde als Darstellungsform eine Tabelle gewählt. Auch die Beschreibung der Versuchsplanung anstatt der Interpretation findet an keiner Stelle statt. An zwei Stellen werden die Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet (z.B. „Natron“ statt „Natronlauge“).

## 5.2 Teilanalyse 2 – „Beschreibung eines Säure-Base-Indikators“

Nachdem die Schüler\*innen mehrere Tage lang im Zuge der Einheiten mit der Lernschachtel gearbeitet haben, fand eine Abschlussbefragung statt. Die Abschlussbefragung füllte jede Schülerin bzw. jeder Schüler ohne Absprache mit anderen Schüler\*innen einzeln aus. Analysiert wurden die Antworten der Aufgabenstellung: „Erkläre mit deinen eigenen Worten, was ein Indikator für saure und basische Lösungen ist!“ Insgesamt wurden 35 Antworten zur Beschreibung eines Säure-Base-Indikators analysiert. Diese Antworten sind entscheidend, da sie am Ende der mehrtägig andauernden Lernschachtel gegeben wurden.

### 5.2.1 Ergebnisse der Teilanalyse 2 – „Was umfasst die Beschreibung eines Säure-Base-Indikators?“

Im Folgenden findet die Beschreibung Kategorien mit Ankerbeispielen und entsprechender Quelle statt.

#### Analyseeinheiten der Teilanalyse 2 - „Was umfasst die Beschreibung eines Säure-Base-Indikators?“

- Kodiereinheit: Ein Wort
- Kontexteinheit: Mehrere Sätze bzw. ganze Antwort pro Aufgabenstellung oder Frage
- Auswertungseinheit: Auswertung der Abschlussbefragung zur Beschreibung eines Säure-Base-Indikators

Tabelle 7: Hauptkategorien der Teilanalyse 2 – „Was umfasst die Beschreibung eines Säure-Base-Indikators?“

	Bezeichnung	Beschreibung	Ankerbeispiel	Quelle
Hauptkategorie	Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet	Diese Hauptkategorie beschreibt Fachbegriffe, die falsch geschrieben oder unpräzise verwendet werden	Keine Counts.	
Hauptkategorie	Prinzipielles Verstehen der Wirkung eines Säure-Base-Indikators	Hier wird das prinzipielle Verstehen der Wirkung eines Säure-Basen-Indikators beschrieben. Dazu zählen: <ul style="list-style-type: none"><li>• saure Lösung UND basische Lösung führen zur Farbänderung</li><li>• saure Lösung ODER basische Lösung führt</li></ul>	Ein Indikator ist ein Stoff, der seine Eigenschaften wegen Säuren und Basen verändert. Er verändert auch seine Farbe.	S21_Indikator, Abschlussbefragung

		<ul style="list-style-type: none"> <li>zur Farbänderung</li> <li>Explizite Verwendung der Begriffe saure/basische Lösung</li> </ul>		
Hauptkategorie	Teilverstehen der Wirkung eines Säure-Base-Indikators	<p>Zu der Hauptkategorie des Teilverständens der Wirkung eines Indikators zählen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Wirkung auf Säuren und Basen</li> <li>Farbänderung</li> <li>Nur die saure Lösung führt zur einer Farbänderung</li> <li>Nur die basische Lösung führt zur Färbänderung</li> <li>Explizite Verwendung der Begriffe saure/basische Lösung</li> </ul>	Ein Indikator verändert seine Farbe bei der Zugabe einer Lösung.	S7_Indikator, Abschlussbefragung
Hauptkategorie	Sonstiges	In diese Hauptkategorie fallen nicht zuordenbare Aussagen.	Ist eine ätzende Lösung die Sachen verfärbt.	S20_Indikator, Abschlussbefragung

In den 35 Abschlussbefragungen beschäftigen sich die Schüler\*innen mit der Beschreibung von Säure-Base-Indikatoren. Es werden 34 Stellen markiert. Die Counts teilen auf verschiedenen Kategorien auf (pro Abschlussbefragung: durchschnittlich: 1 Count; maximal: 1 Count; minimal: 0 Counts):

- Prinzipielles Verstehen der Wirkung eines Säure-Base-Indikators (19 Counts)
- Teilverstehen der Wirkung eines Säure-Base-Indikators (13 Counts)
- Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet (außer Säure und Base statt saurer und basischer Lösung) (0 Counts)
- Sonstiges (2 Counts)

Die genaue Auflistung der Counts befindet sich zusammen mit einer noch detaillierteren Beschreibung der Kategorien (Hauptkategorien und Unterkategorien) im Anhang.

Die größte Anzahl an markierten Stellen, fällt in die Kategorie „Prinzipielles Verstehen der Wirkung eines Säure-Base-Indikators“ (19 Counts), ein kleinerer Teil fällt in die Kategorie „Teilverstehen der Wirkung eines Säure-Base-Indikators“ (13 Counts).

Unter die Kategorie „Prinzipielles Verstehen der Wirkung eines Säure-Base-Indikators“ fallen die Antworten von Schüler\*innen, die beschreiben können, dass saure und/oder basische

Lösungen zu einer Farbänderung des Säure-Base-Indikators führen. An zwei Stellen wird angegeben, dass saure UND basische Lösungen zu einer Farbänderung führen, während an sieben Stellen angegeben wird, dass saure ODER basische Lösungen zu einer Farbänderung führen. In den Einheiten wurden mehrfach wiederholt, dass eine Farbänderung des Säure-Base-Indikators in der sauren oder auch basischen Lösung ausreicht, um von einem Säure-Base-Indikator sprechen zu können.

Eine Unterkategorie des prinzipiellen Verständnisses der Wirkung eines Säure-Base-Indikators ist „Explizite Verwendung der Begriffe saure/basische Lösung“. Wie bereits erwähnt, wird die unangemessene Verwendung der Begriffe Säure/Base anstatt saure/basische Lösung nicht der Kategorie „Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet“ zugeordnet. Die korrekte Verwendung der Begriffe saure/basische Lösung findet im Rahmen der angemessenen Beschreibung eines Säure-Base-Indikators zehnmal statt.

An dreizehn Stellen der Texte kann hingegen ein Teilverständen der Wirkung eines Säure-Base-Indikators gezeigt werden: Die Mehrheit (10 Counts) erwähnt in dieser Kategorie die Farbänderung. Zweimal wird von der Wirkung des Säure und Basen gesprochen. Die explizite Erwähnung der Begriffe saure/basische Lösung findet nur einmal statt, indem beschrieben wird, dass nur die basische Lösung zur Farbänderung führt (1 Count).

Fachbegriffe werden nicht falsch geschrieben oder unpräzise verwendet (0 Counts).

In die Kategorie „Sonstiges“ fallen zwei markierte Stellen, die nicht zuordenbar sind. Hier wird z.B. ein Säure-Base-Indikator als ätzende Flüssigkeit beschrieben.

## **5.3 Teilanalyse 3 – „Wiedergabe der Fragestellung der Lernschachtel“**

Nach den mehrtägig stattfindenden Einheiten zur Lernschachtel, füllte jede Schülerin bzw. jeder Schüler ohne Absprache mit anderen Schüler\*innen die Abschlussbefragung einzeln aus. Analysiert wurden die Antworten der Aufgabenstellung: „Formuliere die Fragestellung der Lernschachtel mit Smarties mit deinen eigenen Worten!“ Insgesamt wurden 35 Abschlussbefragung zur Wiedergabe der Fragestellung der Lernschachtel ausgewertet.

### **5.3.1 Ergebnisse der Teilanalyse 3 – „Wie gut kann die Fragestellung der Lernschachtel formuliert werden?“**

Im Folgenden findet die Beschreibung Kategorien mit Ankerbeispielen und entsprechender Quelle statt.

#### **Analyseeinheiten der Teilanalyse 2 - „Wie gut kann die Fragestellung der Lernschachtel formuliert werden?“**

- Kodiereinheit: Ein Wort
- Kontexteinheit: Mehrere Sätze bzw. ganze Antwort pro Aufgabenstellung oder Frage
- Auswertungseinheit: Auswertung der Abschlussbefragung zur Wiedergabe der Fragestellung der Lernschachtel

Tabelle 8: Kategorien der Teilanalyse 3 – „Wie gut kann die Fragestellung der Lernschachtel formuliert werden?“

	<b>Bezeichnung</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Ankerbeispiel</b>	<b>Quelle</b>
Hauptkategorie	Gelingen der Wiedergabe der Fragestellung	In diese Hauptkategorie fällt die richtige Wiedergabe der Fragestellung.	Keine Counts.	
Hauptkategorie	Gelingen der Wiedergabe der Fragestellung in groben Zügen	In diese Hauptkategorie fallen Antworten, die die Fragestellung in groben Zügen wiedergeben können.	Ob Smarties, Indikatoren oder keine Indikatoren sind	S10_Abschlussbefragung Teil 2, Fragestellung
Hauptkategorie	Beobachtung	In diese Hauptkategorie fallen Beobachtungen.	Smarties mit Säure oder Base gemischt verändern Farbe.	S14_Abschlussbefragung Teil 2, Fragestellung
Hauptkategorie	Definition	Hier wird eine Definition wiedergegeben.	Smarties sind Indikatoren, denn sie verändern ihre Farbe mit Zugabe, einer Säure oder Base.	S12_Abschlussbefragung Teil 2, Fragestellung
Hauptkategorie	Durchführung	Hier wird eine Durchführung beschrieben.	Mussten Smarties mit Base und Säure mischen und schauen, ob das Smarty ein Indikator ist.	S1_Abschlussbefragung, Fragestellung
Hauptkategorie	Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet	Diese Hauptkategorie beschreibt Fachbegriffe, die falsch geschrieben oder unpräzise verwendet werden	Ich habe die Smarties in die Tabellen gegeben und habe verschiedene Säuren dazugegeben.	S24_Abschlussbefragung Teil 2, Fragestellung

In den 35 Abschlussbefragungen wird ermittelt, wie gut die Schüler\*innen die Fragestellung der Lernschachtel wiedergeben können. Insgesamt werden 44 markierte Stellen bewertet (pro Abschlussbefragung: durchschnittlich 1,4 Counts: 1 Count; maximal: 2 Counts; minimal: 1 Count). Die Frage ist, ob sich die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren eignen.

Folgende Kategorien konnten gebildet werden:

- Gelingen der Wiedergabe der Fragestellung (0 Counts)
- Gelingen der Wiedergabe der Fragestellung in groben Zügen (26 Counts)
- Beobachtung (3 Counts)
- Definition (5 Counts)
- Durchführung (9 Counts)

- Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet (außer Säure und Base statt saurer und basischer Lösung) (1 Count)

Die genaue Auflistung der Counts befindet sich zusammen mit einer noch detaillierteren Beschreibung der Kategorien (Hauptkategorien und Unterkategorien) im Anhang.

Ein kleiner Teil der Schüler\*innen gibt nicht die Fragestellung wieder, sondern beschreibt Beobachtungen (3 Counts). Ein weiterer geringer Anteil der Antworten der Schüler\*innen wird der Kategorie der Definition des Säure-Base-Indikators zugeordnet (5 Counts). Ein weiterer Teil der Antworten wird der Kategorie der Durchführung (9 Counts) zugeordnet. Nur einmal werden Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet (1 Count).

Kein Schüler oder keine Schülerin kann die Fragestellung, ob sich die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren eignen, präzise wiedergeben. Stattdessen schreiben die Schüler\*innen:

„Sind Smarties Indikatoren?“ (S16\_Abschlussbefragung Teil 2)

oder

„Ob Smarties, Indikatoren oder keine Indikatoren sind“ (S10\_Abschlussbefragung Teil 2).

Diese Aussagen werden der Kategorie „Gelingen der Wiedergabe der Fragestellung in groben Zügen“ zugeordnet und sie bilden die eindeutige Mehrheit der markierten Stellen (26 Counts).

## 5.4 Der Einsatz der Tippkarten

Den Schüler\*innen wurden vier Tippkarten (gestufte Lernhilfen) zur Verfügung gestellt. Sie sollen als Makro-Scaffolding den Schüler\*innen als optionale Lernunterstützung dienen. In der Abschlussbefragung, welche am Ende der Einheiten zur Lernschachtel durchgeführt wurde, wurden die Schüler\*innen zum Einsatz der Tippkarten befragt. Insgesamt wurden 35 Abschlussbefragungen mithilfe von Microsoft-Excel ausgewertet. Die Schüler\*innen konnte die Tippkarten als nicht hilfreich, wenig hilfreich, etwas hilfreich, sehr hilfreich einstufen. Sie konnten auch angeben, ob sie die entsprechende Tippkarte überhaupt verwendet haben. Die Auswertung der Angaben der Schüler\*innen fand mit Microsoft-Excel statt.

### 5.4.1 Tippkarte 1: Bevor ich starte!

Die Tippkarte 1 eignet sich als Unterstützung der Planung der Versuche. Die Schüler\*innen sollen die Fragestellung, ob sich die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren eignen und ihre Planung in Protokollen festhalten. Der Hinweis der Tippkarte lautet: „Überlege dir, wie du die Farben der Smarties in Lösung bringen kannst! Das Becherglas, Wasser und die Pipette könnten dir dabei helfen.“

In den 35 ausgewerteten Abschlussbefragungen gab die knappe Mehrheit Schüler\*innen (18) an, dass sie die Tippkarte 1 nicht verwendet haben. Der restliche Teil der Schüler\*innen stufte die Tippkarten als etwas hilfreich (10), sehr hilfreich (5), wenig hilfreich (2) und nicht hilfreich (0) ein.

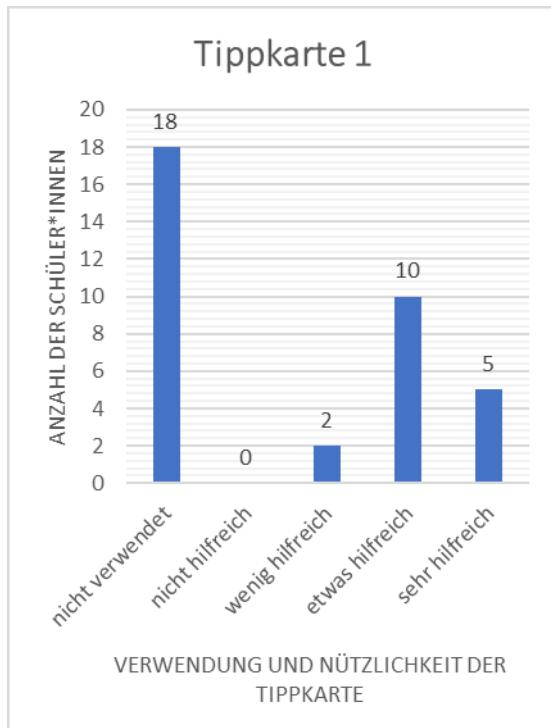


Abbildung 21: Verwendung und Nützlichkeit der Tippkarte 2 angegeben von den Schüler\*innen

### 5.4.2 Tippkarte 2: Nachdem ich die Farben der Smarties gelöst habe!

Die Tippkarte 2 eignet sich ebenfalls als Unterstützung der Planung der Versuche der Lernschachtel. Der Hinweis der Tippkarte lautet: „Erinnere dich an den ersten Versuch – wie kann man untersuchen, ob ein Farbstoff ein Indikator ist?“

In den 35 ausgewerteten Abschlussbefragungen gab die Mehrheit Schüler\*innen (22) an, dass sie Tippkarte 2 nicht verwendet haben. Der restliche Teil der Schüler\*innen stufte die Tippkarten als etwas hilfreich (6), wenig hilfreich (4), sehr hilfreich (2) und nicht hilfreich (1) ein.

