



MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Inquiry-based Learning im Chemielaborunterricht – Entwicklung und Erprobung einer Lernschachtel zum Thema "Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen" für die Sekundarstufe II

verfasst von | submitted by

Dipl.-Ing. Dagmar Dietmann BEd

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

Wien | Vienna, 2025

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

Inhalt

Eidesstattliche Erklärung.....	5
Vorwort	6
1 Einleitung.....	7
2 Fachdidaktische Grundlagen	9
2.1 Inquiry und Inquiry-based Learning – Versuch einer Begriffsbestimmung	9
2.2 Ziele von Inquiry-based Learning.....	10
2.3 Strukturierung von Inquiry-based Learning	11
3 Fachliche Grundlagen	14
3.1 Polarität.....	14
3.1.1 Definition	14
3.1.2 Chemische Bindungsmodelle.....	14
3.1.3 Elektronegativität	16
3.1.4 Polarisierte kovalente Bindung, Dipolmoleküle	17
3.2 Zwischenmolekulare Wechselwirkungen	19
3.2.1 Dipol-Dipol-Wechselwirkungen	19
3.2.2 Van-der-Waals-Wechselwirkungen	20
3.2.3 Wasserstoffbrücken.....	20
3.3 Lösungen	21
3.3.1 Definition	21
3.3.2 „Ähnliches löst Ähnliches“	21
3.3.3 Lösevorgang und Löslichkeit.....	22
3.4 Fachliche Grundlagen zu Pflanzenfarbstoffen	23
3.4.1 Übersicht über die Substanzgruppen	23
3.4.2 Carotinoide	23
3.4.3 Metallporphyrine – Chlorophyll	28
3.4.4 Flavonoide	31
3.4.5 Betalaine	34

3.4.6	Chinone.....	34
4	Fachdidaktische Überlegungen zur Entwicklung einer Lerngelegenheit	35
4.1	Konzept einer Lernschachtel.....	35
4.2	Zielgruppe	36
4.3	Lehrziele	37
4.3.1	Lehrplan.....	37
4.3.2	Basiskonzept	38
4.3.3	Leitlinien	38
4.3.4	Kompetenzmodell.....	40
4.3.5	Operationalisierte Lehrziele	41
4.4	Lernendenvorstellungen	42
4.4.1	Bedingungen für den Lösevorgang.....	42
4.4.2	Löseprozess.....	43
4.5	Didaktische Strukturierung der Lernschachtel.....	44
4.5.1	Aufgabenstellungen der Lernschachtel	44
4.5.2	Gestaltung der Lernschachtel.....	48
5	Praktische Umsetzung und Evaluation	62
5.1	Erprobung im eigenen Unterricht.....	62
5.1.1	Zusammenstellung der Lernschachtel.....	62
5.1.2	Unterrichtsplanung.....	64
5.2	Qualitative Inhaltsanalyse.....	65
5.2.1	Entstehungssituation des Materials	65
5.2.2	Material	65
5.2.3	Fragestellung der Analyse.....	66
5.2.4	Festlegung des Kategoriensystems/Definition der Kategorien	67
5.2.5	Darstellung der Ergebnisse der Analyse	71
5.2.6	Interpretation der Ergebnisse.....	75
5.2.7	Zusammenfassung der Ergebnisse	80

6	Fazit und Ausblick.....	81
6.1	Wahrnehmungen bei der Erprobung.....	81
6.1.1	Schüler*innenaktivitäten.....	81
6.1.2	Material/Lernschachtel	81
6.2	Ableitung von Verbesserungen.....	82
6.2.1	Überarbeitung der Unterrichtsplanung.....	82
6.2.2	Verbesserungen Material/Lernschachtel	84
6.2.3	Zusätzliche Hilfestellungen	86
6.3	Zusammenfassung und Ausblick.....	87
7	Literatur- und Abbildungsverzeichnis.....	88
7.1	Literaturverzeichnis	88
7.2	Verzeichnis der Online-Quellen	91
7.3	Abbildungsverzeichnis	95
8	Anhang.....	97
8.1	Arbeitsheft	97
8.2	Protokollvorlagen.....	105
8.2.1	Protokollvorlage zu den Vorversuchen 1 und 2	105
8.2.2	Protokollvorlage zu Aufgaben 1 bis 3	106
8.3	Rohdaten für die qualitative Inhaltsanalyse	109
8.3.1	Rohdaten zur Hauptkategorie „Dokumentation von Beobachtungen“	109
8.3.2	Rohdaten zur Hauptkategorie „Ableiten und Dokumentation von Schlussfolgerungen“ 111	
8.3.3	Rohdaten zur Hauptkategorie „Planen und Beschreiben eines Versuches“	112
	Abstract	115

Eidesstattliche Erklärung

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

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

Wien, 2025

Dagmar Dietmann

Vorwort

Ein Korb mit farbenprächtigen Obst und Gemüse, grüne Wiesen und Wälder, bunt blühende Blumen und Sträucher – Pflanzenfarbstoffe lösen bei mir positive Gefühle aus und sind mit der Vorstellung von intakter Natur, beruhigender Landschaft und Genuss verbunden.

Als Chemikerin beschäftige ich mich oft mit Stoffen, die bei mir keine derartigen positiven Assoziationen hervorrufen. „Chemisch“ wird in der Alltagssprache auch oft mit „unnatürlich“ gleichgesetzt (Schnurr, 2022). Es ist mir ein Anliegen, meinen Schüler*innen zu vermitteln, dass sich die Auseinandersetzung mit chemischen Fragestellungen nicht auf ein mit besonderen Reagenzien ausgestattetes Chemielabor beschränkt, sondern ebenso alltägliche Stoffe und Phänomene Ausgangspunkte für spannende naturwissenschaftliche Untersuchungen sein können.

Ausschlaggebend für die Wahl der Themenstellung dieser Masterarbeit waren für mich zum einen die eigenen Beobachtungen und Erfahrungen beim Kochen und zum anderen der Enthusiasmus, mit dem meine eigenen Kinder „Experimente“ mit diversen Lebensmitteln durchführten.

Mein Dank gilt Anja Lembens für die Betreuung und Unterstützung bei der Verfassung meiner Masterarbeit und ihren kompromisslosen Einsatz für die gute wissenschaftliche Praxis.

Mein besonderer Dank gilt Brigitte Koliander für ihre kompetente Begleitung durch den gesamten Prozess des Schreibens, ihre Begeisterungsfähigkeit, die mich immer wieder angesteckt hat, und ihre unglaubliche Geduld, die es mir ermöglicht hat, dieses Projekt zu einem Abschluss zu bringen.

Ich danke meinen Kindern Elias und Anika für ihre Experimentierfreude, die für mich ein wichtiger Impuls war, mich für den Lehrberuf zu entscheiden.

Daniel, ich danke dir für die Selbstverständlichkeit, mit der du mir den Raum und die Zeit für diese Arbeit gegeben hast, die bereichernden fachlichen Gespräche und deine Ruhe und Gelassenheit.

1 Einleitung

In der PISA-Studie von 2015 wird naturwissenschaftliche Grundbildung (Scientific Literacy) als „die Fähigkeit, sich mit naturwissenschaftlichen Themen und Ideen als reflektierende[*]r Bürger[*in] auseinanderzusetzen“ (OECD, 2016, S. 56) definiert. Der Erwerb dieser Kompetenzen ist für eine erfolgreiche gesellschaftliche Partizipation und eine Weiterentwicklung der modernen Gesellschaft essenziell (Fischer, 1998). Dafür sind sowohl fachliche und methodische Kompetenzen als auch verschiedenes Wissen nötig, die im naturwissenschaftlichen Unterricht erlernt werden können.

Dazu werden folgende Kompetenzen benötigt: „Phänomene naturwissenschaftlich zu erklären, naturwissenschaftliche Forschung zu bewerten und naturwissenschaftliche Untersuchungen zu planen und Daten und Evidenz naturwissenschaftlich zu interpretieren“ (OECD, 2016, S. 56).