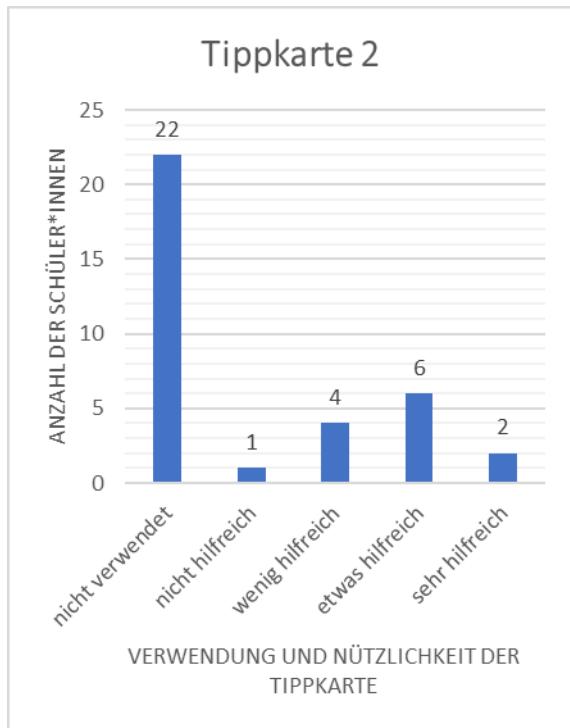


Abbildung 22: Verwendung und Nützlichkeit der Tippkarte 2 angegeben von den Schüler\*innen

### 5.4.3 Tippkarte 3: Meine Beobachtungen!

Die Tippkarte 3 eignet sich als Unterstützung der Beobachtungen der durchgeführten Versuche der Lernschachtel. Der Hinweis der Tippkarte lautet: „Du kannst Beobachtungen in Form einer Tabelle festhalten:

Farbe des Smarties	Farbe nach Zugabe der sauren Lösung	Farbe nach Zugabe der basischen Lösung

In den 35 ausgewerteten Abschlussbefragungen gab die Mehrheit Schüler\*innen (23) an, dass sie Tippkarte 3 nicht verwendet haben. Der restliche Teil der Schüler\*innen stufte die Tippkarten als etwas hilfreich (8), wenig hilfreich (3), sehr hilfreich (1) und nicht hilfreich (0) ein.

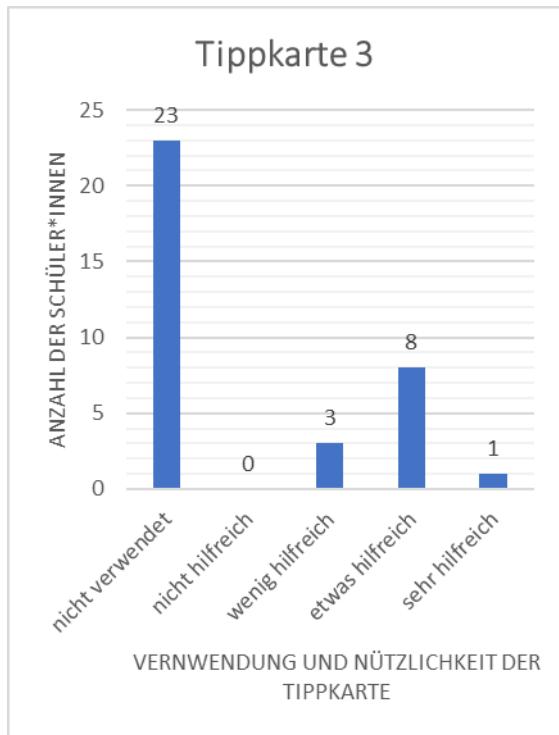


Abbildung 23: Verwendung und Nützlichkeit der Tippkarte 3 angegeben von den Schüler\*innen

#### 5.4.4 Tippkarte 4: Meine Schlüsse!

Die Tippkarte 4 eignet sich als Unterstützung des Ziehens von Schlussfolgerungen aus den Beobachtungen der Versuche der Lernschachtel. Der Hinweis der Tippkarte lautet: „Du kannst deine Schlüsse in Form einer Tabelle festhalten:“

Farbe des Smarties	Ist das Smartie ein Indikator?	Wenn das Smartie ein Indikator ist, warum glaubst du das?

“

In den 35 ausgewerteten Abschlussbefragungen gab die Mehrheit Schüler\*innen (23) an, dass sie Tippkarte 4 nicht verwendet haben. Der restliche Teil der Schüler\*innen stufte die Tippkarten als etwas hilfreich (8), sehr hilfreich (3), wenig hilfreich (1) und nicht hilfreich (0) ein.

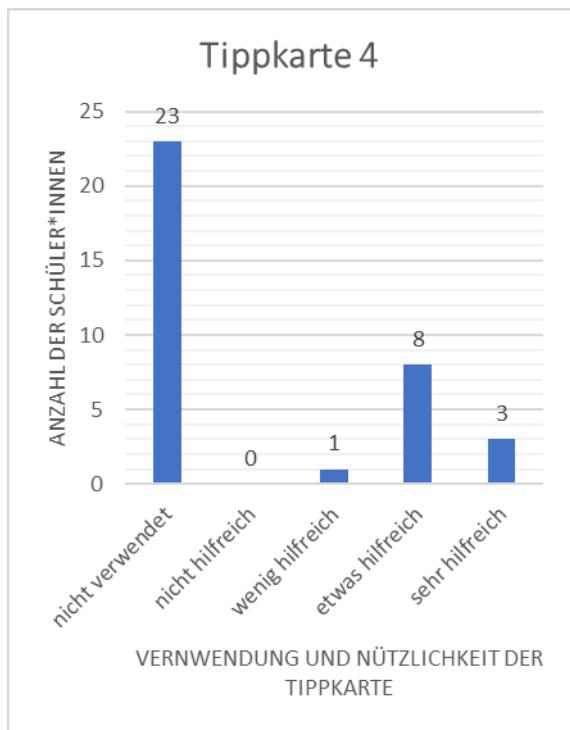


Abbildung 24: Verwendung und Nützlichkeit der Tippkarte 4 angegeben von den Schüler\*innen

# 6 Diskussion

Nach der Auswertung aller Ergebnisse mit QCMap werden die drei Teilanlaysen diskutiert.

## 6.1 Teinalalyse 1 – „Analyse zum Gelingen von Forschendem Lernen basierend auf den Protokollen von Schüler\*innen“

Mittels Analyse der Protokolle wird untersucht, wie den Schüler\*innen die Versuchsplanung, das Beobachten der Versuche und ihre Schlussfolgerungen gelungen ist.

### 6.1.1 Diskussion – Teinalalyse 1 – „Wie gelingt die Versuchsplanung?“

Die Schüler\*innen sollen der Fragestellung („Eignen sich die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren?“) durch ihre eigene Versuchsplanung nachgehen. Die Schüler\*innen sind zu diesem Zeitpunkt in der vierten Klasse. Die Schüler\*innen erleben in diesem Jahr das erste Mal einen Chemieunterricht. Sie haben daher kaum Vorerfahrung und hatten zuvor nun erstmalig die Möglichkeit, einen Versuch selbst zu planen. Als Hilfestellung wird den Schüler\*innen eine Protokollvorlage zur Verfügung gestellt.

Die die überwiegende Mehrheit der Schüler\*innen (51 Counts von 59 markierten Stellen) kann der Kategorie „Angemessene Planung“ zugeordnet werden. Diese Kategorie beschreibt, dass das Planen der Versuche prinzipiell gelungen ist. Dabei werden zwei Ansätze unterschieden:

Im ersten Ansatz werden direkt saure/basische Lösung auf die Smarties getropft. Dieser Weg wird zwar nur von einer geringen Anzahl an Schüler\*innen verfolgt (4 Counts), er ist aber sehr spannend, weil damit ebenfalls das Ziel erreicht werden kann, jedoch andere Hilfsmittel wie das zur Verfügung stehende Becherglas in der Planung keine Berücksichtigung finden.

Im zweiten Ansatz wird die Farbe der Smarties zuerst in Wasser gelöst (47 Counts) und erst danach wird die saure/basische Lösung hinzugefügt. Die angemessene Planung kann dabei in die Schritte „Farbe lösen“ (20 Counts), „Verteilen“ (11 Counts) und „Zugabe saure und basische Lösung“ (15 Counts) aufgeteilt werden. Einmal wird auch explizit „heißes Wasser“ zum Lösen der Farbstoffe vorgeschlagen. Das ist insofern interessant, weil dies in der Einführungsphase keinerlei Erwähnung findet. Die Schüler\*innen haben vermutlich Vorerfahrungen, die ihnen nahelegen, dass gewisse Stoffe sich im warmen Wasser schneller lösen als im kalten, wodurch ihnen der Vorschlag dieses Schritts logisch erschien.

Die überwiegende Mehrheit der markierten Stellen fällt in die Kategorie des angemessenen Vorgehens (51 Counts), nur eine geringe Anzahl kann der Kategorie „Unangemessene Planung“ zugeordnet werden. Dazu zählt, dass nur die saure Lösung den Smarties zugegeben wird (1 Count) und dass die saure/basische Lösung zum Lösen der Farbstoffe verwendet wird (2 Counts).

Es ist somit klar ersichtlich, dass der Mehrheit der Schüler\*innen die selbständig ausgeführte Planung sehr gut gelungen ist.

Die Tippkarte 1 (Tipp zum Lösen der Farbstoffe) und Tippkarte 2 (Tipp zur Erinnerung an den Vorversuch) sollte den Schüler\*innen bei der Planung ihrer Versuche helfen und konnte freiwillig verwendet werden. In nur 17 von 35 Abschlussbefragungen gaben die Schüler\*innen an, dass sie Tippkarte 1 verwendet haben, sie mehrheitlich als „etwas hilfreich“ (10) und zum Teil als „sehr hilfreich“ (5) und zweimal als „nicht hilfreich“ einstuften. Es zeigt sich somit, dass weniger als die Hälfte der Schüler\*innen die Tippkarte 1 verwendeten aber diese als mindestens „etwas hilfreich“ bewertet haben. Im Vergleich zu Tippkarte 1 gaben noch weniger Schüler\*innen an, dass sie Tippkarte 2 verwendeten (13), davon wurden diese in sechs Fällen als „etwas hilfreich“, viermal als „wenig hilfreich“, zweimal als „sehr hilfreich“ und einmal als „nicht hilfreich“ eingestuft. Tippkarte 2 wurde von deutlich weniger als der Hälfte Schüler\*innen verwendet aber wurde von den Schüler\*innen tendenziell als hilfreich eingestuft.

Die Ergebnisse zum Gelingen der Versuchsplanung zeigen, dass die Anforderung für den Großteil der Schüler\*innen passend ist. Ihnen gelingt auch ohne intensive Verwendung der Tippkarten die Planung. Ein Grund hierfür ist vermutlich ebenfalls die Hinführung und Vorbereitung der Schüler\*innen, die vor der Planung stattfanden (Vorversuch, Engage-Phase). Darauf basierend haben die Schüler\*innen das notwendige Hintergrundwissen und die Vorerfahrung, um die Planung selbstständig auszuführen.

In den Protokollen werden Fachbegriffe nur in wenigen Fällen verstümmelt oder mit gänzlich anderen Begriffen verwechselt (5 Counts). Festgehalten muss jedoch ebenfalls werden, dass die angemessene Verwendung der Begriffe saure/basische Lösung in der gesamten Planung der Versuche in den Protokollen nicht erfolgt (0 Counts).

**Fazit:** Der großen Mehrheit der Schüler\*innen gelingt die selbständige Versuchsplanung auch ohne intensiven Einsatz der Tippkarten sehr gut. Dabei können zwei unterschiedliche Ansätze zur Planung festgestellt werden. Die angemessene Verwendung der Begriffe saure/basische Lösung findet nicht statt.

### **6.1.2 Diskussion – Teilanalyse 1 – „Wie gelingen die Beobachtungen?“**

Nach ihrer eigenen Versuchsplanung sollen die Schüler\*innen im zweiten Schritt ihre Versuche durchführen, ihre Beobachtungen festhalten und eigene Schlüsse ziehen. Dabei verwenden sie wie bei der Versuchsplanung eine Protokollvorlage, die ihnen als Hilfestellung zum Schreiben des Protokolls dient.

In der folgenden Diskussion liegt der Fokus auf den Beobachtungen. Von insgesamt 51 markierten Stellen können 25 davon der Kategorie „Beobachtungen, die den erwartenden Ergebnissen entsprechen“ zugeordnet werden. Die Mehrheit der markierten Stellen fällt in diese Kategorie. Die Beobachtungen entsprechen jenen, die laut Kapitel 3.3.5 die erwartenden Ergebnisse wären. Im Vergleich dazu fallen nur 6 markierte Stellen in die Kategorie „Keine Beobachtungen“, dazu zählen Interpretationen (5 Counts) und „Versuchsplanung bzw. -durchführungen“ (1 Count). Dies kann wiederum als eine Bestärkung angesehen werden, dass die Protokollvorlage den Schüler\*innen tatsächlich dabei geholfen hat, zwischen der Beobachtung und der Interpretation bzw. Schlussfolgerung zu unterscheiden.

Folgende Beispiele für eine Interpretation anstatt einer Beobachtung sind exemplarisch:

„Rosa ist kein Indikator.“ (Protokoll 11B)

„Violett ist Indikator.“ (Protokoll 13D)

Es wird also sofort davon gesprochen, ob es sich bei den Farbstoffen um Säure-Base-Indikatoren handelt. Dies fällt aber nicht in die Kategorie der Beobachtung, sondern zählt zur Interpretation (nächster Punkt der Protokollvorlage).

Nur einmal wurde eine Versuchsplanung bzw. -durchführung anstatt einer Beobachtung beschrieben:

„Erstens lösen wir die Farbe von den Smarties mit Wasser und importieren die gefärbte Flüssigkeit in die Multititerplatte und geben dazu 3 Tropfen.“ (Protokoll 6).“

Die Verwechslung zwischen einer Beobachtung und der Durchführung der Experimente fand also so gut wie gar nicht statt. Dies ist sehr positiv zu bewerten, weil es bedeutet, dass die Schüler\*innen zwischen der Durchführung und Beobachtung sehr gut unterscheiden können.

Beispiele für Beobachtungen, die den erwartenden Ergebnissen entsprechen, wären:

„Orange: nichts passiert

Gelb: Salzsäure passiert nichts, aber bei Lauge wird Orange

Pink: bei der Lauge wird durchsichtig

Violett: Säure wird pink, Lauge wird heller

Grün: Natron wird gelb“ (Protokoll 4B)

Auf der anderen Seite werden acht Stellen der Kategorie „Beobachtungen, die stark von erwartenden Ergebnissen abweichen“ zugeordnet. Dies ist aber nur ein kleiner Teil der insgesamt 51 markierten Stellen.

Folgende Beispiele fallen in die Kategorie „Beobachtung, die stark von erwartenden Ergebnissen abweichen“:

„Die Farben haben sich nicht verändert“ (Protokoll 6)

„Violett: ist bei Säure gleich“ (Protokoll 11)

Der Grund, warum die Schüler\*innen die zu erwartenden Veränderungen der Farben in den Protokollen 11 und 6 nicht beobachten konnten, könnte sein, dass zu wenig saure/basische Lösung verwendet wurde oder diese miteinander verwechselt wurden.

An zehn Stellen wurden Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet, Beispiele hierfür wären „Basis“ statt Base (Protokoll 13 C) oder „säurische Lösung“ (Protokoll 2)

In nur zwei Fällen wurde eine Tabelle zur Darstellung der Beobachtungen gewählt.

Tippkarte 3 diente den Schüler\*innen als optionale Hilfe zur Festhaltung ihrer Beobachtungen. Die Darstellung dieses Tipps erfolgt in Form einer Tabelle. Tatsächlich gaben die Schüler\*innen jedoch nur in 12 von 35 Abschlussbefragungen an, dass sie die Tippkarten benützten. Die verwendeten Tippkarten wurden wiederum als „etwas hilfreich“ (8), „wenig hilfreich“ (3) und „sehr hilfreich“ (1) eingestuft. Da die Verwendung der Tippkarten somit in nur geringem Ausmaß stattfand, kann dadurch auch erklärt werden, warum die Beschreibung der Beobachtung in Form einer Tabelle kaum passierte.

**Fazit:** Die Mehrheit der Schüler\*innen kann zwischen einer Beobachtung und Interpretation unterscheiden. Es wird nur in wenigen Fällen eine Planung anstatt der Beobachtung beschrieben.

### 6.1.3 Diskussion – Teilanalyse 1 – „Wie gelingt es Schlüsse zu ziehen?“

Im Anschluss an die Versuchsplanung und die Durchführung der Versuche sollen die Schüler\*innen ihre Beobachtungen und Interpretationen der Versuche festhalten.

Dies ist den Schüler\*innen gelungen. Von 31 markierten Stellen fallen 25 in die Kategorie der korrekten Interpretation und zwei in die Kategorie der nicht korrekten Interpretation. An keiner Stelle wird eine Beobachtung anstatt einer Interpretation formuliert. Die beiden Kategorien können also wirklich sehr gut differenziert werden. Es wird zudem keine Versuchsplanung bzw. -durchführung beschrieben und an nur zwei Stellen werden Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet z.B. „Natron“ anstatt von Natronlauge (Protokoll 8).

Wie bei der Beschreibung der Beobachtungen sind auch bei der Interpretation der Daten die Angaben der Schüler\*innen sehr anschaulich können gut nachvollzogen werden.

Bei den Interpretationen kann zwischen korrekten (25 Stellen) und nicht korrekten (2 Stellen) unterschieden werden.

Exemplarische Beispiele für korrekte Interpretationen sind:

„Grün = Indikator (verändert)

Lila = Indikator (verändert)

Pink = Indikator (verändert)

Orange = kein Indikator (verändert nicht)“ (Protokoll 13D)

„Orange = kein Indikator (Säuren und Basen haben nichts verändert)

Grün = kein Indikator (Säuren und Basen haben nichts verändert)

Pink = Indikator (Base hat Pink zu durchsichtig verändert)

Lila = Indikator (Base und Säure haben das Lila verändert, die Säure zu pink und die Base zur durchsichtig).“ (Protokoll 3).

Beispiele für die Kategorie „Nicht korrekte Interpretation“ wären hingegen:

„Gelb: Ja, Indikator verändern Zugabe von Säure“ (Protokoll 5B)

In der Beobachtung findet sich jedoch folgender Eintrag:

„Gelb Smartie: Salzsäure keine Veränderung, Natronlauge Orange“ (Protokoll 5B)

Der Schüler bzw. die Schülerin kann war keine Farbänderung bei Zugabe von Salzsäure-Lösung beobachten, zieht aber den trotzdem den Schluss, dass es sich um einen Säure-Base-Indikator handelt, weil sich die Farbe ändere.

Die Tippkarte 4 sollte den Schüler\*innen beim Ziehen von Schlüssen helfen. Dabei wurde ihnen vorgeschlagen, ihre Schlussfolgerung in Form einer Tabelle festzuhalten. Weniger als die Hälfte der Schüler\*inne gab an, diese verwendet zu haben (12 von 35). Die Schüler\*innen, die sie verwendeten, stuften diese als „etwas hilfreich“ (8), „sehr hilfreich“ (3) und „wenig hilfreich“ (1) ein. Dies wäre eine Erklärung dafür, warum nur an zwei Stellen eine Tabelle als Darstellungsform der Interpretation gewählt wurde.

**Fazit:** Die Interpretation bzw. das Ziehen von Schlüssen gelingt den Schüler\*innen gut. Sie können die Interpretationen klar von Beobachtungen oder einer Versuchsplanung bzw. -durchführung abgrenzen.

## 6.2 Teilanalyse 2 – „Beschreibung eines Säure-Base-Indikators“

Basierend auf den Abschlussbefragungen wird analysiert, wie gut es den Schüler\*innen gelungen ist, Säure-Base-Indikatoren zu beschreiben.

### 6.2.1 Diskussion – Teilanalyse 2 – „Was umfasst die Beschreibung eines Säure-Base-Indikators?“

Nachdem die Schüler\*innen mit der Lernschachtel gearbeitet haben und somit die Schritte der Planung, Durchführung und Interpretation geübt haben, fand eine Abschlussbefragung statt. In 35 Abschlussbefragungen wurde ein Säure-Base-Indikator beschrieben. Die Aufgabenstellung in der Befragung lautete: „Erkläre mit deinen eigenen Worten, was ein Indikator für saure und basische Lösungen ist!“

Insgesamt konnten 34 Stellen markiert werden. Dabei kann zwischen den Kategorien „Prinzipielles Verstehen der Wirkung eines Säure-Base-Indikators“ (19 Counts) und „Teilverstehen der Wirkung eines Säure-Base-Indikators“ (13 Counts) unterschieden werden. Die Mehrheit der Schüler\*innen zeigt somit ein prinzipielles Verstehen für die Wirkung des Säure-Base-Indikators. Dazu zählen die beiden Erklärungen, dass saure oder basische Lösungen zur Farbänderung führen, aber auch, dass saure und basische Lösungen zur Farbänderung führen. An zehn Stellen werden explizit die Begriffe „saure Lösung“ und „basische Lösung“ als Ursache für Farbänderung beschrieben. An den anderen Stelle wird fälschlicherweise von „Säuren“ und „Basen“ gesprochen.

Das Teilverstehen der Wirkung des Säure-Base-Indikators and 13 Stellen festgestellt. Es wird mehrheitlich durch Aussagen der Schüler\*innen belegt, in welchen die Farbänderung beschrieben wird (10 Counts).

Beispiel hierfür wären:

„Ein Indikator verändert seine Farbe bei der Zugabe einer Lösung.“ (S7\_Indikator)

„Es verändert die Farbe.“ (S28\_Indikator)

In diese Kategorie würde auch die Beschreibungen fallen, dass nur die saure bzw. nur die basische Lösung zu einer Farbänderung führen würde. An einer Stelle wird explizit die „basische Lösung“ als einzige Ursache der Farbänderung genannt.

In die Kategorie des Teilverständens des Wirkung eines Säure-Base-Indikators fällt auch folgende Aussage:

„Eine Flüssigkeit, die auf Säuren oder Basen reagiert.“ (S36\_Indikator)

In die Kategorie „Sonstiges“ fallen nicht zuordenbare Aussagen. Ein Beispiel hierfür wäre: „Ist eine ätzende Lösung die Sachen verfärbt.“ (S20\_Indikator)

Diese Aussage ist nicht korrekt, da ein Säure-Base-Indikator keine ätzende Lösung ist. Es kann sein, dass der Schüler bzw. die Schülerin sich auf den Begriff „ätzend“ fokussiert, weil er oder sie mit diesem Begriff starke Assoziationen z.B. Gefahr verknüpft (siehe Kapitel 2.13.2). Eine weitere Aussage lautet:

„Es sind Säuren und gefährlich und die Indikatoren sind bunt und gefährlich, weil Alkohol darin ist.“ (S24\_Indikator)

Auch hier ist es so, dass im Fokus der Antwort des Schülers bzw. der Schülerin die Gefahr steht, die von den sauren oder basischen Lösungen ausgeht.

Erwähnt wird auch, dass Säure-Base-Indikatoren gefährlich wären, weil sie Alkohol enthalten. Tatsächlich ist Alkohol nur ein Bestandteil der Universalindikatorlösung.

### **Die Begriffe saure/basische Lösungen vs. der Begriffe der Säure/Base**

Wie bereits erwähnt, wurden der Kategorie „Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet“ nicht jene Stellen zugeordnet, in denen Schüler\*innen die Begriffe Säure/Base statt saurer/basischer Lösung verwenden. Die Verwendung dieser Begriffe soll hier getrennt von der Kategorie „Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet“ diskutiert werden.

In den Protokollen findet sich an keiner Stelle die Verwendung der Begriffe saure und basische Lösung. Dies könnte auf die Beschriftung der Tropffläschchen mit „Salzsäure“ und „Natronlauge“ zurückzuführen sein, oder darauf, dass die Planung am Anfang der Einheiten stattfand und die Schüler\*innen zu dem Zeitpunkt mit den Begriffen nicht vertraut waren.

In der Abschlussbefragung kommen die Begriffe der sauren und basischen Lösung jedoch sehr wohl vor. Die Kategorie „Prinzipielles Verstehen der Wirkung eines Säure-Base-Indikators“ (19 Counts) enthält die Unterkategorie „Explizite Verwendung der Begriffe saure/basische Lösung“ (10 Counts).

Es werden zehn markierten Stellen ermittelt, die explizit davon sprechen, dass saure oder basische Lösungen zur Färbänderung führen. Beispiele hierfür wären:

„Indikatoren sind Flüssigkeiten, die sich verfärbten, wenn man saure oder basische Lösungen dazu mischt.“ (S18\_Indikator)

„Die Flüssigkeit verändert die Farbe, wenn man saure oder basische Lösungen hinzufügt.“ (S25\_Indikator)

„Ein Indikator verändert seine Farbe, wenn man eine basische und eine saure Lösung dazu gibt.“ (S29\_Indikator).

In den Protokollen werden die Begriffe kein einziges Mal verwendet, während das in der Abschlussbefragung zum Teil geschieht. Im Verlauf der Einheiten wurden die Begriffe immer wieder von der Lehrperson verwendet und so ist anzunehmen, dass dies die Konsequenz daraus ist. Vor der Arbeit mit der Lernschachtel fand kein Unterricht zum Thema Säuren und Basen statt.

**Fazit:** Die Mehrheit der Schüler\*innen zeigt ein prinzipielles Verstehen der Wirkung eines Säure-Base-Indikators. Im Gegensatz zu den Protokollen findet sich in der Abschlussbefragung auch die explizite Erwähnung der Begriffe saure/basische Lösung.

## 6.3 Teilanalyse 3 – „Wiedergabe der Fragestellung der Lernschachtel“

Mithilfe der Abschlussbefragungen wird analysiert, wie gut es den Schüler\*innen gelungen ist, die Fragestellung der Lernschachtel wiederzugeben.

### 6.3.1 Diskussion – Teilanalyse 3 – „Wie gut kann die Fragestellung der Lernschachtel formuliert werden?“

Nachdem die Schüler\*innen die Aufgaben der Lernschachtel durchgeführt haben und somit die Schritte der Planung, Durchführung, Beobachtung und Schlussfolgerung durchlaufen haben, sollen sie in einer Abschlussbefragung die Fragestellung der Lernschachtel formulieren.

Kein Schüler bzw. Schülerin kann die Fragestellung der Lernschachtel präzise wiedergeben. Diese lautet: „Eigenen sich die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren?“. Es gibt somit keine Counts die der Kategorie „Gelingen der Wiedergabe der Fragestellung“ zugeordnet werden können. Ein Gelingen der Wiedergabe der Fragestellung in groben Zügen gelingt jedoch bei 26 von insgesamt 44 markierten Stellen. Dies gelingt somit der Mehrheit der Schüler\*innen. Typische Beispiele hierfür sind:

„Sind Smarties Indikatoren?“ (S16\_Abschlussbefragung Teil 2)

„Ob Smarties, Indikatoren oder keine Indikatoren sind“ (S10\_Abschlussbefragung Teil 2)

„Die Frage war, ob die Smarties Indikatoren sind“ (S3\_Abschlussbefragung Teil 2)

Ein Grund dafür ist, dass im Unterrichtsmaterial die Unterscheidung zwischen „Smarties“ und „Farbstoff von Smarties“ nicht immer konsequent stattfand. Dasselbe gilt für die Verwendung von „Indikatoren“ anstatt von „Säure-Base-Indikatoren“ (siehe Kapitel 6.4).

An drei Stellen findet eine Beobachtung anstatt der Wiedergabe der Fragestellung statt. An einer ebenfalls geringen Anzahl an Stellen wird eine Definition anstatt der Wiedergabe der Fragestellung (5 Counts) in der Abschlussbefragung angegeben.

In nur einem Fall werden Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet: „Ich habe die Smarties in die Tabellen gegeben“ (S24\_Abschlussbefragung Teil 2). Damit meint der Schüler bzw. die Schülerin vermutlich die Multititerplatte und keine Tabelle.

Die zweithäufigste Anzahl an markierten Stellen fällt in die Kategorie der Durchführung (9 Counts). Der Grund hierfür könnte sein, dass für die Schüler\*innen eine Beschreibung der Durchführung sehr nahe an die Fragestellung gekoppelt ist. Beispiele hierfür wären:

„Die Smarties und Wasser mischen bis sich der Smartie auflöst und dann in die Multititerplatte geben und bei Säure Salzsäure reingeben und bei Natriumlauge muss man Natriumlauge reingeben. Und so verändert sich die Farbe“ (S17\_Abschlussbefragung Teil 2)

„Multititerplatte Smarties rein, dann die Stoffe reingeben und dann hat sich die Farbe geändert“ (S6\_Abschlussbefragung Teil 2)

**Fazit:** Den Schüler\*innen gelingt es nicht, die Fragestellung der Lernschachtel korrekt wiederzugeben. Die große Mehrheit schafft dies jedoch in groben Zügen. Am zweithäufigsten beschreiben die Schüler\*innen eine Durchführung, anstatt die Fragestellung wiederzugeben.

## 6.4 Methodenkritik, Fazit und Ausblick

### 6.4.1 Methodenkritik

In der durchgeführten Arbeit zeigte sich, dass der großen Mehrheit der Schüler\*innen die selbstständige Versuchsplanung, die Unterscheidung zwischen Beobachtung und Interpretation und die Beschreibung eines Säure-Base-Indikators gut gelungen ist. Die Wiedergabe der Fragestellung ist den Schüler\*innen nur in groben Zügen gelungen.

Die Lernschachtel und das beigefügte Material weisen durchaus Verbesserungspotential auf. Die Punkte zur Weiterentwicklung der Lernschachtel werden im Folgenden besprochen. Ein zukünftiges Ziel ist, die Lernschachtel in das Projekt INQUIRYsteps einzubauen (INQUIRYsteps, 2023).

Folgende Punkte zur Verbesserung und Weiterentwicklung der Lernschachtel „Lebensmittelfarbstoffe als Säure-Base-Indikatoren“ werden besprochen:

- Aufteilung der drei Einheiten zu je einer Stunde in zwei Einheiten mit einmal zwei Stunden und einmal einer Stunde
- Überarbeitung folgender Materialien: Concept Cartoon, Tippkarten Protokollvorlage, Anleitung des Vorversuchs, Abschlussbefragung
- Durchführung und zeitliche Planung und der Versuche auf Level 2
- Einbau von Zusatzaufgaben für die „Schnellen“

Der geplante Unterricht war so aufgeteilt, dass er in drei Einzelstunden abgehalten werden sollte: In der ersten Einheit werden die Lernschachtel vorgestellt und die Sicherheitshinweise besprochen (Phase 1), außerdem kommt es zur Auseinandersetzung mit den Geräten (Phase 2) und der Erklärung von chemischen Reaktionen im Kontext von Säure-Base-Indikatoren. In der zweiten Einheit findet der Vorversuch auf Level 1 statt und die Schüler\*innen werden mit Forschendem Lernen auf Level 1 vertraut gemacht. Zusätzlich sollen sie an einem Concept Cartoon arbeiten. Sie beginnen auch in dieser Einheit mit Forschendem Lernen auf Level 2. Hierfür planen die Schüler\*innen ihre eignen Versuche und erhalten Tippkarten als optionale Unterstützung. In der dritten Einheit werden die Versuche auf Level 2 durchgeführt und in der Protokollvorlage dokumentiert. Die Beobachtungen und Interpretationen werden festgehalten. Die Tippkarten stehen ihnen ebenfalls als Unterstützung zur Verfügung.

Der große Vorteil dieser Aufteilung ist, dass sie in den regulären Unterricht eingebaut werden kann. Der Nachteil ist, dass sich dadurch die Lernschachtel bei zwei regulären Chemie-Wochenstunden auf zwei Wochen ausdehnt. Das kann dazu führen, dass die Schüler\*innen Dinge, die sie zu Beginn ausprobiert und gelernt haben, zu schnell wieder vergessen. Bei praktischen Versuchen ist es besonders sinnvoll, diese zeitnah hintereinander durchzuführen, sodass die Schüler\*innen in einem guten Arbeitsfluss gelangen.