Ebenso soll aber auch Wissen vermittelt werden, und zwar sowohl Wissen in den Naturwissenschaften, also Fachwissen, das natürlich in der Schule nur auszugsweise vermittelt werden kann, als auch Wissen über Naturwissenschaften (Abrams et al., 2008), welches epistemisches Wissen (i.e. Verständnis über die Art und den Ursprung von naturwissenschaftlichem Wissen) und prozedurales Wissen (i.e. Wissen über Verfahren und Methoden, die für naturwissenschaftliche Forschung wesentlich sind) beinhaltet (OECD, 2016).

Die Herausforderung besteht also darin, Schüler*innen dieses Wissen und diese Kompetenzen im naturwissenschaftlichen Unterricht näherzubringen und dabei zu berücksichtigen, dass die Kompetenz von Schüler*innen auch immer ein emotionales Element enthält (OECD, 2016). So kann ihre Einstellung zu Naturwissenschaften ihr Interesse beeinflussen, ihr Engagement stützen und sie motivieren, aktiv zu werden (Osborne et al., 2003). In diesem Sinn soll das gewählte Thema – die Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen – an die Erfahrungswelt der Schüler*innen anknüpfen und die Chemie mit ihrem Alltag verbinden.

Als Unterrichtsansatz wurde für die entwickelte Lerneinheit das Inquiry-based Learning gewählt (siehe Kapitel 2): In den entwickelten Aufgaben liegt der Fokus vor allem auf dem Erwerb konkreter Fachinhalte, gleichzeitig soll aber auch das Durchführen naturwissenschaftlicher Untersuchungen geübt werden. Die Lerneinheit soll zumindest eine Aufgabe auf Level 2 des Inquiry-based Learning enthalten, bei der zwar die Fragestellung von der Lehrperson vorgegeben wird, die weiteren Aktivitäten wie Planung und Durchführung der Datenerhebung sowie Interpretation der Ergebnisse aber von Schüler*innen selbstständig ausgeführt werden (siehe ebenfalls Kapitel 2).

Dabei soll folgender Fragestellung nachgegangen werden „Wie kann eine Lernumgebung gestaltet werden, um die Löslichkeit von verschiedenen Pflanzenfarbstoffen in polaren und unpolaren Lösemitteln sowie den Zusammenhang dieser Eigenschaft mit der chemischen Struktur der Stoffe mit

Schüler*innen der Sekundarstufe II im Rahmen des Inquiry-based Learning zu erarbeiten?“

Ausgehend von einem Alltagsphänomen, der unterschiedlichen Färbung von Speisen bei der Zubereitung von Gemüse, soll das Interesse der Schüler*innen geweckt werden, im Rahmen eines Forschungsprozesses den Ursachen dieses Phänomens auf den Grund zu gehen.

Nach dem Modell der didaktischen Rekonstruktion stehen die fachliche Klärung, das Erfassen von Lernendenperspektiven und die didaktische Strukturierung miteinander in Wechselwirkung (Kattmann et al., 1997). Daher werden zunächst im Rahmen der fachlichen Klärung grundsätzliche Überlegungen zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Stoffen angestellt. Dies umfasst die Begriffe Polarität, zwischenmolekulare Wechselwirkungen sowie Lösungen. Eine Übersicht über fünf Stoffklassen von Pflanzenfarbstoffen wird gegeben und die für die Lerneinheit gewählten Vertreter werden hinsichtlich ihres Vorkommens, ihrer Funktion, ihrer chemischen Struktur und damit verbunden ihrer Löslichkeit in Wasser bzw. Speiseöl beschrieben.

Anschließend werden fachdidaktische Überlegungen zur Entwicklung der Lerngelegenheit in Form einer Lernschachtel angestellt. Die Zielgruppe und die Lehrziele werden definiert, eine literaturbasierte Zusammenstellung der Lernendenvorstellungen zur Löslichkeit wird gegeben. Für die didaktische Strukturierung der Lerngelegenheit werden die zu bearbeitenden Fragestellungen definiert und die Materialien und Unterlagen, die in der Lernschachtel enthalten sein sollen, festgelegt.

Die physischen Lernschachteln werden erstellt und im eigenen Unterricht erprobt. Eine Analyse des erhobenen Datenmaterials aus den gesammelten Protokollen der Schüler*innen wird in Anlehnung an die Methode der qualitativen Analyse in Form einer inhaltlichen Strukturierung (Mayring, 2015) durchgeführt, um die entwickelte Lernschachtel samt Materialien und Aufgabenstellungen zu evaluieren.

Die Erfahrungen und Ergebnisse werden abschließend zusammengefasst, mögliche und sinnvolle Verbesserungsvorschläge werden aus der Evaluation abgeleitet und in die Lernschachtel eingearbeitet. Zuletzt wird ein Ausblick auf die mögliche Weiterentwicklung der Lernschachtel gegeben.

2 Fachdidaktische Grundlagen

Im folgenden Kapitel wird der Unterrichtsansatz des Inquiry-based Learnings erläutert, der der entwickelten Lerngelegenheit zugrunde liegt.

2.1 Inquiry und Inquiry-based Learning – Versuch einer Begriffsbestimmung

John Dewey, auf den immer wieder in der Literatur zu Inquiry verwiesen wird, definiert den Begriff folgendermaßen:

„Inquiry is the controlled or directed transformation of an indeterminate situation into one that is as determinate in its constituent distinctions and relations as to convert the elements of the original situation into a unified whole.“ (Dewey, 1938, S. 104)

Damit stellt er Inquiry als einen Prozess dar, der von einer unbestimmten, unsicheren Situation zu einer geklärten, verständlichen Situation führt, in der einzelne Elemente zu einem sinnvollen Ganzen zusammengefügt werden. Diese Definition von Inquiry als ein kontrollierter oder geführter Prozess ist also eine allgemeine, nicht allein für den Schulkontext gültige.

Unter Inquiry-based Learning versteht man allgemein Unterrichtsansätze, die die Schüler*innen zum Erwerb kritischer Denkfähigkeiten anregen: dies umfasst das Stellen von Fragen, das Planen und Durchführen von naturwissenschaftlichen Untersuchungen, das Dokumentieren und Interpretieren von Daten, das Formulieren von Argumenten, das Erstellen von Modellen und das Kommunizieren der Ergebnisse im Streben nach einer Vertiefung ihres Verstehens Verständnisses der Welt durch den Einsatz von Logik und wissenschaftlichen Beweisen (Crawford, 2014). Damit steht das Inquiry-based Learning in der Tradition einer Verschiebung vom lehrer*innenzentrierten Unterricht zum schüler*innenzentrierten Lernen (Mieg, 2019).

2.2 Ziele von Inquiry-based Learning

In einer Handreichung des National Research Council (NRC) der USA werden Ziele für Inquiry im naturwissenschaftlichen Unterricht definiert (National Research Council, 2000), die Abrams et al. folgendermaßen zusammenfasst (Abrams et al., 2008):

1. Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen reflektieren (Learn about Inquiry)
Schüler*innen sollen lernen, wie Wissenschaftler*innen durch den investigativen Prozess, die wissenschaftlichen Methoden der Erkenntnisgewinnung, Fragen beantworten und Problemstellungen lösen können. Dabei soll den Schüler*innen bewusstwerden, dass dieser Prozess nicht nur für Wissenschaftler*innen anwendbar, sondern auch zum Lösen ihrer eigenen Fragestellungen geeignet ist.
2. Naturwissenschaftliche Untersuchungen durchführen (Learn to Inquire)
Schüler*innen sollen selbst Aktivitäten im Kontext von Inquiry durchführen und nicht nur darüber lesen oder sprechen. Diese Aktivitäten, wie Beobachtungen machen, Fragen stellen, Informationen sammeln, Untersuchungen planen, Daten erheben, analysieren und interpretieren, Antworten formulieren und Ergebnisse kommunizieren und diskutieren, sollen Schüler*innen zum wissenschaftlichen Arbeiten ermächtigen und letzten Endes auch, wie von Bruner gefordert, mehr Absolventen zur Berufswahl als Wissenschaftler*innen bringen (Bruner, 1961).
3. Fachwissen erwerben (Learn Scientific Content)
Inquiry-based Learning kann im Sinne einer konstruktivistischen Lerntheorie auch zum Ziel haben, bestimmte Lerninhalte auf diese Weise zu lernen. So untermauert eine Studie von Bransford und Kolleg*innen die Annahme, dass eine induktive Unterrichtsweise, bei der Schüler*innen in die Konstruktion der Erklärungen aktiv eingebunden sind, zu bedeutungsvollerem, besser abrufbarem und anwendbarem Wissen führt (Bransford et al., 1999). Allerdings sind die empirischen Befunde hinsichtlich eines besseren Abschneidens bei Leistungsüberprüfungen nicht schlüssig, da bei den Studien oft nicht angegeben wurde, was die Lehrziele waren und wie genau die Lerngelegenheiten strukturiert waren (Blanchard et al., 2010). Die Effektivität von Inquiry als pädagogischer Ansatz sollte daher noch breiter untersucht werden (Abrams et al., 2008).

In der vorgelegten Arbeit soll der Fokus vor allem auf dem dritten Ziel des Inquiry-based Learning, also dem Erwerb konkreter Fachinhalte, liegen. Das fundamentale Prinzip des Zusammenhangs zwischen chemischer Struktur von Stoffen und ihren Eigenschaften wird anhand eines alltagsnahen Beispiels, der unterschiedlichen Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen in polaren und unpolaren Lösemitteln, von den Schüler*innen untersucht. Gleichzeitig soll damit aber auch entsprechend dem zweiten Ziel das Durchführen naturwissenschaftlicher Untersuchungen geübt werden.

2.3 Strukturierung von Inquiry-based Learning

Um Inquiry-based Learning im Unterricht umsetzen zu können, bedarf es nicht nur einer Festlegung der im vorangegangenen Kapitel erläuterten Ziele, sondern auch einer Strukturierung der Vorgehensweise.

Eine Möglichkeit zur Strukturierung des Unterrichts ist die Orientierung an Forschungsnetzen, in denen die Schritte zur Erkenntnisgewinnung miteinander verknüpft werden (Koliander, 2020). Dabei ist die Abfolge der Schritte nicht wie bei einem hierarchischen Ablauf oder einem Zyklus nur in eine Richtung und in einer bestimmten Reihenfolge, sondern wie bei realen Forschungsprozessen in beide Richtungen und zwischen verschiedenen Schritten möglich. In folgender Abbildung ist ein derartiges Forschungsnetz dargestellt:

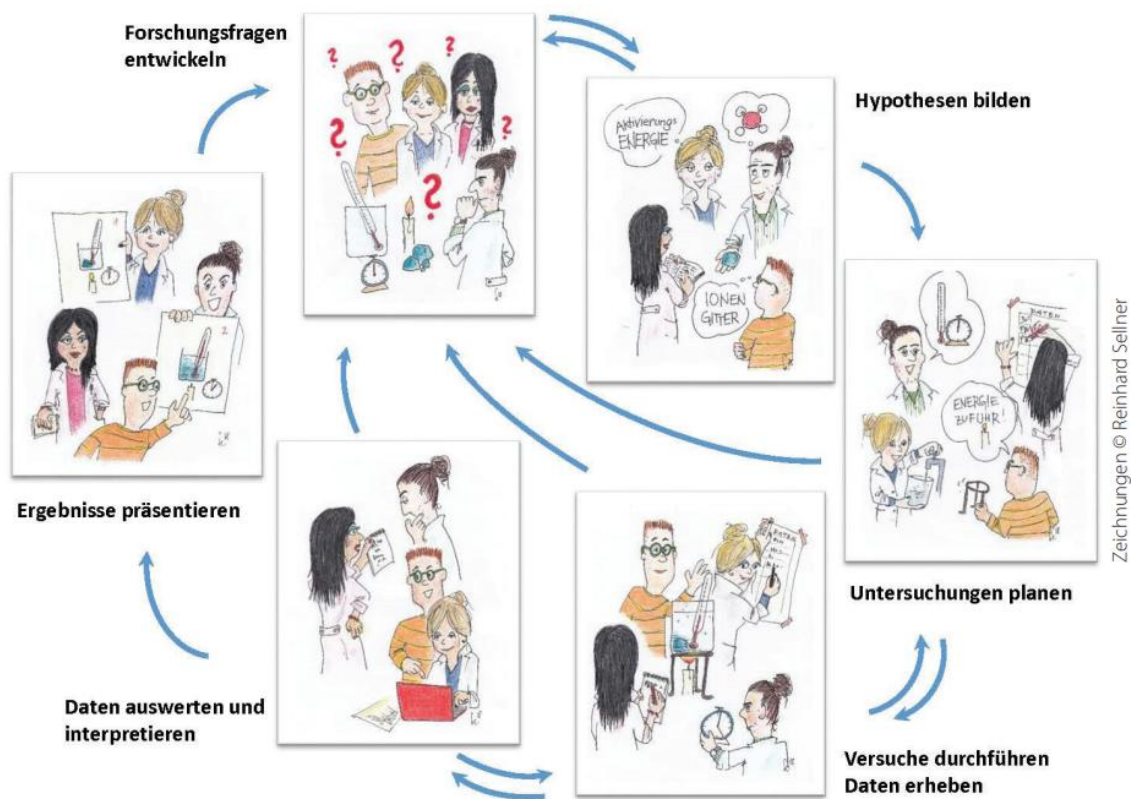


Abbildung 1: Forschungsnetz (Steininger & Koliander, 2018)

Aus diesem komplexen Netz eignen sich besonders folgende Schritte für die Umsetzung von Inquiry-based Learning (Koliander, 2020):

- eine Forschungsfrage entwickeln, der durch naturwissenschaftliche Untersuchungen nachgegangen werden kann
- eine geeignete Untersuchung zur Beantwortung der Frage planen und durchführen
- erhobene Daten und beobachtete Phänomene interpretieren

Ein möglicher Ansatz ist dabei, verschiedene Abstufungen der Aufteilung von lehrer*innen- und schüler*innengesteuerten Aktivitäten vorzunehmen (Schwab, 1962). Schwab geht dabei von drei wesentlichen Aktivitäten beim Inquiry-based Learning aus: Fragen stellen, Daten erheben und Ergebnisse interpretieren. In einer Tabelle fasst er die Verteilung dieser Aktivitäten auf Lehrer*innen und Schüler*innen zusammen und kreiert somit vier Abstufungen, Levels 0 bis 3, mit denen unterschiedliche Anforderungen an die Schüler*innen gestellt werden (siehe Tabelle 1).

Level	Fragen stellen	Daten erheben	Ergebnisse interpretieren
Level 0	Lehrer*in	Lehrer*in	Lehrer*in
Level 1	Lehrer*in	Lehrer*in	Schüler*in
Level 2	Lehrer*in	Schüler*in	Schüler*in
Level 3	Schüler*in	Schüler*in	Schüler*in

Tabelle 1: Schwabs Levels der Inquiry (Schwab, 1962)

Während bei Level 0 alle Aktivitäten von der Lehrperson vorgegeben werden, die Schüler*innen also diese stark angeleitet durchführen, wird das Ausmaß der von Schüler*innen eigenständig durchgeführten Aktivitäten schrittweise erweitert. Somit verändern sich auch mit dem jeweiligen Level die Aufgaben der Schüler*innen: Bei Level 1 werden nur die Ergebnisse von Schüler*innen interpretiert, bei Level 2 übernehmen die Schüler*innen auch die Datenerhebung, bis sie in Level 3 alle Aktivitäten des Inquiry-based Learning selbstständig planen und durchführen.