Sollte eine einfache Änderung dieser Einteilung durch Stundentausch möglich sein, so empfiehlt es sich, bis zu der Phase zu arbeiten, in welcher die eigenen Versuche für Level 2 geplant werden. Die Planung wird danach abgesammelt, von der Lehrperson kontrolliert und mit den Schüler\*innen in der darauffolgenden Einheit besprochen. Danach sollen die geplanten Versuche durchgeführt werden.

Nach Durchführung des Vorversuchs auf Level 1 in der zweiten Einheit gab die Lehrperson den Schüler\*innen die Möglichkeit, Forschendes Lernen auf Level 2 durchzuführen. Folgende Fragestellung sollten die Schüler\*innen hierfür beantworten: „Eignen sich die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren?“. Die Schüler\*innen sollten sich selbst überlegen, wie sie diese Fragestellung lösen und ihre eigenen Versuche planen. Für die Phase der Planung sollte eventuell noch mehr Zeit eingeplant werden. Zwar konnten die Aufträge von allen Schüler\*innen rechtzeitig erfüllt werden, aber die Lehrperson musste sehr gut darauf achten, dass sich die Schüler\*innen an den zeitlichen Rahmen halten. Mehr Zeit würde der Situation etwas Druck nehmen.

Nach der ersten Einheit und der Besprechung des Hefteintrag (chemischer Reaktionen im Zusammenhang von Säure-Base-Indikatoren) sowie der Durchführung des Vorversuchs (Forschendes Lernen Level 1) in der zweiten Einheit sollten die Schüler\*innen mit der Definition eines Säure-Base-Indikators vertraut sein. Die Idee war, einen Concept Cartoon als Form von Makro-Scaffoldings einzusetzen, welcher das Ziel hat, eine Diskussion in Kleingruppen zu ermöglichen und das gewonnene Wissen zu vertiefen und zu wiederholen.

Die Aussagen der Sprechblasen des Concept Cartoons sollen als Impuls zur Diskussion in den Kleingruppen dienen. Die Schüler\*innen sollen die Aussagen bewerten und ihre eigene Meinung zur naturwissenschaftlichen Fragestellung äußern (siehe Kapitel 2.7.2). Nach der Diskussion des Concept Cartoons in Kleingruppen wurden die Ergebnisse der Diskussion im Plenum mit der Lehrperson besprochen und auch die Fragestellung gemeinsam beantwortet. Die Fragestellung und Aussagen der Sprechblasen des Concept Cartoons können jedoch als wenig anregend eingestuft werden. Die Fragestellung sollte die Schüler\*innen motivieren, an der Fragestellung zu arbeiten (Steininger, 2016). Eine Alltagssituation sollte im Zentrum stehen (Feige & Lembens, 2020). Diese soll den Schüler\*innen dabei helfen, Interesse an der Fragestellung zu entwickeln und sie dadurch motivieren, über diese wirklich diskutieren zu wollen und sich ihre eigenen Gedanken dazu zu machen. Die in der Masterarbeit gewählte Fragestellung (siehe Abbildung 20) ist nur eine Frage nach einer Definition und kann diese Kriterien nicht erfüllen. Nur eines der vier Statements bezieht sich ausreichend auf die Fragestellung.

Die Aussagen in den Sprechblasen sollten bekannte Alltagskonzepte enthalten, eine sollte mindestens mit einer wissenschaftlich akzeptierten Sichtweise verknüpft sein (Feige & Lembens, 2020). Der Alltagsbezug fehlt jedoch. Diese muss bei der Überarbeitung des Concept Cartoons unbedingt berücksichtigt werden. Sowohl die Fragestellung als auch die Antworten in den Sprechblasen müssen überarbeitet werden.

Ein weiteres Problem stellte die Heranführung an das Arbeiten mit dem Concept Cartoon dar. Die Schüler\*innen arbeiteten das erste Mal mit einem Concept Cartoon. Sie kannten das Format nicht und waren sichtlich überfordert. Der Zeitrahmen wurde zu knapp veranschlagt. Wenn die Schüler\*innen das erste Mal mit einem Concept Cartoon arbeiten, empfiehlt es sich, mit ihnen gemeinsam zu erarbeiten, was naturwissenschaftliches Argumentieren bedeutet. Hierfür müssen Aussagen mit Belegen untermauert werden und nicht nur Behauptungen aufgestellt werden. Dies sollte an Aussagen von Sprechblasen mit der Lehrperson geübt werden (Feige & Lembens, 2020). Dies ist nicht passiert und sollte als Phase in der Zukunft auf jeden Fall eingebaut werden.

Laut Arnold et al., 2017, führt der Einsatz von Concept Cartoons dazu, dass Fachwissen gesteigert wird (Arnold et al., 2017). Die Schüler\*innen konnten zwar einen Säure-Base-Indikator prinzipiell beschreiben, es gab jedoch keine Untersuchungen zu einer direkten Verbindung zwischen Zunahme an Fachwissen und Concept Cartoon. Da jedoch der Concept Cartoon großes Überarbeitungspotential besitzt und die Schüler\*innen im Unterricht damit überfordert waren, ist nicht anzunehmen, dass dieser zur Steigerung des Fachwissens der Schüler\*innen beitrug.

Die Reihenfolge der Level an Forschendem Level hielt sich an die Empfehlung von Hofer und Lembens, 2021: Es sollte mit einem niedrigen Level begonnen und mit einem höheren fortgefahren werden (siehe Kapitel 2.5). Die Intention war, dass die Schüler\*innen an Forschendes Lernen schrittweise herangeführt werden und eine motivierende Engage-Phase stattfindet, die ihnen bei Beantwortung der Fragestellung der Elaborate-Phase (Forschendes Lernen Level 1) hilft. Die Planung, Durchführung, Beobachtung und Interpretation der Versuche in der Elaborate-Phase (Forschendes Lernen Level 2) ist den Schüler\*innen gut gelungen.

Ein weiterer Kritikpunkt betrifft die Tippkarten. Hier wurde nicht auf die konsequente Verwendung der richtigen Fachsprache geachtet. So wird über „Smarties“ geschrieben obwohl die „Farbstoffe von Smarties“ gemeint sind oder von „Indikator“ statt exakter von „Säure-Base-Indikator“. Auch in der Protokollvorlage, dem Hefteintrag, der Anleitung zum Vorversuch und der Abschlussbefragung wird von einem „Indikator“ gesprochen, obwohl ein „Säure-Base-Indikator“ gemeint ist.

Die Mehrheit der Schüler\*innen verwendete die Tippkarten nicht. Man könnte argumentieren, die Schüler\*innen wollten diese gar nicht verwenden, da sie lieber selbstständig arbeiten, ohne den permanent stattfindenden Input von außen. Es ist auch möglich, dass sich die Schüler\*innen nicht vor Augen führten, wie hilfreich die Tippkarten sein können.

Stäudel und Wodzinski, 2010, stufen den Einsatz von gestuften Lernhilfen als hilfreich für das Lösen von naturwissenschaftlichen Aufgaben ein (Stäudel & Wodzinski, 2010). Den Schüler\*innen ist die Planung, das Beobachten und die Interpretation der Versuche auch ohne starken Einsatz der Tippkarten gut gelungen.

Wie bereits erwähnt, sollte in den Protokollvorlagen, Tippkarten, Hefteinträgen, Anleitungen zum Vorversuch und Abschlussbefragungen sehr auf die Verwendung der korrekten Fachsprache geachtet werden. In der Protokollvorlage sollte auch der Punkt „Ziel“ verändert werden. Dieser Punkt sollte sich von der Formulierung „ich will“ distanzieren. Man könnte stattdessen schreiben: „Ich soll herausfinden, ob ...“. In Punkt 3 steht: „Ich soll nun Schlüsse [...] ziehen ...“. Geeigneter wäre die Formulierung: „Ich ziehe nun Schlüsse aus meinen Versuchen“.

Weitere Verbesserungsvorschläge zur Formulierung diverser Sätze und Überschriften in den Materialien lauten folgendermaßen:

- Hefteintrag

In diesem findet sich die Aussage: „Ein Beispiel dafür sind Indikatoren.“ Ein Verbesserungsvorschlag wäre es, Folgendes zu schreiben: „Ein Beispiel für Stoffe, die mit sauren und basischen Lösungen reagieren, sind Säure-Base-Indikatoren.“

- Anleitung zum Vorversuch

„Was sind Indikatoren?“, lautet die Überschrift der Anleitung. Im Vorversuch sollen die Schüler\*innen zu einer Universalindikatorlösung saure bzw. basische Lösungen hinzugeben, um einen Farbumschlag beobachten zu können. Eine geeignete Überschrift wäre: „Zugabe einer sauren oder basischen zu einer Universalindikatorlösung! Was kann ich beobachten?“. Als Kontrolle wurde der Universalindikatorlösung keine Lösung hinzugefügt, drei Tropfen destilliertes Wasser wären eine ideale Kontrolle.

Im ersten Schritt sollte eine weiße Unterlage wie im Bild beschriftet werden. Laut Anleitung soll die Beschriftung „in“ den Zeilen und Spalten erfolgen, gemeint ist „neben“ den Zeilen und Spalten.

- Abschlussbefragung

In der Abschlussbefragung werden die Schüler\*innen unter anderem danach gefragt, wie es ihnen bei der Versuchsplanung und ergangen ist. Es war auch ratsam sie zusätzlich zu fragen, was für sie an der Planung besonders schwierig war. Die Schüler\*innen werden auch gefragt, ob die Protokollvorlage hilfreich war. Sie sollten an dieser Stelle noch zusätzlich die Möglichkeit bekommen, zu beschreiben, was für sie in der Vorlage unklar war und was ihnen Schwierigkeiten bereitete. Eine Frage sollte laut Anleitung in Stichworten beantwortet werden. Da dies wenig sprachbildend ist, ist es sinnvoller, die Frage in ganzen Sätzen beantworten zu lassen.

Anstatt den Schüler\*innen die Aufgabe zu geben die Fragestellung der Lernschachtel zu wiederholen, wäre es eventuell interessanter gewesen, die Schüler\*innen in eigenen Worten beschreiben zu lassen, was sie in den Versuchen herausfinden sollten.

Entschieden sich die Schüler\*innen für das Lösen der Farbstoffe in Wasser, so wurde Leitungswasser verwendet. Das dieses aber nicht notwendigerweise einen neutral pH-Wert aufweist, könnte hierfür in Zukunft destilliertes Wasser verwendet werden.

In offenen Lernphasen, die beim Forschenden Lernen stattfinden, können bei schnellen Schüler\*innen Leerläufe entstehen. So wurde den schnellen Schüler\*innen erlaubt, die Farbstoffe von Smarties zu testen, die sie noch nicht getestet haben, indem sie die Lehrperson danach fragen. Es gibt aber auch die Möglichkeit den Schüler\*innen Zusatzmaterial bzw. Zusatzaufgaben zur Verfügung zu stellen. Eine mögliche Aufgabe wäre zum Beispiel, zu testen, ob die chemischen Reaktionen reversibel stattfinden.

Es ist sehr wichtig, auf die Fachsprache zu achten. In der Umgangssprache wird allgemein von Säuren und Basen und kaum von sauren und basischen Lösungen gesprochen. Es ist jedoch entscheidend, dass die Lehrperson die Begriffe saure Lösung und Säure sowie basische Lösung und Base richtig verwendet. Ich habe mich sehr stark darum bemüht, dies zu tun, aber ich habe später gesehen, dass z.B. das Fläschchen Salzsäure-Lösung nicht richtig beschriftet war.

Die Lernschachtel hat das Potential erweitert zu werden. Eine Möglichkeit wäre es auf die Reversibilität der chemischen Reaktionen der Farbstoffe einzugehen. Die Schüler\*innen könnten z.B. testen, ob sich die Farbe nach Zugabe der sauren Lösung wieder ändert, wenn die basische Lösung hinzugefügt wird. Umgekehrt kann überprüft werden, ob sich die Farbe nach Zugabe basischen Lösung ändert, wenn die saure Lösung hinzugefügt wird.

Eine weitere Idee wäre die Prüfung der Lebensmittelfarbstoffe anderer Lebensmittel wie Rotkohl, Malventee, Kurkuma oder Gummibären auf ihre Eignung von Säure-Base-Indikatoren. Diese Lebensmittel zeigen eine deutliche farbliche Veränderung bei der Zugabe von sauren/basischen Lösungen.

## 6.4.2 Fazit

Das Ziel dieser Mastarbeit ist es, eine Lernschachtel zu konzipieren, die den Schüler\*innen einer 4. Klasse einer Mittelschule Forschendes Lernen ermöglicht. Im Zuge dessen sollten die Schüler\*innen herausfinden, welche Farbstoffe von Smarties sich als Säure-Base-Indikatoren eignen. Makros-Scaffolding diente ihnen als Unterstützung. Ein zukünftiges Ziel ist die Integration von Lernschachtel in das Projekt INQUIRYsteps (INQUIRYsteps, 2023).

In der durchgeführten Arbeit zeigte sich, dass der großen Mehrheit der Schüler\*innen folgende Punkte gut gelungen sind:

- Selbstständige Versuchsplanung
- Unterscheidung zwischen Beobachtung und Interpretation
- Beschreibung eines Säure-Base-Indikators

Die Wiedergabe der Fragestellung ist der Mehrheit der Schüler\*innen nur in groben Zügen gelungen.

Bei Forschendem Lernen geht es darum, dass die Schüler\*innen einer naturwissenschaftlichen Fragestellung nachgehen. Dabei steht der Erkenntnisgewinnungsprozess im Zentrum. Dazu zählt unter anderem der Erwerb der Fähigkeiten der Planung, Durchführung, Beobachtung und Interpretation der Versuche der Schüler\*innen (siehe Kapitel 2.1.1). Es zeigt sich, dass der Mehrheit der Schüler\*innen dies gut gelungen ist. Ein zentraler Aspekt von Forschendem Lernen konnte also von den Schüler\*innen mithilfe der Lernschachtel erfüllt werden.

Im PISA 2018 Science Framework (OECD, 2019), welches für Europa von großer Bedeutung ist, wird erklärt, dass drei Kompetenzen für die naturwissenschaftliche Bildung von Schüler\*innen entscheidend sind: Die Schüler\*innen sollen naturwissenschaftliche Phänomene wissenschaftlich erklären können, sie sollen Forschungsfragen stellen und evaluieren können und als dritten Punkt auch ihre Daten und Evidenzen wissenschaftlich interpretieren können. Diese Punkte werden von PISA unter „Scientific Literacy“ zusammengefasst (siehe Kapitel 2.3.2).

Die Tatsache, dass der Mehrheit der Schüler\*innen die Planung, Durchführung, Beobachtung Interpretation ihrer Versuche gelungen ist, zeigt, dass auch Kriterien zu Scientific Literacy erfüllt werden konnten: Sie konnten zeigen, dass sie Forschungsfragen evaluieren und ihre Daten interpretieren können.

Durch Forschendes Lernen soll naturwissenschaftliches Wissen bzw. Fachwissen (scientific knowledge) erworben werden. Außerdem soll verstanden werden, wie naturwissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt werden (learning to inquire) und naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen reflektiert werden (learning about inquiry), wie in Kapitel 2.2 beschrieben.

Der großen Mehrheit der Schüler\*innen ist mithilfe der Lernschachtel gelungen, einen Säure-Base-Indikator zu beschreiben. Sie konnte somit Fachwissen aufbauen. Außerdem planten sie ihre Versuche und konnten zwischen Beobachtung und Interpretation unterscheiden. Dadurch

lernen sie entscheidende Schritte, die ihnen helfen zu verstehen, wie naturwissenschaftliche Untersuchungen allgemein durchgeführt werden.