Eine ähnliche Strukturierung schlägt auch Colburn vor (2000): Level 0 entspricht „structured inquiry“, die Fragestellung und die Methoden zur Datenerhebung werden von der Lehrperson vorgegeben, sie führt die Schüler*innen zur erwarteten Interpretation der Ergebnisse. Level 1 und 2 werden bei Colburn als „guided inquiry“ bezeichnet, bei diesem Ansatz werden die Aktivitäten schrittweise von den Lehrpersonen an die Schüler*innen abgegeben, die Vorgabe der Fragestellung bleibt aber der Lehrperson vorbehalten. Wenn auch diese letzte Aktivität von Schüler*innen übernommen wird, spricht Colburn von „open inquiry“ und deckt damit Schwabs Level 3 ab.

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Lerngelegenheit soll zumindest eine Aufgabe enthalten, die Level 2 entspricht: Allein die Fragestellung wird von der Lehrperson vorgegeben, die weiteren Aktivitäten wie Planung und Durchführung der Datenerhebung sowie Interpretation der Ergebnisse werden von Schüler*innen selbstständig ausgeführt. Das soll den Schüler*innen im Sinne des Zieles „Learn to Inquire“ ermöglichen, diese für den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn wesentlichen Aktivitäten zu üben.

Bei Lerngelegenheiten, denen der Ansatz des Inquiry-based Learning zugrunde liegt, müssen die Lernenden auf Wissen und Kompetenzen aus dem konzeptuellen, prozeduralen und epistemischen Bereich zugreifen (Abrams et al., 2008). Um eine Überforderung zu vermeiden, bedarf es einer

umfangreichen Lernbegleitung durch die Lehrperson, die durch die Anwendung von sogenannten Scaffolding-Maßnahmen umgesetzt werden kann (Hofer, 2020). Darunter versteht man Maßnahmen, die es den Lernenden ermöglichen, Aufgabenstellungen zu bearbeiten, die ohne diese Unterstützung (scaffolding engl. für Gerüst, Baugerüst) für sie nicht bewältigbar wären (Hammond & Gibbons, 2005). Dabei wird zwischen Makro-Scaffolding und Mikro-Scaffolding unterschieden: Ersteres bezeichnet Maßnahmen zur Lernbegleitung, die im Rahmen der Unterrichtsplanung vorbereitet und erstellt werden, wie Anschauungsmaterial, Versuchsmaterial, Anleitungen, Leitfragen, Dokumentationshilfen, Hinweiskärtchen etc., letzteres meint Unterstützungsmaßnahmen, die in der Unterrichtssituation spontan umgesetzt werden müssen, wie Paraphrasieren von Lernendenaussagen, aktives Zuhören, Stellen offener Fragen, Einbetten von Aussagen in Kontexte (Hofer, 2020).

Inquiry-based Learning kann ein geeigneter Ansatz für Lehren und Lernen in heterogenen Schüler*innengruppen sein, da die Ausgestaltung der Scaffolding-Maßnahmen das Eingehen auf unterschiedliche Lernvoraussetzungen von Schüler*innen erlaubt (Koliander, 2020).

Zur Umsetzung der geforderten umfangreichen Lernbegleitung wird im Rahmen dieser Arbeit eine Lerngelegenheit in Form einer sogenannten Lernschachtel entwickelt (nähere Ausführungen dazu siehe Kapitel 4.1.).

3 Fachliche Grundlagen

In diesem Kapitel werden grundsätzliche Überlegungen zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Stoffen angestellt: Die Begriffe Polarität, zwischenmolekulare Wechselwirkungen sowie Lösungen werden erläutert, eine Übersicht über fünf Stoffklassen von Pflanzenfarbstoffen wird gegeben und die für die Lerneinheit gewählten Vertreter werden hinsichtlich ihres Vorkommens, ihrer Funktion, ihrer chemischen Struktur und damit verbunden ihrer Löslichkeit in Wasser bzw. Speiseöl beschrieben.

Nach dem Konzept der didaktischen Rekonstruktion ist die Klärung der fachlichen Grundlagen eine der drei Säulen für die Entwicklung von Lerngelegenheiten (Kattmann et al., 1997).

3.1 Polarität

3.1.1 Definition

Polar ist ein von griechisch polos = Drehpunkt, Achse, abgeleitetes Adjektiv mit der Bedeutung: „an den Polen befindlich, entgegengesetzt wirkend“ (Bühl & Frenking, 2008). Polarität kann ganz allgemein als Asymmetrie entlang einer Raumachse definiert werden. Diese wird entweder durch eine unterschiedliche Stoffkonzentration oder durch die entgegengesetzte Anordnung von Struktureigenschaften zwischen den beiden Polen eines Systems verursacht. Während die morphologische Polarität auf Zell- oder Organebene bei der Entwicklung und Differenzierung von Organismen eine wichtige Rolle spielt, beruht die molekulare Polarität auf einer unterschiedlichen Ladungsverteilung innerhalb eines Moleküls (Lexikon der Biologie, zuletzt abgerufen 05.07.2024).

3.1.2 Chemische Bindungsmodelle

Mit chemischen Bindungsmodellen – Ionenbindung, kovalente Bindung und Metallbindung – versuchen wir zu erklären, wie Atome und Ionen zusammenhalten und dadurch Moleküle und andere Strukturen bilden. In einem nächsten Schritt werden mithilfe dieser Modelle die makroskopischen Eigenschaften von Stoffen anhand ihrer Strukturen auf der submikroskopischen Ebene erklärt. Im Folgenden werden die Modelle der Ionenbindung und der kovalenten Bindung beschrieben, zwischen denen es keine scharfe Grenze gibt, sondern die vielmehr Extrempunkte eines Kontinuums darstellen. Polariserte Bindungen sind Übergangsformen zwischen diesen beiden Bindungsmodellen (Huheey et al., 2014).

3.1.2.1 Ionenbindung

Atome der Hauptgruppenelemente können durch Elektronenaufnahme oder -abgabe Ionen bilden, die mit Edelgas-Atomen isoelektronisch sind und somit einen energetisch günstigeren Zustand erreichen. Reagieren Metall-Atome mit Nichtmetall-Atomen, nehmen die Nichtmetall-Atome die Elektronen auf, die von den Metall-Atomen abgegeben werden. Dadurch entstehen Ionen, geladene

Teilchen. Sie bilden Ionengitter, in denen Kationen und Anionen durch die gegenseitige elektrostatische Anziehung in einer Kristallstruktur miteinander verbunden sind (Mortimer & Müller, 2020).

Als klassisches Beispiel für einen Stoff mit Ionenbindung kann Natriumchlorid, also Kochsalz, genannt werden. Einfach positiv geladene Natrium-Ionen und einfach negativ geladene Chlorid-Ionen sind in einem kubisch-flächenzentrierten Gitter angeordnet. Der Kristall ist insgesamt elektrisch neutral. Die chemische Formel des Stoffes wird mit der Verhältnisformel NaCl, die dem einfachsten Verhältnis der beiden Ionen entspricht, angegeben.

3.1.2.2 Kovalente Bindung

Bei der Reaktion zwischen Nichtmetall-Atomen findet keine Elektronenübertragung statt, da es für keinen Reaktionspartner vorteilhaft ist, Elektronen abzugeben. Es kommt also zu keiner Ionenbildung, sondern zu einer gemeinsamen Nutzung von Valenzelektronen (daher die Bezeichnung „co-valent“), um den energetisch günstigeren Zustand zu erreichen. Eine einfache kovalente Bindung besteht aus einem Elektronenpaar, das beiden Atomen angehört, daher wird dieses Bindungsmodell auch Elektronenpaarbindung genannt (Mortimer & Müller, 2020). Dadurch wird wiederum der isoelektronische Zustand von Edelgas-Atomen erreicht.

Eine einfache Darstellungsart kovalenter Bindungen ist mit der Lewis-Schreibweise (Lewis, 1916) möglich. Dazu werden zunächst die vorhandenen Valenzelektronen als Punkte rund um das Atomsymbol angeordnet. Gehen zwei Atome eine kovalente Bindung ein, werden die zwei beteiligten Valenzelektronen, die ein gemeinsames Elektronenpaar bilden, durch einen Bindungsstrich zwischen den zwei Atomsymbolen ersetzt. Die nicht an der Bindung beteiligten Valenzelektronen werden – ebenfalls jeweils als Paare – durch Striche neben das Atomsymbol gestellt (siehe Abbildung 2).

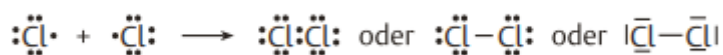


Abbildung 2: Beispiel für die Darstellung einer kovalenten Bindung mit der Lewis-Schreibweise (Mortimer & Müller, 2020, S. 118)

3.1.2.3 Übergangszustände zwischen Ionenbindung und kovalenter Bindung

In vielen Fällen kann man weder von einer reinen Ionenbindung noch von einer ausschließlich kovalenten Bindung sprechen, vielmehr handelt es sich um Übergangszustände zwischen beiden Bindungsmodellen (Mortimer & Müller, 2020).

Betrachtet man die Übergangszustände ausgehend vom Modell der Ionenbindung, so kann nach den Regeln von Fajans ein kleines, stark geladenes Kation die Elektronenhülle eines großen, schwach geladenen Anions verzerren, also polarisieren (Fajans, 1923). Im Extremfall ist die Polarisierung so

groß, dass eine kovalente Bindung entsteht. Das Ausmaß der Verzerrung und damit der Polarisierung hängt also jeweils von der Größe und Ladung der beteiligten Ionen ab (Huheey et al., 2014).

Ebenso ist es möglich, die Übergangszustände ausgehend vom Modell der kovalenten Bindung zu betrachten. Eine völlig unpolare kovalente Bindung kann nur zwischen Atomen desselben Elements bestehen. Teilen sich jedoch Atome verschiedener Elemente ein Elektronenpaar, ist die Elektronenladung nie gleichmäßig über beide Atomkerne verteilt, da die Elektronen von einem Atom stärker angezogen werden (siehe Kapitel 3.1.3 Elektronegativität). Es kommt – durch die unterschiedliche Elektronegativität der Atome verschiedener Elemente – zu einer Polarisierung, das heißt, zu einer höheren Elektronendichte auf der Seite eines Atoms und zu einer niedrigeren Elektronendichte auf der Seite des anderen Atoms (Mortimer & Müller, 2020). Diese ungleiche Verteilung der Ladungen wird mit dem Begriff der Partialladungen durch die Symbole δ^- und δ^+ dargestellt.

3.1.3 Elektronegativität

Die Fähigkeit eines Atoms, das bindende Elektronenpaar stärker an sich heranzuziehen als der Bindungspartner, ist also der Grund für die Polarisierung kovalenter Bindungen. Als Maß für diese Fähigkeit wird die Elektronegativität als Stoffeigenschaft der Elemente definiert. Sie ist eine physikalisch nicht exakte, willkürlich festgelegte Größe ohne Einheit, die nicht direkt gemessen werden kann (Mortimer & Müller, 2020). Ihre Werte liegen zwischen 0,8 für Cäsium mit der niedrigsten Elektronegativität und 4,0 für Fluor mit der höchsten Elektronegativität.

Es sei noch erwähnt, dass die Definition von Linus Pauling, „Elektronegativität ist ein Maß für die Stärke eines Atoms in einem Molekül, Elektronen an sich zu ziehen“ (Pauling, 1968), berücksichtigt, dass die Elektronegativität eines Atoms immer auch von seiner Umgebung, also dem Bindungspartner, abhängig ist, und daher die allgemeine Zuordnung als Eigenschaft von Atomen eines Elements eine – wenn auch zulässige – Vereinfachung ist (Huheey et al., 2014).

In der folgenden Tabelle sind die Elektronegativitätswerte von Atomen ausgewählter Elemente nach der Pauling-Skala, die mit Hilfe der Bindungsenergien berechnet wurden (Pauling, 1968), dargestellt. Alternative Berechnungsmethoden, wie zum Beispiel nach Allred/Rochow basierend auf elektrostatischer Anziehung oder nach Mulliken basierend auf Ionisierungsenergie bzw. Elektronenaffinität, kommen zu vergleichbaren Werten (Mortimer & Müller, 2020).

Element	Elektronegativität
Cs	0,8
Na	0,9
Li	1,0
Mg	1,3
H	2,2
P	2,2
C	2,6
S	2,6
N	3,0
Cl	3,2
O	3,4
F	4,0

Tabelle 2: Elektronegativitätswerte ausgewählter Elemente nach der Pauling-Skala (Pauling, 1968)

Die fett gedruckten Werte in der Tabelle sollen veranschaulichen, wie die Elektronegativitätsunterschiede zwischen den Atomen der Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, die in einem organischen Molekül durch kovalente Bindungen miteinander verbunden sind, eine Polarisierung des Moleküls verursachen können.

Vor allem stark elektronegative Sauerstoff-Atome (mit der nach Fluor zweithöchsten Elektronegativität von 3,4) können mit den nur mittelstark elektronegativen Kohlenstoff-Atomen (mit 2,6) und Wasserstoff-Atomen (mit 2,2) polarisierte kovalente Bindungen eingehen. Eine Bindung zwischen einem Kohlenstoff-Atom und einem Wasserstoff-Atom ist aufgrund des geringen Elektronegativitätsunterschieds von 0,4 hingegen kaum polarisiert.

3.1.4 Polarisierte kovalente Bindung, Dipolmoleküle

Geht man von einem einfach gebauten zweiatomigen Molekül der allgemeinen Form AB aus, bei dem die beteiligten Atome durch eine polarisierte kovalente Bindung verbunden sind, wird das Molekül durch die Ladungsverschiebung zu einem sogenannten Dipol, einem Objekt, das zwei entgegengesetzte formale Ladungen gleichen Betrags z in einem Abstand d trägt. Als Maß für die Stärke des Dipols kann das Dipolmoment $\mu = z \cdot d$ (mit der Einheit C·m) berechnet werden, dieses wird mathematisch als Vektor aufgefasst, hat also einen Betrag und eine Richtung (Mortimer & Müller, 2020).

Für Moleküle mit mehreren polarisierten kovalenten Bindungen wird das Gesamtdipolmoment durch vektorielle Addition der Dipolmomente der einzelnen Bindungen berechnet (Ensinger, 2006). Je nach Molekülgeometrie kann dabei trotz des Vorliegens von stark polarisierten kovalenten Bindungen

durch gegenseitiges Aufheben der Dipolmomente das Gesamtdipolmoment 0 betragen, das Molekül ist damit kein Dipol-Molekül (Mortimer & Müller, 2020).

3.1.4.1 Das Wasser-Molekül als Beispiel für ein Dipol-Molekül

Nach dem VSEPR-Modell (valence shell electron pair repulsion model) wird der maximale Abstand und damit die energetisch günstigste Anordnung der vier Valenzelektronenpaare (zwei davon bindend, zwei weitere nicht-bindend) im Wasser-Molekül durch eine tetraedrische Molekülgeometrie erreicht (Huheey et al., 2014).

Die beiden Bindungen zwischen den Wasserstoff-Atomen und dem Sauerstoff-Atom sind durch den Elektronegativitätsunterschied stark polarisiert, die Elektronendichte ist dadurch am Sauerstoff-Atom höher. Dadurch, sowie durch die zusätzliche Polarisierung durch die beiden nicht-bindenden Elektronenpaare, entsteht ein Gesamt-Dipolmoment von $\mu = 6,18 \cdot 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$. Das negative Ende des Dipols (δ^-) befindet sich am Sauerstoff-Atom, das positive Ende (δ^+) im Mittelpunkt zwischen den beiden Wasserstoff-Atomen (Mortimer & Müller, 2020).