Scientific Literacy hilft den Schüler\*innen beim Aufbau von Wissen und Verstehen von Naturwissenschaften, wie dieses Wissen erzeugt wird und welche Fragestellungen sich dahinter verbergen. Es geht auch um eine Auseinandersetzung mit diesen Fragestellungen und ihrer Konsequenzen. Im Sinne dieser Definition kann auch Nature of Science (NOS) und Nature of Scientific (NOSI) zu Scientific Learning gezählt werden. Bei NOS geht es um die Möglichkeit von Naturwissenschaften als Wissensgewinn oder Werte und Vorstellungen, welche im Prozess der Wissensbildung entstehen. Hier zählen auch das Beobachten und Schlussfolgern dazu: Beobachtungen sollen als naturwissenschaftliche Handlungen verstanden werden, die sich von „alltäglichen“ unterscheiden. Aus den gleichen Beobachtungen werden von verschiedenen Wissenschaftler\*innen eventuell verschiedene Schlussfolgerungen geschlossen (siehe Kapitel 2.3.3). Beobachtung und Interpretation sind den Schüler\*innen gut gelungen. Zusätzlich könnte aber mehr Zeit für die Diskussion der Begründung, wie sie zu ihren Interpretationen gelangt sein, eingeplant werden. Im Zuge dessen könnte thematisiert werden, warum manche Schüler\*innen bei gleichen Beobachtungen unterschiedliche Schlussfolgerungen ziehen.

Bei NOSI steht konkrete Arbeitsweisen in den Naturwissenschaften im Zentrum. Es soll z.B. begründet werden können, warum gewisse Methoden gewählt werden (siehe Kapitel 2.3.3). So könnte abschließend in der Gruppe besprochen werden, warum sich manche Schüler\*innen für eine Art der Versuchsplanung (Lösen der Smarties in Leitungswasser und anschließender Zugabe der sauren und basischen Lösungen) und andere für einen völlig anderen Ansatz entschieden haben (direkte Zugabe sauren bzw. basischen Lösung zu den Smarties). Im Zuge dessen könnte auch diskutiert werden, welche Vor- und Nachteile sich durch diverse Versuchsplanungen ergeben (Arbeits- und Zeitaufwand, Sichtbarkeit Farbänderung) und warum es auch sinnvoll sein kann, eine Fragestellung durch verschiedene Lösungsansätze zu lösen (Steigerung der Wahrscheinlichkeit, zuverlässige Beobachtungen und Schlussfolgerungen zu erhalten).

Die Reihenfolge der Level an Forschendem Lernen wurde eingehalten: Es soll bei einem niedrigen Level begonnen werden und mit einem höheren fortgefahren werden (siehe Kapitel 2.5). Dies kann auch ein wichtiger Grund dafür sein, warum den Schüler\*innen viele Aspekte von Forschendem Lernen gut gelungen sind. Diese Aspekte umfassen die Planung, Durchführung, Beobachtung und Interpretation von Versuchen und die Beschreibung von Säure-Base-Indikatoren. Die Wiedergabe der Fragestellung gelang jedoch nur in groben Zügen. Dies ist jedoch vor allem auf die Verwendung der falschen Fachsprache zurückzuführen, wie bereits im letzten Abschnitt erwähnt.

Die Tippkarten und der Concept Cartoon sollten den Schüler\*innen als Lernunterstützung dienen (siehe Kapitel 2.7.2). Die Tippkarten wurden von Schüler\*innen jedoch kaum verwendet. Der Concept Cartoon zeigt hohes Überarbeitungspotential und kann als für die Schüler\*innen wenig unterstützend eingestuft werden, wie bereits im letzten Abschnitt erwähnt.

Bekannte Lernendenvorstellungen von Schüler\*innen zu den Eigenschaften von Säure und Basen sind, dass sie Säuren sehr zerstörerisch und gefährlich einschätzen und als deutlich gefährlicher als Basen einstufen (siehe Kapitel 2.13.2). Den Schüler\*innen wurde jedoch im Laufe des Unterrichts mehrfach deutlich gemacht, dass sie besonders vorsichtig im Umgang

mit Natronlauge sein müssen. Die Schüler\*innen wurden allgemein auf das Gefahrenpotential der Arbeit mit sauren und basischen Lösungen hingewiesen und mussten in allen Einheiten, in denen sie die Lernschachtel verwendeten, Schutzbrillen tragen.

Eine weitere bekannte Lernendenvorstellung ist, dass Säuren und Basen gefärbt sind. Säure werden als rosa gefärbt und Basen als blau gefärbt eingestuft (siehe Kapitel 2.13.2). Durch das Arbeiten mit der farblosen Salzsäure-Lösung und der farblosen Natronlauge wird diese Vorstellung entkräftet. Sie wurde aber im Vorversuch bewusst aufgegriffen: Im neutralen pH-Bereich ist die Universalindikatorlösung braun gefärbt. Im Vorversuch verfärbt sich die Universalindikatorlösung nach Zugabe der sauren Lösung rosa und nach Zugabe der basischen Lösung blau. Nach der Zugabe von sauren und basischen Lösungen zu den Farbstoffen von Smarties lassen sich jedoch ganz unterschiedliche Farbänderungen beobachten (Rosa wird Hellgelb, Grün wird Gelb etc.). Die Idee ist, dass die Schüler\*innen ihre Konzepte und Vorstellungen überdenken (Stichwort: conceptual change bzw. conceptual reconstruction, siehe Kapitel 2.13.1).

Zudem existiert unter den Lernenden die Vorstellung, dass Säure-Base-Indikatoren immer bei einem pH-Wert von 7 ihre Farbe ändern (siehe Kapitel 2.13.2). Im Zuge der Arbeit mit der Lernschachtel gaben die Schüler\*innen saure und basische Lösungen zu Farbstoffen von Smarties. Dabei änderte sich die Farbe manchmal nur im sauren oder basischen pH-Bereich und manchmal in sauren und basischen pH-Bereich. Die Schüler\*innen können also beobachten, dass die Farbänderungen bei unterschiedlichen pH-Bereichen stattfinden.

### **6.4.3 Ausblick**

Ein Ziel ist es, die Lernschachtel in das Projekt INQUIRYsteps aufzunehmen. Dabei sollen folgende Punkte beachtet werden: Die Plattform ist ein Kooperationsprojekt von Didaktiker\*innen verschiedener Universitäten mit dem Ziel, Forschendes Lernen durch digital unterstützte Lernschachteln für Schüler\*innen unterschiedlicher Altersstufen und Lernvoraussetzungen zu ermöglichen. Chemikalien und Geräte werden von der Lehrperson und das Scaffolding über die Plattform zur Verfügung gestellt. Das Unterstützungsmaieral umfasst oftmals Fotos, Videos, digitale Tippkarten oder Protokollvorlagen.

Die Aufgaben könnten folgendermaßen aussehen.:

Aufgabe 1: Gefahrensymbole

Aufgabe 2: Einführung in die Lernschachtel

Aufgabe 3: Übungen zum Umgang der Geräte der Lernschachtel

Aufgabe 4: Forschendes Lernen auf Level 1 – Testen einer Universalindikatorlösung

Aufgabe 5: Forschendes Lernen auf Level 2 – beantworten der Frage: „Eignen sich die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren?“

Aufgabe 5a: Planung der Versuche

Aufgabe 5b: Durchführen der Versuche

Aufgabe 5c: Interpretieren der Versuche

Abschlussbefragung

Aufgabe 1: Gerade im Umgang mit sauren und basischen Lösungen ist es wichtig, die Schüler\*innen noch einmal deutlich auf die Gefahrensymbole und Sicherheitsregeln im Labor hinzuweisen. Dazu könnte ein kleines Quiz zur Wiederholung dieser Thematik stattfinden. Die Schüler\*innen müssen auch unbedingt die Gefahrensymbole ihrer Chemikalien und ihre Bedeutung digital festhalten (Antwort eingeben). Mehrfach sollte dabei die Bedeutung der Verwendung von Schutzbrillen betont werden. Bei den folgenden Aufgaben könnte auch immer die Eingangsfrage: „Trägst du deine Schutzbrille?“ gestellt werden.

Aufgabe 2: Im nächsten Schritt sollen die Schüler\*innen die Geräte in der Lernschachtel kennen lernen. Dabei könnten ihnen die digitale Zuordnung von Bildern zu ihren Namen helfen. Nur wer alles richtig angeklickt hat, darf weitermachen. In einem Infotext sollen den Schüler\*innen Beispiele für saure und basische Lösungen gegeben. Im Zusammenhang von sauren und basischen Lösungen soll in diesem Text auch die Definition eines Säure-Base-Indikators Platz finden.

An dieser Stelle könnte den Schüler\*innen ein Concept Cartoon zur Verfügung gestellt werden. Dieser muss unbedingt gemeinsam mit anderen Schüler\*innen bearbeitet werden, da die Diskussion in Kleingruppen eine zentrales Element des Concept Cartoons ist. Die Aufgabenstellung könnte lauten:

Hier siehst du vier Menschen, die sich Gedanken über folgende Frage machen: „Wie kannst du Säure-Base-Indikatoren beschreiben? Welche Funktion erfüllen sie? Lest euch gegenseitig die Sprechblasen vor. Stimmt die Aussage? Warum stimmt sie? Warum nicht? Tauscht euch aus! Dann schreibe deine eigene Meinung in die Sprechblase.“

Jeder Schüler und jede Schülerin soll ihre bzw. seine Meinung als Text in der Sprechblase festhalten. Ihre Antworten sollen sie mit dem Lösungsvorschlag, auf den sie im Anschluss gelangen, verglichen werden.

Aufgabe 3: In der nächsten Aufgabe sollten die Schüler\*innen den Umgang mit den Geräten üben. Sie sollen selbstständig Wasser in die Multititerplatten pipettieren, die 1 mL Pipetten und Platten entsprechend reinigen und zu nächsten Aufgabe voranschreiten.

Aufgabe 4: Nun beginnt die erste Aufgabe zu Forschendem Lernen auf Level 1. Dabei sollen die Schüler\*innen eine Universalindikatorlösung mit saurer bzw. basischer Lösung versetzen. Sie sollen ihre Beobachtungen digital festhalten, z.B. welche Farbe sie bei der Zugabe der sauren Lösung beobachten können.

Aufgabe 5: Die Schüler\*innen erhalten folgende Fragestellung: „Eignen sich die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren?“.

Aufgabe 5a: Den Schüler\*innen wird die Protokollvorlage digital zur Verfügung gestellt. Sie sollen ihre eignen Versuche planen und die Planung als Text digital festhalten. Als Form von Makro-Scaffolding stehen ihnen digitale Tippkarten zu Verfügung, die sie optional nützen können. Beide Tippkarten sollen die Schüler\*innen bei ihrer Versuchsplanung unterstützen. Klicken die Schüler\*innen auf die Tippkarte, dreht sie sich um und die Schüler\*innen erfahren den Hinweis. Die erste Tippkarte hat die Überschrift „Tipp 1 – Bevor ich starte!“ und gibt den Schüler\*innen einen Hinweis darauf, wie sie die Farbstoffe der Smarties in Lösung bringen könnten. Die zweite Tippkarte trägt die Überschrift „Tipp 2 – Nachdem ich die Farben der Smarties gelöst habe!“ und den Hinweis, sich an Versuch von Aufgabe 4 zu erinnern und wie man feststellen kann, ob es sich bei einem Farbstoff um einen Säure-Base-Indikator handelt.

Um sicher zu stellen, dass die Schüler\*innen die Versuche passend durchführen, sollen sie ihre Versuchsplanung mit zwei Lösungsvorschlägen vergleichen. Der erste Vorschlag beschreibt das Lösen der Farbstoffe der Smarties und anschließender Zugabe der sauren bzw. basischen Lösungen. Der zweite Vorschlag lautet, dass die Schüler\*innen die saure bzw. basische Lösung direkt zu den Smarties pipettieren sollen.

Aufgabe 5b: Die Schüler\*innen sollen im nächsten Schritt ihre Versuche durchführen. Dabei ist es sehr wichtig, dass sie ihre Ergebnisse in der digitalen Protokollvorlage festhalten. Außerdem steht ihnen eine digitale Tippkarte zur Verfügung, die sie optional benutzen können. Sie soll ihnen dabei helfen ihre Beobachtungen festhalten. Die Tippkarte trägt die Überschrift: „Tipp 3 – Meine Beobachtungen!“. Sie gibt einen Hinweis darauf, wie die Schüler\*innen ihre Beobachtungen mithilfe einer Tabelle festhalten könnten. Optional könnte ihnen auch eine Zusatzfrage über die Reversibilität der Farbänderungen ihrer durchgeführten Versuche gestellt werden.

Aufgabe 5c: Nach Abschluss der Versuche sollen die Schüler\*innen ihre Ergebnisse in der Protokollvorlage interpretieren. Die vierte Tippkarte soll den Schüler\*innen beim Ziehen ihrer Schlüsse helfen. Sie trägt die Überschrift: „Tipp 4 – Meine Schlüsse!“ Die Tippkarte gibt den Schüler\*innen einen Hinweis darauf, wie sie ihre Interpretationen in Form einer Tabelle festhalten könnten.

Die Auswertung der Protokolle sollte von einer Lehrperson mit anschließendem Feedback stattfinden. In einem Quiz zum Abschluss könnten die Schüler\*innen Fragen beantworten. Sie dienen der Wissensüberprüfung. Es kann sich dabei um die Definition von Säure-Base-Indikatoren oder den Gefahren von sauren und basischen Lösungen handeln.

Das Ziel der Masterarbeit war es, eine Lernschachtel zu konzipieren, die den Schüler\*innen Forschendes Lernen ermöglicht. Dies ist für viele Bereiche, welche Forschendes Lernen betreffen, gut gelungen: Der Mehrheit der Schüler\*innen ist es gelungen zu einer vorgegebenen Fragestellung Versuche selbstständig zu planen, durchzuführen, ihre Beobachtungen zu dokumentieren und Schlüsse daraus zu ziehen. Während die Mehrheit der Schüler\*innen einen Säure-Base-Indikator beschreiben konnte, gelang die Wiedergabe der Fragestellung nur in groben Zügen. Als Makro-Scaffolding Material wurde ein Concept Cartoon eingesetzt und Tippkarten, welche optional verwendet werden konnten. Der Concept Cartoon zeigt hohes Überarbeitungspotential. Die Tippkarten wurden von den Schüler\*innen mehrheitlich nicht verwendet, aber prinzipiell als hilfreich eingestuft. Die Lernschachtel greift unterschiedliche Lernendenvorstellungen auf und versucht bewusst, die Schüler\*innen anzuregen, diese zu überdenken und umzubauen bzw. zu rekonstruieren.

Ein zukünftiges Ziel ist es, die Lernschachtel in das Projekt INQUIRYsteps aufzunehmen.

# Literatur

- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D. & Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science education*, 88(3), 397–419.
- Abrams, E., Southerland, S. A., & Evans, C. (2008). Inquiry in the classroom: Identifying necessary components of a useful definition. *Inquiry in the classroom: Realities and opportunities*, xi–xiii.
- American Association for the Advancement of Science. (2009). *Benchmarks On-line*. <http://www.project2061.org/publications/bsl/online/index.php?chapter=1#B0>
- Arnold, J., Kremer, K., & Mayer, J. (2017). Scaffolding beim Forschenden Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 21–37.
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Springer-Verlag.
- Basten, M., Ferreira González, L., Kaiser, L.-M., & Fränkel, S. (2021). Inklusiver Biologieunterricht—Das Potenzial von fachspezifischen Charakteristika für die diversitätssensible kompetenzorientierte Unterrichtsplanung. *Sonderpädagogische Förderung heute (Beiheft 4)*, 133–146.
- Baumgartner-Hirscher, N., Schiffel, I., Tulis, M., Suppert, S., & Weiglhofer, H. (2022). *Mensch und Gesundheit: Schiiler\_innenvorstellungen in der Sekundarstufe als Grundlage für Unterricht*. Waxmann Verlag.
- Bell, R. L. (2009). Teaching the nature of science: Three critical questions. *Best Practices in Science Education*, 22, 1–6.
- Bell, T., Alamzad, R., & Graf, B. A. (2016). Effect of pH on the chemical stability of carotenoids in juice. *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(OCE3), E94.
- Bernholt, S. (Hrsg.). (2013). *Inquiry-based Learning- Forschendes Lernen -Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Hannover 2012* (Bd. 33). IPN Kiel 2013.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability?: A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science education*, 94(4), 577–616.
- Brönsted, J. N. (1928). Zur theorie der säure-basen-funktion. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft (A and B Series)*, 61(8), 2049–2063.
- Bruner, J. S. (2009). *The process of education*. Harvard university press.
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung. (2023). *Lehrplan der AHS*. [https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA\\_2023\\_II\\_1/Anlagen\\_0012\\_E1BFECE6\\_7E8B\\_4ACF\\_AEFD\\_3EC871222138.html](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2023_II_1/Anlagen_0012_E1BFECE6_7E8B_4ACF_AEFD_3EC871222138.html)
- Burns, A., & de Silva Joyce, H. (2005). *Teachers' Voices: Explicitly Supporting Reading and Writing in the Classroom*. NCELTR.
- Bybee, R. W. (2009). The BSCS 5E instructional model and 21st century skills. *Colorado Springs, CO: BSCS*, 24.