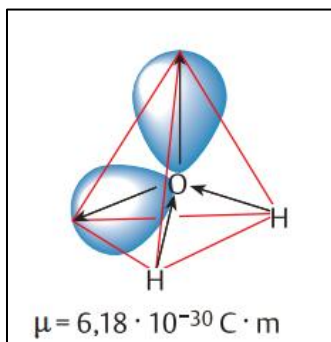


Abbildung 3: Polarität des Wassermoleküls (Mortimer & Müller, 2020, S. 172)

Die aus diesem strukturellen Aufbau resultierenden starken zwischenmolekularen Wechselwirkungen (siehe Kapitel 3.2) erklären sowohl den flüssigen Aggregatzustand von Wasser bei Raumtemperatur als auch die besonderen Löseeigenschaften.

3.1.4.2 Das Methan-Molekül als Beispiel für ein Nicht-Dipol-Molekül

Für das Methan-Molekül, CH_4 , trifft zunächst in ähnlicher Weise wie für das Wasser-Molekül eine tetraedrische Molekülgeometrie zu. Da sich aber die einzelnen Dipolmomente der vier C-H-Bindungen zu einem Gesamt-Dipolmoment von 0 $\text{C} \cdot \text{m}$ addieren, ist das Methan-Molekül kein Dipol-Molekül, es ist unpolar (Mortimer & Müller, 2020).

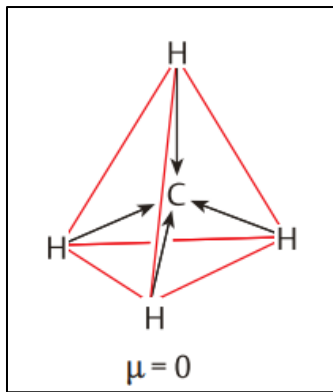


Abbildung 4: Polarität des Methanmoleküls (Mortimer & Müller, 2020, S. 172)

Auch in diesem Fall lässt sich somit aus der Molekül-Struktur und den daraus resultierenden schwachen zwischenmolekularen Wechselwirkungen (siehe Kapitel 3.2) der gasförmige Zustand des Stoffes Methan bei Raumtemperatur erklären.

3.2 Zwischenmolekulare Wechselwirkungen

Wie im vorangegangenen Kapitel erläutert, führen die molekularen Strukturen zur Ausprägung unterschiedlicher zwischenmolekularer Wechselwirkungen, die zu unterschiedlichen Stoffeigenschaften führen. Im Folgenden werden diese zwischenmolekularen Wechselwirkungen erläutert.

3.2.1 Dipol-Dipol-Wechselwirkungen

Zwischen polaren Molekülen bilden sich in Feststoffen oder Flüssigkeiten sogenannte Dipol-Dipol-Wechselwirkungen aus. Sie werden durch die elektrostatische Wechselwirkung zwischen den negativen und positiven Polen der Dipole hervorgerufen. Die Dipol-Moleküle ordnen sich dabei jeweils so an, dass der negative Pol eines Moleküls zum positiven Pol eines anderen Moleküls gerichtet ist (Mortimer & Müller, 2020).

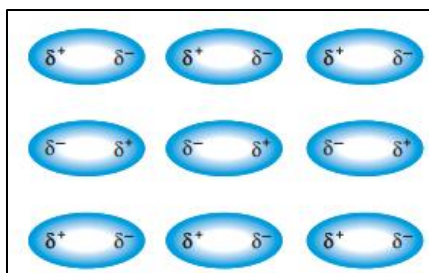


Abbildung 5: Ausrichtung polarer Moleküle in einem Kristall (Mortimer & Müller, 2020, S. 172)

Die dadurch entstehenden zwischenmolekularen Wechselwirkungen sind je nach Ausprägung der Dipol-Momente relativ stark. Zwischen Wasser-Molekülen, die ein vergleichsweise hohes Dipol-Moment aufweisen, sind daher die Dipol-Dipol-Wechselwirkungen besonders stark.

3.2.2 Van-der-Waals-Wechselwirkungen

Auch zwischen unpolaren Molekülen existieren Wechselwirkungen. Diese Wechselwirkungen wurden 1873 von Johannes van der Waals postuliert und werden daher als Van-der-Waals-Wechselwirkungen bezeichnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass durch die Bewegung der Elektronen eine momentane Verformung der Elektronenwolke des Moleküls auftritt. Dadurch entsteht ein momentaner Dipol, dessen Orientierung sich allerdings sehr schnell ändert. Solcherart fluktuierende momentane Dipole induzieren in benachbarten Molekülen ähnliche Dipole, es kommt zu einer – wenn auch schwachen – Anziehungskraft zwischen den momentanen Dipolen benachbarter Moleküle (Mortimer & Müller, 2020).

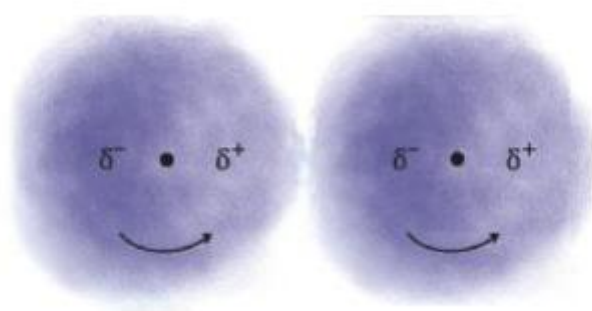


Abbildung 6: Momentane, fluktuierende Dipole benachbarter Teilchen (Mortimer & Müller, 2020, S. 173)

Bei sehr großen Molekülen mit ausgedehnten, leicht polarisierbaren Elektronenwolken sind die Van-der-Waals-Wechselwirkungen am stärksten ausgeprägt. So lässt sich erklären, warum bei den Kohlenwasserstoffverbindungen aus der homologen Reihe der Alkane die Schmelz- und Siedepunkte mit zunehmender Molekülgröße und daher stärkeren Van-der-Waals-Wechselwirkungen steigen.

Name	Summenformel	Schmelzpunkt [°C]	Siedepunkt [°C]	Zustand bei Normalbedingungen
Methan	CH ₄	-182,6	-161,7	gasförmig
Ethan	C ₂ H ₆	-172,0	-88,6	gasförmig
Propan	C ₃ H ₈	-187,1	-42,2	gasförmig
n-Butan	C ₄ H ₁₀	-135,0	-0,5	gasförmig
n-Pentan	C ₅ H ₁₂	-129,7	36,1	flüssig
n-Hexan	C ₆ H ₁₄	-94,0	68,7	flüssig

Tabelle 3: Schmelz- und Siedepunkte von Alkanen (Fox & Whitesell, 1995, S. 29)

3.2.3 Wasserstoffbrücken

In manchen Verbindungen, die Wasserstoff-Atome enthalten, können besonders starke zwischenmolekulare Wechselwirkungen durch die Ausbildung von Wasserstoffbrücken auftreten.

Dabei sind Wasserstoff-Atome an kleine, sehr stark elektronegative Atome (z.B. Sauerstoff-Atome, Fluor-Atome, Stickstoff-Atome) gebunden. Durch die starke Anziehung des bindenden Elektronenpaars zum elektronegativen Bindungspartner wird eine starke positive Partialladung am Wasserstoff-Atom erzeugt. Dieser positive Dipol wird nun von nicht-bindenden Elektronenpaaren am elektronegativen Atom eines anderen Moleküls durch elektrostatische Wechselwirkung angezogen, es entsteht eine Wasserstoffbrücke, die in der Lewis-Schreibweise durch punktierte Linien verdeutlicht wird (siehe Abbildung 7).

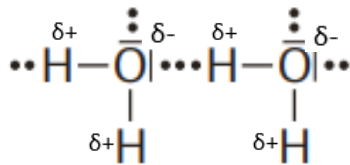


Abbildung 7: Wasserstoffbrücken zwischen Wasser-Molekülen (Mortimer & Müller, 2020, S. 174)

Wasserstoffbrücken sind mit für hohe Schmelz- und Siedetemperaturen von Stoffen verantwortlich, verursachen die Dichte-Anomalie des Wassers und sind von zentraler Bedeutung für die dreidimensionale Struktur von Proteinen und DNA (Mortimer & Müller, 2020).

3.3 Lösungen

Die Polarität von Molekülen und die daraus resultierenden zwischenmolekularen Wechselwirkungen beeinflussen die Eigenschaften der Stoffe als Lösemittel bzw. als gelöste Stoffe. Da es in der entwickelten Lerngelegenheit um die Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen in polaren und unpolaren Lösemitteln geht, werden in diesem Kapitel Lösungen definiert

3.3.1 Definition

Im weitesten Sinn versteht man in der Chemie unter einer Lösung ein homogenes Stoffgemisch aus verschiedenen Reinstoffen (RÖMPP-Redaktion, 2002c). Für meine Betrachtungen ist aber eine enger gefasste Definition sinnvoll, nach der Lösungen flüssige Gemische von zwei oder mehreren Stoffen sind, wobei das Lösemittel (Solvens) die Komponente mit dem größeren Mengenanteil ist und die übrigen Komponenten die gelösten Stoffe sind (Mortimer & Müller, 2020).

3.3.2 „Ähnliches löst Ähnliches“

Mit der vereinfachenden Regel „Ähnliches löst Ähnliches“ kann das Verhalten von polaren und unpolaren Stoffen in polaren und unpolaren Lösemitteln beschrieben werden (Mortimer & Müller, 2020). Polare Stoffe lösen sich gut in polaren Lösemitteln (z.B. Natriumchlorid in Wasser), unpolare Stoffe lösen sich gut in unpolaren Lösemitteln (z.B. Iod in Hexan).

Bei Lösungen von polaren Stoffen in polaren Lösemitteln werden die Moleküle durch Dipol-Dipol-Wechselwirkungen zusammengehalten, ebenso kann der Zusammenhalt durch Wasserstoffbrücken

verursacht werden. Bei unpolaren Stoffen werden die Wechselwirkungen zwischen Molekülen des gelösten Stoffes und des Lösemittels durch Van-der-Waals-Wechselwirkungen vermittelt.

3.3.3 Lösevorgang und Löslichkeit

Der Lösevorgang ist ein physikalischer Prozess, es finden dabei keine chemischen Reaktionen statt (Latscha et al., 2011). Durch physikalische Trennmethoden (z.B. Abdampfen) können die Komponenten einer Lösung wieder voneinander getrennt werden.

Die Anlagerung der Lösemittelteilchen an die Teilchen des zu lösenden Stoffes (Moleküle, Atome, Ionen, Radikale etc.) wird als Solvation bezeichnet, die dabei entstehenden Komplexe werden als Solvate bezeichnet (RÖMPP-Redaktion et al., 2002). Dient Wasser als Lösemittel spricht man von Hydratation bzw. Hydraten.

Eine Lösung entsteht nur dann, wenn die Wechselwirkungen, die sich zwischen den Lösemittelteilchen und den Teilchen des zu lösenden Stoffes ausbilden, stärker sind, als die Wechselwirkungen zwischen den Teilchen des zu lösenden Stoffes. Legt man also einen Salzkristall in Speiseöl, entsteht keine Lösung, die Wechselwirkungen zwischen den Ionen des Salzes und den Speiseöl-Molekülen sind zu gering, um die starken Anziehungskräfte zwischen den Ionen zu überwinden und die Ionen aus dem Salzkristall zu lösen.

Die Löslichkeit eines Stoffes gibt an, wie viel eines Stoffes sich in einem Lösemittel löst. Sie muss auf experimentelle Weise ermittelt werden und ist neben dem gelösten Stoff und dem Lösemittel auch von Temperatur und Druck abhängig.

Die Löslichkeit kann auf unterschiedliche Weise angegeben werden (Mortimer & Müller, 2020):

- als Massenanteil $w(A)$ (Massenbruch)
 $w(A) = \text{Masse des gelösten Stoffes } A \ m(A) / \text{Masse der Lösung } m(\text{Lösung})$
Wird der Massenanteil mit 100 multipliziert erhält man Massenprozent
- Als Stoffmengenanteil $x(A)$ (Molenbruch)
 $x(A) = \text{Stoffmenge des gelösten Stoffes } n(A) / \text{Summe der gesamten Stoffmenge } n(A) + n(B) + \dots$
- Als Stoffmengenkonzentration $c(A)$ (molare Konzentration)
 $c(A) = \text{Stoffmenge des gelösten Stoffes } n(A) / \text{Volumen der Lösung}$
Als Einheit wird üblicherweise mol/L verwendet
- Als Molalität b
 $b = \text{Stoffmenge des gelösten Stoffes } n(A) / \text{Masse des Lösemittels } m(\text{Lösemittel})$
Als Einheit wird üblicherweise mol/kg verwendet

Da es sich bei Lösungen um homogene Gemische handelt, können die einzelnen Komponenten nicht optisch voneinander unterschieden werden. Es kann also nicht von der äußeren Beschaffenheit der Lösung auf die Konzentration des gelösten Stoffes geschlossen werden.

Handelt es sich jedoch bei den gelösten Stoffen um farbige Stoffe Farbstoffe, kann durch die Intensität der Färbung der Lösung eine vergleichende semi-quantitative Bestimmung mittels optischer Betrachtung vorgenommen werden.

3.4 Fachliche Grundlagen zu Pflanzenfarbstoffen

3.4.1 Übersicht über die Substanzgruppen

Pflanzenfarbstoffe können nach ihrem Vorkommen in Blütenfarbstoffe, Blattfarbstoffe, Fruchtfarbstoffe und Farbstoffe der Kernhölzer und Wurzeln eingeteilt werden (RÖMPP-Redaktion, 2002d).

Für die geplante Lerngelegenheit, in der der Zusammenhang der chemischen Struktur von Pflanzenfarbstoffen mit ihrer Polarität und damit ihrer unterschiedlichen Löslichkeit in polaren und unpolaren Lösemitteln erforscht werden soll, ist aber eine Einteilung nach ihrer chemischen Grundstruktur sinnvoller. Eine solche Einteilung kann in fünf Hauptgruppen getroffen werden (Schauer, 2017):

- Metallporphyrine
- Carotinoide
- Flavonoide
- Betalaine
- Chinone

Die Gruppe der Metallporphyrine ist mit dem grünen Pflanzenfarbstoff Chlorophyll prominent vertreten.

Eine weitere wichtige Gruppe der Pflanzenfarbstoffe bilden die Carotinoide, die sowohl die Carotine als auch Xanthophylle umfassen und Blüten und Früchte gelb, orange und rot färben.

In der großen Gruppe der Flavonoide sind für diese Arbeit vor allem die Anthocyane interessant, die als rote, violette und blaue Pigmente für die Färbung von Blüten und Früchten verantwortlich sind.

Betalaine, zu denen der Farbstoff Betanin aus der Roten Rübe zählt, und Chinone werden ebenso kurz erläutert.

3.4.2 Carotinoide

3.4.2.1 Chemische Struktur

Carotinoide umfassen eine Gruppe vielfach ungesättigter aliphatischer und alicyclischer Kohlenwasserstoffverbindungen und ihre Derivate. Sie sind mehrheitlich Tetraterpene bzw. Tetraterpenoide, d.h. aus acht Isopren-Einheiten aufgebaute Moleküle. Carotinoide lassen sich in die Untergruppen der Carotine und Xanthophylle gliedern (Schweiggert et al., 2018).

Ihre Farbtöne, die im orange-gelben Bereich liegen, werden durch die Polyenstruktur und vielfach konjugierte Doppelbindungen verursacht (Schweiggert et al., 2018).