- Bybee, R. W. (2014). The BSCS 5E instructional model: Personal reflections and contemporary implications. *Science and Children*, 51(8), 10–13.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223–238.
- Devadiga, D., & Ahipa, T. (2020). Betanin: A Red-Violet Pigment—Chemistry and Applications. *Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments*, 5772(10), 88939.
- Dewey, J. (1910). Science as subject-matter and as method. *Science*, 31(787), 121–127.
- Dewey, J. (1938). *Logic—The Theory of Inquiry*. Henry Holt and Company.
- Dörfler, T., & Barke, H. (2009). Das an Schuelervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren: Beispiel neutralisation. *Chemkon*, 16(3), 141–146.
- Feige, E.-M., & Lembens, A. (2020). Concept Cartoons im naturwissenschaftlichen Unterricht. *MNU*, 73(5), 370–376.
- Feige, E.-M., Rutsch, J., Dörfler, T., & Rehm, M. (2017). Von der Alltagsvorstellung zum fachwissenschaftlichen Konzept. *Schülervorstellungen diagnostizieren und weiterentwickeln. Unterricht Chemie* (159), 2–8.
- Fleschut, J. (2004). *Untersuchungen zum Metabolismus, zur Bioverfügbarkeit und zur antioxidativen Wirkung von Anthocyanaen* [Dissertation]. Fakultät für Chemie und Biowissenschaften der Universität Karlsruhe (TH).
- Fridrich, C. (2010). *Alltagsvorstellungen von Schülern und Konzeptwechsel im GW-Unterricht: Begriff, Bedeutung, Forschungsschwerpunkte, Unterrichtsstrategien*. Österr. Geograph. Ges.
- Garnett, P. J., Garnett, P. J., & Hackling, M. W. (1995). *Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning*.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts. (2013). *Perspektivrahmen Sachunterricht*. Julius Klinkhardt.
- Hammond, J., & Gibbons, P. (2005). Putting scaffolding to work: The contribution of scaffolding in articulating ESL education. *Prospect*, 20(1), 6–30.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and. *Educational psychologist*, 42(2), 99–107.
- Hoe, K. Y., & Subramaniam, R. (2016). On the prevalence of alternative conceptions on acid–base chemistry among secondary students: Insights from cognitive and confidence measures. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(2), 263–282.
- Hofer, E. (2020). Scaffolding im Rahmen von Inquiry-based Learning. Unterstützung der Lernenden auf ihrem Weg der Erkenntnisgewinnung. *IMST Newsletter*, 17(50), 15–18. [https://www.imst.ac.at/files/ueber\\_imst/oeffentlichkeitsarbeit/imst\\_newsletter\\_50\\_final.pdf](https://www.imst.ac.at/files/ueber_imst/oeffentlichkeitsarbeit/imst_newsletter_50_final.pdf)
- Hofer, E., Abels, S., & Lembens, A. (2016). Forschendes Lernen und das 5E-Modell. *Plus Lucis*, 1(4).

- Hofer, E., Abels, S. & Lembens, A. (2018). Inquiry-based learning and secondary chemistry education—a contradiction? *Research in Subject-matter Teaching and Learning (RISTAL)*, 1(1), 51–65.
- Hofer, E., & Lembens, A. (2021). Forschendes Lernen. *plusLucis*, 1(1), 4–7.
- INQUIRYsteps. (2023, August 10). INQUIRYsteps. <https://inquirysteps.com>
- Institut des Bundes für Qualitätssicherung im österreichischen Schulwesen*. (2023, August 3). Institut des Bundes für Qualitätssicherung im österreichischen Schulwesen. <https://www.iqs.at>
- IQS, (Institut des Bundes für Qualitätssicherung im österreichischen Schulwesen). (2011). *Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe Vorläufige Endversion Oktober 2011*. [https://www.iqs.at/\\_Resources/Persistent/6d457e620e0980fe3011494fe357f68c43ab6b9a/bist\\_nawi\\_kompetenzmodell-8\\_2011-10-21.pdf](https://www.iqs.at/_Resources/Persistent/6d457e620e0980fe3011494fe357f68c43ab6b9a/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf)
- Jaeschke, D. P., Teixeira, I. R., Marczak, L. D. F. M. & Mercali, G. D. (2021). Phycocyanin from Spirulina: A review of extraction methods and stability. *Food Research International*, 143, 110314.
- Jiang, F., & McComas, W. F. (2015). The Effects of Inquiry Teaching on Student Science Achievement and Attitudes: Evidence from Propensity Score Analysis of PISA Data. *International Journal of Science Education*, 37(3), 554–576. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.1000426>
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry-logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 9–15.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3–18.
- Kelter, S. & Kaup, B. (2019). 11 Conceptual knowledge, categorization, and meaning. *Semantics-Typology, Diachrony and Processing*, 303.
- Kesselring, T. (1999). *Jean Piaget* (Bd. 512). CH Beck.
- Kim, J.-B., & Paik, Y.-S. (1997). Stability of Carthamin from Carthamus tinctorius in Aqueous Solution: pH and Temperature Effects. *Archives of Pharmacal Research*, 20(6), 643–646.
- Kind, V. (2004). *Beyond appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas* (2. Aufl.). School of Education, Durham University.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (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(2), 75–86.
- Koenen, J., Emden, M., & Sumfleth, E. (2016). *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung*. Münster: Waxmann.
- Kolašinac, S. M., Dajić-Stevanović, Z., Kilibarda, S. N., & Kostić, A. Ž. (2021). Carotenoids: New applications of “old” pigments. *Phyton*, 90(4), 1041–1062.
- König, R. (1965). Chemische Zusatzstoffe B. Zur Färbung von Lebensmitteln verwendete Farbstoffe. *Die Bestandteile der Lebensmittel*, 1134–1158.

- Koska, J., & Krüger, D. (2012). Nature of Science-Perspektiven von Studierenden–Schritte zur Entwicklung eines Testinstruments. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 11, 115–127.
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartels, S., Jiménez, J., & Acosta, K. A. (2021). International collaborative follow-up investigation of graduating high school students' understandings of the nature of scientific inquiry: Is progress Being made? *International Journal of Science Education*, 47(7), 991–1016.
- Lederman, N. G. (2006). *Research on nature of science: Reflections on the past, anticipations of the future*. 7(1), 1–11.
- Lederman, N. G., Lederman, Judith S., & Antink, A. (2013). Nature of science and scientific inquiry as contexts for the learning of science and achievement of scientific literacy. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 1(3), 138–147.
- Leisen, J. (1999). *Methoden-Handbuch Deutschsprachiger Fachunterricht (DFU)*. Varus Verlag.
- Leisen, J. (2006). Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. *Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 59(5), 260.
- Lembens, A., Hammerschmid, S., Jaklin-Farcher, S., Nosko, C. & Reiter, K. (2019). Textbooks as source for conceptional confusion in teaching and learning 'acids and bases' in lower secondary school. *Chemistry Teacher International*, 1(2), 20180029.
- Lembens, A., & Reiter, K. (2018). Vorstellungen von Lehramtsstudierenden zum Thema „Säuren und Basen“ –Eine Herausforderung für die LehrerInnenbildung. *Paper presented at the Qualitätsvoller Chemie-und Physikunterricht–normative und empirische Dimensionen*.
- Levine, E. H. (1996). Confectionary chemistry. *The Science Teacher*, 63(5), 18.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse* (12. Auflage). Beltz.
- Mesci, G., & Erdaş-Kartal, E. (2021). Science teachers' views on nature of scientific inquiry. *Bartin University Journal of Faculty of Education*, 2021(1), 69–84.
- Moreira, J. B., Terra, A. L. M., Costa, J. A. V., & de Morais, M. G. (2018). Development of pH indicator from PLA/PEO ultrafine fibers containing pigment of microalgae origin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, 1855–1862.
- Mortimer, C. E., & Müller, U. (2010). *Chemie: Das Basiswissen der Chemie* (10. Auflage). Georg Thieme Verlag.
- Nakoinz, S. (2015). *Untersuchung zur Verknüpfung submikroskopischer und makroskopischer Konzepte im Fach Chemie* (Bd. 187). Logos Verlag Berlin GmbH.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. National Academies Press.
- Nestlé Smarties. (2023, August 20). <https://www.smarties.de>
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. The National Academies Press.
- OECD. (2019). PISA 2018 Science Framework. In *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*. OECD Publishing.

- Pelster, R., Schön, F. & Klein, T. (2019). Das umgedrehte Wasserglas–ein Irrweg im Physikunterricht? Fehlvorstellungen zum Druck und Anregungen für den Unterricht. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(18), 11–21.
- Pineker-Fischer, A. (2017). Scaffolding: Ein integratives Sprachförderkonzept. *Sprach- und Fachlernen im naturwissenschaftlichen Unterricht: Umgang von Lehrpersonen in soziokulturell heterogenen Klassen mit Bildungssprache*, 83–106.
- Plappert, D. (2011). Naturwissenschaftliche Bildung vom Kindergarten bis zur Hochschulreife. *PdN PHYSIK in der Schule/MAGAZIN*, 60(6).
- Popper, K. R. (2010). *Alles leben ist problemlösen* (14. Aufl.). Piper Verlag GmbH.
- Puddu, S. (2017). *Implementing inquiry-based learning in a diverse classroom: Investigating strategies of scaffolding and students' views of scientific inquiry* (Bd. 247). Logos Verlag Berlin GmbH.
- QCAmap – a software for Qualitative Content Analysis*. (2023, September 1). QCAmap. <https://www.qcamap.org/ui/de/home>
- Reitinger, J. (2013). *Forschendes Lernen: Theorie, Evaluation und Praxis in naturwissenschaftlichen Lernarrangements*. Verlag Barbara Budrich.
- Remus, L. (2010). *Interaktionsboxen*. Qualitäts- und UnterstützungsAgentur-Landesinstitut für Schule. <https://www.schulentwicklung.nrw.de/materialdatenbank/material/view/2462>
- Roberts, D. A., & Bybee, R. W. (2014). Scientific literacy, science literacy, and science education. In *Handbook of research on science education, Volume II* (S. 559–572). Routledge.
- Scheuch, M., Panhuber, T., Winter, S., Kelemen-Finan, J., Bardy-Durchhalter, M., & Kapelari, S. (2018). Butterflies & wild bees: Biology teachers' PCK development through citizen science. *Journal of Biological Education*, 52(1), 79–88.
- Schmidt, C., & Dietrich, L. (2014). *Chemie für Biologen*. Springer.
- Schwartz, R., Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2008). *An Instrument To Assess Views Of Scientific Inquiry: The VOSI Questionnaire* (S. 1–24). NARST. [https://www.researchgate.net/profile/Norman-Lederman/publication/251538349\\_An\\_Instrument\\_To\\_Assess\\_VIEWS\\_OF\\_Scientific\\_Inquiry\\_The\\_VOSI\\_Questionnaire/links/0deec52b9d9a9a2092000000/An-Instrument-To-Assess-Views-Of-Scientific-Inquiry-The-VOSI-Questionnaire.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Norman-Lederman/publication/251538349_An_Instrument_To_Assess_VIEWS_OF_Scientific_Inquiry_The_VOSI_Questionnaire/links/0deec52b9d9a9a2092000000/An-Instrument-To-Assess-Views-Of-Scientific-Inquiry-The-VOSI-Questionnaire.pdf)
- Singer, S. R., Hilton, M. L., Schweingruber, H. A., & National Research Council US. (2005). *America's lab report: Investigations in high school science* (Bd. 3). National Academies Press Washington, DC.
- Stäudel, L. & Wodzinski, R. (2010). Komplexität erhalten und gezielt unterstützen: Aufgaben mit gestuften Lernhilfen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Selbstbestimmung und Classroom-Management. Empirische Befunde und Entwicklungsstrategien zum guten Unterricht*, 236–253.
- Steininger, R. (2016). *Concept Cartoons als Stimuli für Kleingruppendiskussionen im Chemieunterricht: Beschreibung und Analyse einer komplexen Lerngelegenheit* [Dissertation]. Universität Wien.
- Steininger, R. (2019). *Kurkuma als Thema im Chemieunterricht*. 3, 13–16.

- Steininger, R., Abels, S. & Lembens, A. (2015). Der (un)zuverlässige Indikator – vom klassischen Schulversuch zum Mystery. *Chemie & Schule*, 30(1b), 20–23.
- Stiller, C. & Wilde, M. (2021). Einfluss gestufter Lernhilfen als Unterstützungsmaßnahme beim Experimentieren auf den Lernerfolg im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 24(3), 743–763.
- Sumfleth, E., Ploschke, B. & Geisler, A. (1999). Schülervorstellungen und Unterrichtsgespräche zum Thema Säure-Base. *Chemiedidaktik im Wandel–Gedanken zu einem neuen Chemieunterricht*, S, 91–115.
- Sumfleth, E., Rumann, S. & Nicolai, N. (2004). Kooperatives Arbeiten im Chemieunterricht: Gemeinsames Arbeiten in kleinen Gruppen und mit Eltern. *Bildungswissenschaften–Bildungsforschung nach PISA*, 74–85.
- Treagust, D., Nieswandt, M. & Duit, R. (2000). Sources of students difficulties in learning Chemistry. *Educación química*, 11(2), 228–235.
- Wallentin, G., Jekel, T., Rattensberger, M. & Binder, D. (2008). Schools on ice”–Einbindung von Lernendenperspektiven in GI-basiertes Lernen. *Learning with Geoinformation III–Lernen mit Geoinformation*, 3, 87–95.

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Chemisches Dreieck nach Johnstone (Barke, 2006, S. 31) .....	31
Abbildung 2: Das Beziehungsgefüge der drei Teilaufgaben im Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Reinfried et al., 2009, S. 406) .....	34
Abbildung 3: Unterschiedliche Struktur und Farbe von Cyanidin abhängig vom pH-Wert (Steininger et al., 2015, S. 23) .....	38
Abbildung 4: Farbpalette der Smarties von Nestlé.....	39
Abbildung 5:Strukturformel von Betanin (Silva et al., 2021, S. 541).....	40
Abbildung 6: Strukturformel von $\beta$ -Carotin (Kolašinac et al., 2021, S. 1044) .....	40
Abbildung 7: Die Veränderung von Kurkumin durch Protonenabgabe in basischer Lösung (Steininger, 2019, S. 14) .....	41
Abbildung 8: (A) Schematische Darstellung der $\alpha$ -Untereinheit (helles Blau) and $\beta$ -Untereinheit (dunkles Blau) von Phycocyanin. (B) Strukturform von Phycocyanobilin (Jaeschke et al., 2021, S. 3).....	41
Abbildung 9: Fotos von Membranen mit 3% (w*v <sup>-1</sup> ) Phycocyanin innerhalb eines pH-Bereichs von 1- 10. Dicke der Membranen: 34.7 $\mu$ m (a) und 68.7 $\mu$ m (b) (Moreira et al., 2018, S. 1861) .....	42
Abbildung 10: Strukturformel von Carthamin (Kim & Paik, 1997, S. 643) .....	42
Abbildung 11: Grundkörper der Anthocyane und die wichtigsten Anthocyanidine in der Natur (Fleschut, 2004, S. 3) .....	43
Abbildung 12: Acyliertes Hauptanthocyan der Rettichschale (Fleschut, 2004, S. 4) .....	43
Abbildung 13: Strukturelle Veränderung der Anthocyane in Abhängigkeit vom pH-Wert (Fleschut, 2004, S. 5) .....	44
Abbildung 14: Nach Lösen der Farbstoffe von Smarties in Leitungswasser, wurden diese in die Vertiefung von Multititerplatten überführt. Wenige Tropfen einer sauren Lösung (Salzsäure-Lösung) und basischer Lösung (Natronlauge) wurden in die Vertiefungen pipettiert. Der Kontrolle wurde keine Lösung hinzugefügt.....	45
Abbildung 15: Darstellung des typischen Aufbaus der Lernschachtel.....	54
Abbildung 16: Hefteintrag zu Indikatoren von sauren und basischen Lösungen .....	56
Abbildung 17: Anleitung zur Durchführung des Vorversuchs, zudem sollen Beobachtungen festgehalten werden und ein Säure-Base-Indikator beschrieben werden.....	56
Abbildung 18: Die Protokollvorlage als Makro-Scaffolding Material.....	57
Abbildung 19: Die Tippkarten (gestufte Lernhilfen) .....	58
Abbildung 20: Darstellung des Concept Cartoons zur Fragestellung „Was sind Indikatoren“ .....	59
Abbildung 21: Verwendung und Nützlichkeit der Tippkarte 2 angegeben von den Schüler*innen ....	82
Abbildung 22: Verwendung und Nützlichkeit der Tippkarte 2 angegeben von den Schüler*innen ....	83
Abbildung 23: Verwendung und Nützlichkeit der Tippkarte 3 angegeben von den Schüler*innen ....	84
Abbildung 24: Verwendung und Nützlichkeit der Tippkarte 4 angegeben von den Schüler*innen ....	85

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stufen (Level) von Forschenden Lernen nach Blanchard (Blanchard et al., 2010, S. 581).	23
Tabelle 2: Unterscheidung von Marko-Scaffolding und Mikro-Scaffolding nach Hofer, 2020, S. 16–18	27
Tabelle 3: Darstellung der möglichen Inhaltsstoffen von Smarties mit Begründung	44
Tabelle 4: Hauptkategorien zur Teilanalyse 1 – „Wie gelingt die Versuchsplanung?“	72
Tabelle 5: Kategorien der Teilanalyse 1 – „Wie gelingen die Beobachtungen?“	74
Tabelle 6: Kategorien der Teilanalyse 1 – „Wie gelingt es, Schlüsse zu ziehen?“	75
Tabelle 7: Hauptkategorien der Teilanalyse 2 – „Was umfasst die Beschreibung eines Säure-Base-Indikators?“	77
Tabelle 8: Kategorien der Teilanalyse 3 – „Wie gut kann die Fragestellung der Lernschachtel formuliert werden?“	80
Tabelle 9: Planung der ersten Unterrichtseinheit	110
Tabelle 10: Planung der zweiten Einheit	112
Tabelle 11: Planung der dritten Einheit	115

# Anhang

## Konkret geplanter Unterrichtsverlauf zum Umgang mit der Lernschachtel

### Erste Einheit zum Arbeiten mit der Lernschachtel (50 min):

Tabelle 9: Planung der ersten Unterrichtseinheit

Zeit	Phase	Tätigkeit der Lehrperson (LP)	Geplante Tätigkeit der Schüler*innen	Sozialform	Material
3 min	Vorstellung Forschendes Lernen	Die LP erklärt den Schüler*innen, dass sie sich in den nächsten Einheiten mit Forschendem Lernen beschäftigen sollen. Sie sollen dafür eigene Versuche zu einer vorgegebenen Frage planen und durchführen.	Die Schüler*innen hören aufmerksam zu.	Plenum	
1 min	Geplante Zeitrahmen des Einsatzes der Lernschachtel	Die LP informiert die Schüler*innen darüber, dass sie sich in den kommenden drei Einheiten mit der Lernschachtel beschäftigen werden.	Die Schüler*innen hören aufmerksam zu.	Plenum	
2 min	Einteilung in Gruppen	Die LP teilt die Schüler*innen in Gruppen von zwei Personen auf. Sie sollen sich die Gruppen merken, da sie für den Einsatz der Lernschachtel bestehen bleiben.	Die Schüler*innen bilden 2-er Gruppen.		
2 min	Verteilung der Schutzbrillen	Die LP verteilt an jeden Schüler bzw. jede Schülerin eine Schutzbrille und gibt die Anweisung diese aufzusetzen.	Die Schüler*innen setzen die Schutzbrillen auf.	Plenum	Schutzbrillen
2 min	Austeilen den Lernschachtel	Die LP übergibt jeder Gruppe eine Lernschachtel.	Die Schüler*innen öffnen die Lernschachtel und werfen einen ersten Blick in diese hinein.	Partner*innenarbeit	Lernschachtel
5 min	<b>Phase 1 – Gefahrensymbo</b>	Die LP stellt an die Schüler*innen den	Die Schüler*innen	Partner*innenarbeit	Lernschachtel – Fokus:

	<p>le und Sicherheitshinweise der Chemikalien der Lernschachtel</p> <p><u>siehe:</u> Skizze des Unterrichtsverlauf (Kapitel 3.3)</p>	<p>Arbeitsauftrag, dass sie anhand des Inhalts der Lernschachtel herausfinden sollen, warum diese die Schutzbrille benötigen werden.</p>	<p>setzen sich mit dem Inhalt der Lernschachtel auseinander. In dieser Phase konzentrieren sie sich auf die Chemikalien.</p>		Chemikalien Natronlauge und Salzsäure-Lösung
5 min	<p><b>Phase 2 –</b> Auseinandersetzung mit den Geräten in der Lernschachtel</p> <p><u>siehe:</u> Skizze des Unterrichtsverlauf (Kapitel 3.3)</p>	<p>Die LP weist die Schüler*innen an, dass sich diese nun mit den Geräten der Lernschachtel auseinandersetzen sollen.</p>	<p>Die Schüler*innen erkunden die Geräte der Lernschachtel.</p>	Partner*innenarbeit	Lernschachtel – Fokus: Geräte
		<p>Im Plenum bespricht die LP noch einmal mit den Schüler*innen, welche Geräte sich in der Lernschachtel befinden.</p> <p>Möglich Fragen an die Schüler*innen finden sich unter „Phase 2 – Auseinandersetzung mit den Geräten in der Lernschachtel“ (siehe Kapitel 3.3.2)</p>	<p>Die Schüler*innen wissen, welchen Zweck die Geräte der Lernschachtel prinzipiell erfüllen können.</p>	Besprechung im Plenum	
15 min	<b>Übungsphase</b> <b>Pipettieren</b>	<p>Die LP sagt den Schüler*innen, dass sie nun mit einer gefährlichen unbekannten Substanz</p>	<p>Die Schüler*innen überführen eine unbekannte</p>	Partner*innenarbeit	Lernschachtel – Fokus: Geräte

		<p>arbeiten werden (tatsächlich Wasser). Sie erhalten ein Fläschchen von dieser.</p> <p>Sie sollen die unbekannte Substanz in Multititerplatten mithilfe von 1 mL Pipetten überführen.</p> <p>Die LP überprüft, welche Schüler*innen verantwortungsvoll mit den Chemikalien und Geräten umgehen.</p>	<p>Substanz (Wasser) mithilfe der 1 mL Pipetten in Multititerplatten.</p> <p>Die unbekannte Substanz erhalten sie in Fläschchen.</p>		
4 min	<b>Übungsphase richtiges Säubern</b>	<p>Die Schüler*innen sollen die Multititerplatten sorgsam reinigen (Vorsicht Spritzer!).</p> <p>Sie sollen auch die 1 mL Pipetten mit Wasser zweimal spülen.</p>	<p>Die Schüler*innen reinigen die Multititerplatten umsichtig, indem sie starkes Spritzen vermeiden.</p> <p>Die 1 mL Pipetten säubern sie mit Wasser.</p>		
11 min	<b>Eckpunkte chemischer Reaktionen: Indikatoren und saure und basische Lösungen</b>	<p>Die LP erklärt den Schüler*innen den generellen Ablauf von chemischen Reaktionen im Kontext von sauren und basischen Lösungen. Sie teilt den Hefteintrag aus.</p>	<p>Die Schüler*innen hören aufmerksam zu und lesen mit.</p>		<p>Der *Hefteintrag „Eckpunkte einer chemischen Reaktion: Indikatoren von sauren und basischen Lösungen“ befindet im Anschluss an diese Tabelle.</p>
50 min					

**\*Eckpunkte einer chemischen Reaktion: Indikatoren und saure und basische Lösungen**

Bei einer **chemischen Reaktion reagieren Stoffe** zu neuen Stoffen mit neuen Eigenschaften.

Es gibt Stoffe, die mit **sauren und basischen** Lösungen reagieren.

Beispiele für eine **saure Lösung** ist z.B. Essig oder Zitronensaft.

Beispiele für **basische Lösungen** ist z.B. Seifenlösung.

Ein Beispiel dafür sind Indikatoren. Indikatoren reagieren mit sauren oder basischen Lösungen. Dabei verändern sie ihre Eigenschaften. Eine wichtige Eigenschaft ist ihre Farbe.

**Ein Indikator reagiert mit sauren oder basischen Lösungen zu einem neuen Stoff mit einer anderen Farbe.**

**Zweite Einheit zum Arbeiten mit der Lernschachtel (50 min):**

Tabelle 10: Planung der zweiten Einheit

Zeit	Phase	Tätigkeit der Lehrperson (LP)	Geplante Tätigkeit der Schüler*innen	Sozialform	Material
3 min	Einleitung und Anknüpfen an	Die LP teilt die Schüler*innen in	Die Schüler*innen	Partner*innenarbeit	

	die vorangegangene Einheit	Zweiergruppen wie in der vorangegangenen Einheit ein.  Die LP wiederholt, dass das Ziel Forschendes Lernens ist, dass sie ihre eigenen Antworten auf naturwissenschaftliche Fragestellung selbstständig finden.	bilden Zweiergruppen.		
2 min	Verteilung der Schutzbrillen	Die LP teilt die Schutzbrillen aus und verweist noch einmal auf die Regeln der Laborsicherheit.	Die Schüler*innen setzen die Schutzbrillen auf.		
15 min	<b>Phase 2- Der Vorversuch:</b> Zugabe einer sauren und basischen Lösung zu einer Universalindikatorlösung – Forschendes Lernen auf <b>Level 1</b>	Als Basis für den Eintritt in <b>Phase 3</b> werden die Schüler*innen beauftragt folgenden Vorversuch durchzuführen:  Die Schüler*innen sollen herausfinden, was passiert, wenn eine Universalindikatorlösung mit Natronlauge bzw. Salzsäure-Lösung aus der Lernschachtel versetzt wird.	Die Schüler*innen führen den Vorversuch durch: Sie versetzen eine Universalindikatorlösung mit Natronlauge bzw. Salzsäure-Lösung aus der Lernschachtel.	Partner*innenarbeit	Lernschachtel - sie enthält auch die Anleitung für den Vorversuch (siehe Kapitel 3.2)
		Die LP bespricht mit den Schüler*innen die Ergebnisse ihrer Versuche und somit die Wirkung von Säure-Base-Indikatoren im Zusammenhang von chemischen Reaktionen.	Die Schüler*innen finden heraus, dass die Farbe der Universalindikatorlösung von der chemischen Umgebung abhängig ist.	Besprechung der Ergebnisse der Schüler*innen im Plenum	Lernschachtel
5 min	<b>Phase 3 – Smarties und die zentrale Fragestellung</b>	Die LP bespricht mit den Schüler*innen die zentrale Fragestellung. Sie verweist auf die Smarties und fragt: „Eignen sich die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren?“  Fragen, die an die Schüler*innen gestellt werden könnten, finden sich unter:	Die Schüler*innen sollen überlegen, wie sie die Fragestellung beantworten könnten.	Partner*innenarbeit	Lernschachtel

		„Phase 3 – Smarties und die zentrale Fragestellung“ (siehe Kapitel 3.3.3)			
10 min	<b>Phase 4 – Erklärung zur Verwendung des Scaffolding-Materials</b>	Die LP erklärt den Schüler*innen im Plenum, wie das Scaffolding-Material (Protokollvorlage, Tippkarten, Concept Cartoon) zu verwenden ist.  Genaue Information der LP an die Schüler*innen finden sich unter:  „Phase 4 – Erklärung zur Verwendung des Scaffolding-Materials“ (siehe Kapitel 3.3.4)	Die Schüler*innen wissen, welchen Zweck das Scaffolding-Material erfüllt. Sie sehen es sich gemeinsam mit der LP an und besprechen anschließend den Concept Cartoon.	Plenum	Lernschachtel + Scaffolding-Material
10 min	<b>Phase 5 – Forschendes Lernen auf Level 2</b>	Die LP gibt den Schüler*innen die Anweisung, dass sie ihre Versuche zur Beantwortung der Fragestellung („Eigenen sich die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren?“) selbstständig planen sollen.  Sie dürfen ihre Versuche erst beginnen, wenn sie Punkt 1 (Wie setze ich meinen Versuch um?) befüllt haben und der LP gezeigt wurde.  Sie müssen hierfür ihren Entwurf abgeben.	Die Schüler*innen halten ihre Versuchsplanung in der Protokollvorlage fest.	Partner*innenarbeit	Lernschachtel + Scaffolding-Material
	<b>Fortsetzung nächste Einheit</b>	Die LP informiert die Schüler*innen darüber, dass in der nächsten Einheit das Arbeiten mit der Lernschachtel fortgesetzt wird.			
5 min	Wegräumen	Die LP sammelt die Lernschachteln ein.	Die Schüler*innen reinigen ihren Platz und das Material und geben der LP die Lernschachtel zurück. Sie entsorgen den	Partner*innenarbeit	Lernschachtel

			Inhalt der Multititerplatte.		
50 min					

### **Dritte Einheit zum Arbeiten mit der Lernschachtel (50 min):**

Tabelle 11: Planung der dritten Einheit

Zeit	Phase	Tätigkeit der Lehrperson (LP)	Geplante Tätigkeit der Schüler*innen	Sozialform	Material
2 min	Einleitung und Anknüpfen an die vorangegangene Einheit	Die LP teilt die Schüler*innen in Zweiergruppen wie in der vorangegangenen Einheit ein.  Die LP wiederholt, dass das Ziele Forschendes Lernens ist, dass die Schüler*innen ihre eigenen Antworten auf naturwissenschaftliche Fragestellungen selbstständig finden.	Die Schüler*innen bilden Zweiergruppen	Partner*innenarbeit	
2 min	Verteilung der Schutzbrillen	Die LP teilt die Schutzbrillen aus und verweist noch einmal auf die Regeln der Laborsicherheit.	Die Schüler*innen setzen die Schutzbrillen auf.		
2 min	<b>Reaktivierung - Phase 3 und Phase 4</b>	Die LP wiederholt kurz die Fragestellung: „Eignen sich die Farbstoffe von Smarties als Säure-Base-Indikatoren?“. Sie gibt ihnen die Option, den Hefteintrag zu lesen. Sie verweist auf die optionale Verwendung der Tippkarten.	Die Schüler*innen lesen ihre Unterlagen der letzten Einheit durch und beschäftigen sich mit der Fragestellung. Optional können sie den Hefteintrag lesen.	Partner*innenarbeit	Hefteintrag, Lernschachtel
39 min	<b>Fortsetzung Phase 5- Forschendes Lernen auf Level 2</b>	Die LP teilt an die Schüler*innen die Protokollvorlage aus, in welchen Punkt 1 bereits befüllt wurde. Die LP hat sich die Planung bereits angesehen und bespricht,	Die Schüler*innen besprechen, falls nötig, ihre geplanten Versuche mit der Lehrperson.	Partner*innenarbeit	Lernschachtel + Scaffolding-Material

		<p>falls nötig, mit den Schüler*innen kurz den Versuch.</p> <p>Die LP verweist darauf hin, dass die Protokollvorlage vollständig befüllt werden muss.</p>			
		<p>Die LP händigt den Schüler*innen die Smarties aus und erlaubt ihnen, ihre geplanten Versuche durchzuführen.</p>	<p>Die Schüler*innen führen ihre geplanten Versuche durch und führen Protokoll.</p>	<p>Partner*innenarbeit</p>	<p>Lernschachtel + Scaffolding-Material</p>
		<p>Die LP unterstützt die Schüler*innen je nach Bedarf (Mikro-Scaffolding)</p>		<p>Partner*innenarbeit</p>	<p>Lernschachtel + Scaffolding-Material</p>
		<p>An besonders schnell arbeitende Schüler*innen teilt die LP Smarties mit einer Farbe aus, die sie noch nicht verwendet haben.</p>			
		<p>Die LP bespricht mit den Schüler*innen ihre Versuchsplanungen, Beobachtungen und gewonnenen Erkenntnisse.</p>		<p>Besprechung der Planung, Durchführung und Erkenntnisse im Plenum</p>	
5 min	<p><b>Wegräumen und Einsammeln aller Materialien (Protokolle, Tippkarten, Concept Cartoon, Testbögen)</b></p>	<p>Die LP fordert die Schüler*innen auf, alles wegzuräumen.</p> <p>Sie sollen besonders beim Reinigen der Mikrotiterplatten vorsichtig agieren (Spritzgefahr – saure/basisch Lösungen).</p>	<p>Die Schüler*innen reinigen ihren Platz und Material und geben die Lernschachtel der LP zurück.</p>		
50 min					

In der nächsten Stunde wird die Abschlussbefragung an die Schüler\*innen verteilt und von diesen befüllt.

# Abschlussbefragung

## Fragebogen

Name: \_\_\_\_\_

### Abschlussbefragung Teil 1

a) Wie ist es dir bei der Planung des Versuchs mit den Smarties gegangen? Bei der Planung ist es mir ...

- sehr schlecht gegangen.
- mittelmäßig gegangen.
- gut gegangen.
- sehr gut gegangen.

b) War die Protokollvorlage für dich hilfreich? Die Protokollvorlage war für mich ...

- nicht hilfreich.
- wenig hilfreich.
- etwas hilfreich.
- sehr hilfreich.

### Thema – Scaffolding (Tippkarten)

Wie war die **Tippkarte 1**?

- nicht hilfreich
  - wenig hilfreich
  - etwas hilfreich
  - sehr hilfreich
- Ich habe **Tippkarte 1** nicht verwendet.

Wie war die **Tippkarte 2**?

- nicht hilfreich
  - wenig hilfreich
  - etwas hilfreich
  - sehr hilfreich
- Ich habe **Tippkarte 2** nicht verwendet.

Wie war die **Tippkarte 3**?

- nicht hilfreich
  - wenig hilfreich
  - etwas hilfreich
  - sehr hilfreich
- Ich habe **Tippkarte 3** nicht verwendet.

Wie war die **Tippkarte 4**?

- nicht hilfreich
  - wenig hilfreich
  - etwas hilfreich
  - sehr hilfreich
- Ich habe **Tippkarte 4** nicht verwendet.

**Abschlussquiz** – SC Fragen zur Einheit (5min)

a) Bei einer chemischen Reaktion ...

- reagieren Stoffe zu neuen Stoffen mit neuen Eigenschaften.
- sind immer saure Lösungen beteiligt.
- sind immer basische Lösungen beteiligt.

b) Ein Beispiel für eine saure Lösung ist ...

- Essig.
- Seifenlösung.
- Wasser.

c) Ein Beispiel für eine basische Lösung ist ...

- Essig.
- Seifenlösung.
- Wasser.

d) Natronlauge ist ...

- eine saure Lösung.
- eine basische Lösung.
- weder eine saure noch basische Lösung.

e) Eine Salzsäure-Lösung ist ...

- eine saure Lösung.
- eine basische Lösung.
- weder eine saure noch basische Lösung.

f) Ein Indikator ...

- verändert seine Farbe bei Zugabe einer sauren oder basischen Lösung.
- verändert seine Farbe nicht bei Zugabe einer sauren oder basischen Lösung.
- ist ätzend und gefährlich.

g) Eine Salzsäure-Lösung ...

- verändert ihre Farbe bei Zugabe einer sauren Lösung.
- verändert ihre Farbe bei Zugabe einer basischen Lösung.
- ist ätzend und gefährlich.

## Abschlussbefragung Teil 2

### Rückblick auf die Aufgabe – Einsatz der Indikatorlösung

a) Was musstest du im ersten Versuch machen, als du die Indikatorlösung benutzt hast?  
Beschreibe dies in **Stichworten!**

## Rückblick auf die Aufgaben– Einsatz der Smarties

a) Formuliere die Fragestellung der Lernschachtel mit Smarties mit deinen eigenen Worten!

b) Erkläre mit deinen eigenen Worten, was ein Indikator für saure und basische Lösungen ist!

## Ergebnisse

### Ergebnisse der Teilanalyse 1 - „Wie gelingt die Versuchsplanung?“

	Category Name	Absolute Count
Angemessene Planung		51
	Direkt saure/basische Lösung	4
	Direkt saure/basische Lösung auf Smarties	4
Zuerst in Wasser lösen		47
	Farbe lösen	20
	Verteilen	11
	Heißes Wasser	1
	Zugabe saure und basische Lösung	15
Unangemessenes Vorgehen		3
	Zugabe saure Lösung	1
	Zuerst Zugabe saure/basische zum Lösen der Farbe	2
Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet		5
	Fachbegriffe falsch verwendet	5
Angemessene Verwendung Begriffe saure / basische Lösung		0
	Verwendung Begriffe saure/basische Lösung	0
		59

Abbildung A.1: Counts zu „Mein Protokoll – Wie gelingen die Versuchsplanung?“

Tabelle A.1: Hauptkategorien und Unterkategorien zur Teilanalyse 1 – „Wie gelingt die Versuchsplanung?“

	Bezeichnung	Beschreibung	Ankerbeispiel	Quelle
Hauptkategorie	Angemessene Planung	Diese Hauptkategorie beschreibt eine angemessene Planung, dazu zählt: <ul style="list-style-type: none"><li>• direkt saure/basische Lösung zugeben</li><li>• Farben zuerst in Wasser lösen, dann saure/basische Lösung zugeben</li></ul>		
Erste Unterkategorie	Direkt saure/basische Lösung	Diese Unterkategorie ist definiert durch die direkte Zugabe von saure/basische Lösung zugeben zu den Smarties.	Die Smarties werden in drei der Multititerplatten Vertiefungen hineingelegt.	Protokoll 1, Versuchsplanung

			Danach kann man die Säure und die Basis hinzufügen.	
Erste Unterkategorie	Zuerst in Wasser lösen	In diese Unterkategorie fällt das Lösen der Farben der Smarties in Wasser. Dazu zählen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Farbe lösen</li> <li>• Verteilen</li> <li>• Heißes Wasser</li> <li>• Zugabe saure und basische Lösung</li> </ul>		
Zweite Unterkategorie	Farbe lösen	Hier wird das Lösen der Farben in Wasser beschrieben.	Die Farbe wird sich lösen und das Wasser muss man dann auf die Vertiefungen aufteilen und dann die Base und Säure hinzufügen.	Protokoll 2, Versuchsplanung
Zweite Unterkategorie	Verteilen	Hier wird das Verteilen der Lösung in die Vertiefungen der Multititerplatte beschrieben.	Mit der Pipette wird das gefärbte Wasser in die Multititerplatte gegeben.	Protokoll 9, Versuchsplanung
Zweite Unterkategorie	Heißes Wasser	Hier wird die Farbe des Smarties durch heißes Wasser in Lösung gebracht.	Das Smarties im Becherglas mit heißem Wasser übergießen.	Protokoll 2, Versuchsplanung
Zweite Unterkategorie	Zugabe saure und basische Lösung	Nach dem Lösen der Farbe erfolgt die Zugabe der sauren und basischen Lösung.	Wir geben jeweils Säure und Base hinzu.	Protokoll 3, Versuchsplanung
Hauptkategorie	Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet	Diese Hauptkategorie beschreibt Fachbegriffe, die falsch geschrieben oder unpräzise verwendet werden	Danach kann man die Säure und die Basis hinzufügen.	Protokoll 1, Versuchsplanung
Hauptkategorie	Unangemessene Planung	Zu dieser Hauptkategorie gehört unangemessenes Vorgehen wie: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ausschließlich Zugabe saurer Lösung</li> <li>• saure Lösung/basische Lösung zum Lösen der Farbe</li> </ul>		

Erste Unterkategorie	Zugabe saure Lösung	In diese Unterkategorie fällt die ausschließliche Zugabe der sauren Lösung.	Zweitens: dann eine Säure hinzufügen und warten was passiert.	Protokoll 4, Versuchsplanung
Erste Unterkategorie	Zuerst Zugabe saure/basische Lösung zum Lösen der Farbe	Diese Unterkategorie beschreibt das Lösen der Farbe durch die saure/basische Lösung.	Zuerst geben wir das Smartie in die Säure und danach in das Wasser, damit es die Farbe verliert.	Protokoll 6, Versuchsplanung
Hauptkategorie	Angemessene Verwendung der Begriffe saure/basische Lösung	In diese Kategorie fällt die angemessene Verwendung der Begriffe saure und basische Lösung.	Keine Counts.	

### Ergebnisse der Teilanalyse 1 - „Wie gelingen die Beobachtungen?“

Category Name	Absolute Count
Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet	10
Beobachtungen, die den erwartenden Ergebnissen entsprechen	25
Tabelle	2
Beobachtungen, die stark von erwartenden Ergebnissen abweichen	8
Keine Beobachtung	6
Interpretation	5
Versuchsplanung bzw. -durchführung	1
	51

Abbildung A.2: Counts zu „Wie gelingen die Beobachtungen?“

### Ergebnisse des Teilanalyse 1 - „Wie gelingt es, Schlüsse zu ziehen?“

Im Folgenden findet die Beschreibung der Kategorien statt.

Category Name	Absolute Count
Korrekte Interpretation	25
Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet	2
Beobachtung	0
Tabelle	2
Nicht korrekte Interpretation	2
Versuchsplanung bzw- durchführung	0
	31

Abbildung A.3: Counts zu „Wie gelingt es, Schlüsse zu ziehen?“

## Ergebnisse der Teilanalyse 2 – „Beschreibung eines Säure-Base-Indikators“

Category Name	Absolute Count
Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet	0
Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet	0
Prinzipielles Verstehen der Wirkung eines Indikators	19
saure Lösung UND basische Lösung führen zur Farbänderung	2
saure Lösung ODER basische Lösung führt zu einer Farbänderung	7
Explizite Verwendung der Begriffe saure/basische Lösung	10
explizit: saure Lösung UND basische Lösung führen zur Farbänderung	0
explizit: saure Lösung ODER basische Lösung führt zur Farbänderung	10
Sonstiges	2
nicht zuordenbar	2
Teilverstehen der Wirkung eines Indikators	13
Wirkung auf Säuren und Basen	2
Farbänderung	10
nur saure Lösung führt zu einer Farbänderung	0
nur basische Lösung führt zur Farbänderung	0
Begriffe saure/basische Lösung explizit verwendet	1
explizit: nur saure Lösung führt zur Farbänderung	0
explizit: nur basische Lösung führt zur Farbänderung	1
	34

Abbildung A.4: Counts zu „Fragebogen - Was umfasst die Beschreibung eines Indikators?“

Tabelle A.2: Hauptkategorien und Unterkategorien zur Teilanalyse 2 – „Beschreibung eines Säure-Base-Indikators“

	Bezeichnung	Beschreibung	Ankerbeispiel	Quelle
Hauptkategorie	Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet	Diese Hauptkategorie beschreibt Fachbegriffe, die falsch geschrieben oder unpräzise verwendet werden	Keine Counts.	
Hauptkategorie	Prinzipielles Verstehen der Wirkung eines Säure-Base-Indikators	Hier wird das prinzipielle Verstehen der Wirkung eines Säure-Basen-Indikators beschrieben. Dazu zählen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• saure Lösung UND basische Lösung führen zur Farbänderung</li> <li>• saure Lösung ODER basische Lösung führt zur Farbänderung</li> <li>• Explizite Verwendung der Begriffe saure/basische Lösung</li> </ul>		
Unterkategorie	saure Lösung UND basische Lösung führen zur Farbänderung	Hier liegt ein prinzipielles Verständnis der Wirkung eines Indikators vor. Es wird jedoch angenommen, dass saure und basische Lösungen eine	Ein Indikator ist ein Stoff, der seine Eigenschaften wegen Säuren und Basen verändert.	S21_Indikator, Fragebogen

		Veränderung bewirken müssen.	Er verändert auch seine Farbe.	
Unterkategorie	saure Lösung ODER basische Lösung führt zur Farbänderung	Hier liegt ein prinzipielles Verständnis der Wirkung eines Indikators vor. Es wird angenommen, dass saure oder basische Lösungen eine Veränderung bewirken müssen.	Das ist ein Stoff, der seine Farbe ändert, wenn man eine Base oder Säure dazu gibt.	S1_Indikator, Fragebogen
Unterkategorie	explizit: saure Lösung UND basische Lösung führen zur Farbänderung	Hier wird beschrieben, dass saure und basische Lösungen zu Farbänderung des Indikators führen müssen.	Keine Counts.	
Unterkategorie	explizit: saure Lösung ODER basische Lösung führt zur Farbänderung	Hier wird beschrieben, dass saure oder basische Lösungen zu Farbänderung des Indikators führen müssen.	Eine Lösung, die sich bei Zugabe von einer sauren oder basischen Lösung verfärbt.	S2_Indikator, Fragebogen
Hauptkategorie	Sonstiges	<ul style="list-style-type: none"> <li>In diese Hauptkategorie fallen nicht zuordenbare Aussagen.</li> </ul>	Ist eine ätzende Lösung die Sachen verfärbt.	S20_Indikator, Abschlussbefragung
Hauptkategorie	Teilverstehen der Wirkung eines Säure-Base-Indikators	<p>Zu der Hauptkategorie des Teilverständens der Wirkung eines Indikators zählen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Wirkung auf Säuren und Basen</li> <li>Farbänderung</li> <li>Nur die saure Lösung führt zur einer Farbänderung</li> <li>Nur die basische Lösung führt zur Färbänderung</li> <li>Explizite Verwendung der Begriffe saure/basische Lösung</li> </ul>		
Unterkategorie	Wirkung auf Säuren und Basen	Ein Teilverständnis der Wirkung des Indikators wird gezeigt, auf die Wirkung des Wirkungs des Säure-Base-Indikators auf die Base hingewiesen wird.	Eine Flüssigkeit, die auf Säuren oder Basen reagiert.	S36_Indikator, Fragebogen

Unterkategorie	Farbänderung	Ein Teilverständnis der Wirkung des Indikators wird gezeigt, indem von Farbänderung beschrieben wird.	Ein Indikator verändert seine Farbe bei der Zugabe einer Lösung.	S7_Indikator, Fragebogen
Unterkategorie	nur die saure Lösung führt zur Farbänderung	Hier wird ein Teilverständnis gezeigt, indem saure Lösungen als Ursachen der Farbänderung beschrieben werden.	Keine Counts.	
Unterkategorie	nur die basische Lösung führt zur Farbänderung	Hier wird ein Teilverständnis gezeigt, indem basische Lösungen als Ursachen der Farbänderung beschrieben werden.	Keine Counts.	
Unterkategorie	explizit: nur saure Lösung führt zur Farbänderung	Hier werden saure Lösungen als Ursache der Farbänderung angeführt.	Keine Counts.	
Unterkategorie	explizit: nur basische Lösung führt zur Farbänderung	Hier werden basische Lösungen als Ursache der Farbänderung angeführt.	Ändert Farbe bei Vermischung mit basischer Lösung.	S11_Indikator, Fragebogen

### **Ergebnisse der Teilanalyse 3 – „Wie gut kann die Fragestellung der Lernschachtel formuliert werden“?**

Category Name	Absolute Count
Gelingen der Wiedergabe der Fragestellung	0
Gelingen der Wiedergabe der Fragestellung in groben Zügen	26
Beobachtung	3
Definition	5
Durchführung	9
Fachbegriffe falsch geschrieben oder unpräzise verwendet	1
	44

Abbildung A.5: Counts zu „Fragebogen - „Wie gut kann die Fragestellung der Lernschachtel formuliert werden?““