3.4.2.2 Vorkommen und Funktion

Carotinoide finden sich sowohl in Bakterien, Algen und Pilzen als auch in höheren Pflanzen. In letzteren sind sie auf zellulärer Ebene in die Membranen der Chloro- und Chromoplasten eingebettet. Obwohl fotosynthetisch inaktiv, unterstützen sie als sogenannte akzessorische Pigmente die Fotosynthese, indem sie Elektronen auf Chlorophyll übertragen. Zusätzlich dienen sie als Radikalfänger zum Schutz des Chlorophylls vor Oxidation (Schauer, 2017).

Als Blüten- und Fruchtfarbe spielen Carotinoide zudem eine wichtige Rolle für die Anlockung von Tieren zur Bestäubung und Verbreitung von Samen und Früchten (Schweiggert et al., 2018).

3.4.2.3 Carotine

Zu den Carotinen zählen mit α -Carotin, β -Carotin und γ -Carotin drei Isomere mit der Summenformel $C_{40}H_{56}$, die als 11- oder 12-fach ungesättigte Tetraterpene vorliegen. Carotine sind nicht in Wasser und kaum in Ethanol löslich, lösen sich aber gut in Ölen und anderen unpolaren Lösemitteln (RÖMPP-Redaktion, 2002a).

Das am häufigsten in der Natur vorkommende Carotin ist β -Carotin (siehe Abbildung 8). Karotten, Süßkartoffeln, grüne Gemüsearten wie Grünkohl, Spinat und Blattsalat enthalten zwischen 4 und 8,5 μg β -Carotin/100g Frischgewicht (Schweiggert et al., 2018).

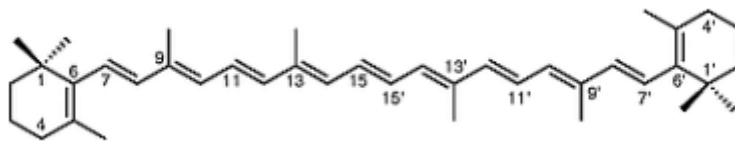


Abbildung 8: Strukturformel von β -Carotin (Schweiggert et al., 2018)

Das β -Carotin-Molekül enthält nur Einfach- und Doppelbindungen zwischen zwei C-Atomen, die keinen polarisierten Anteil haben, sowie Einfachbindungen zwischen einem C- und einem H-Atom, welche durch den geringen Elektronegativitätsunterschied von 0,4 nur eine sehr geringe Polarisierung aufweisen. Daraus lässt sich die schlechte Löslichkeit von β -Carotin in Wasser sowie die gute Löslichkeit in Ölen und unpolaren Lösemitteln begründen (siehe Abbildung 9 und Abbildung 10).



Abbildung 9: Wasser (Raumtemperatur) vor Zugabe der Karottenstücke, Karottenstücke in Wasser bzw. Färbung des Wassers nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos)



Abbildung 10: Speiseöl (Raumtemperatur) vor Zugabe der Karottenstücke, Karottenstücke in Speiseöl bzw. Färbung des Speiseöls nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos)

Ebenfalls zu den Carotinen gehört der Farbstoff Lycopin (siehe Abbildung 11), ein acyclisches, mit β -Carotin isomeres Tetraterpen. Als Hauptfarbstoff in roten Tomaten ist Lycopin ebenfalls wasserunlöslich, aber mäßig löslich in Speiseöl (Schweiggert & Hartmann-Schreier, 2018).

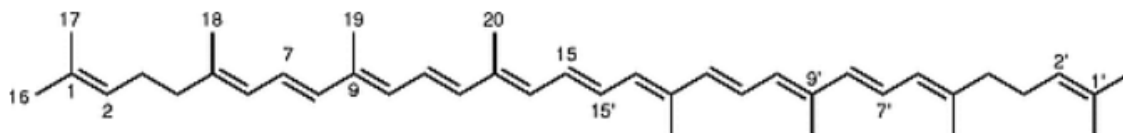


Abbildung 11: Strukturformel von Lycopin (Schweiggert & Hartmann-Schreier, 2018)

3.4.2.4 Xanthophylle

Die zweite Farbstoffgruppe, die den Carotinoiden zuzuordnen ist, umfasst die Xanthophylle. Diese leiten sich als Hydroxy-, Epoxy- und Oxo-Derivate von den Carotinen ab, sind also sauerstoffhaltige Verbindungen (Hartmann-Schreier, 2004a).

Sie kommen als Blüten-, Blatt- und Fruchtfarbstoffe sowohl in Pflanzen als auch über die Nahrungsaufnahme als Farbstoff in Eigelb und tierischen Fetten vor. Zu den Vertretern dieser Gruppe gehören Capsanthin ($C_{40}H_{56}O_3$, siehe Abbildung 12), der Hauptfarbstoff der roten und gelben Paprikafrucht (E. Schwab, 2003), und Zeaxanthin ($C_{40}H_{56}O_2$, siehe Abbildung 13), das unter anderem für die Färbung von Mais hauptverantwortlich ist (Hartmann-Schreier, 2004b).

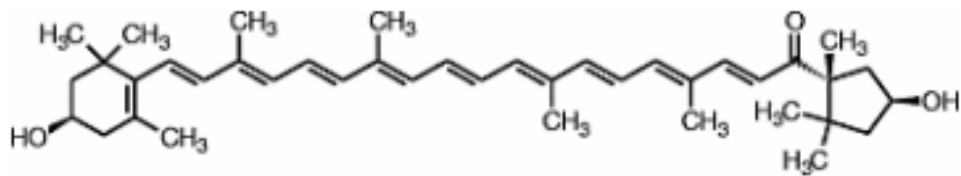


Abbildung 12: Strukturformel von Capsanthin (Schwab, 2003)

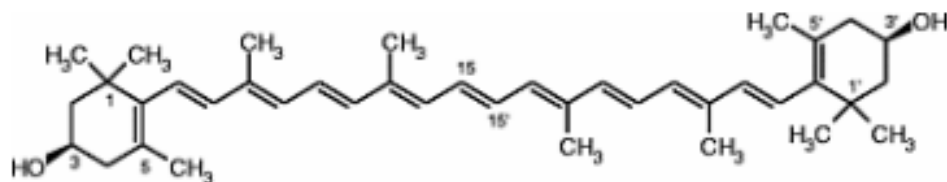


Abbildung 13: Strukturformel von Zeaxanthin (Hartmann-Schreier, 2004b)

Durch die Ergänzung des Carotin-Grundgerüsts mit Hydroxy- und Oxo-Gruppen und den damit verbundenen polarisierten Verbindungsanteilen kann eine etwas verbesserte Löslichkeit in Wasser für diese Verbindungen erwartet werden. In der Literatur wird allerdings auch für Capsanthin angegeben, dass es in Wasser unlöslich und nur in organischen Lösemitteln oder Ölen löslich sei (Schwab, 2003).

In der praktischen Austestung des Löseverhaltens konnte jedoch festgestellt werden, dass die Farbstoffe aus roten Fruchtpaprika sowohl in Wasser als auch in Speiseöl löslich sind (siehe Abbildung 14 und Abbildung 15).



Abbildung 14: Stückchen von rotem Paprika in Wasser bzw. Färbung des Wassers nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos)



Abbildung 15: Stückchen von rotem Paprika in Speiseöl bzw. Färbung des Speiseöls nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos)

3.4.3 Metallporphyrine – Chlorophyll

3.4.3.1 Vorkommen und Funktion

Der grüne Farbstoff, der mit Hilfe von Alkohol aus Pflanzenblättern extrahiert werden konnte, wurde von Pierre Joseph Pelletier und Joseph Bienaimé Caventou 1818 Chlorophyll nach griech. *chloros* = hellgrün und *phyllon* = Blatt (Wahrig, 1985) benannt (Queiroz et al., 2017). Es handelt sich dabei um eine Mischung aus zwei Komponenten: das blau-grüne Chlorophyll a und das gelb-grüne Chlorophyll b (Klaproth et al., 2016).

Chlorophyll ist in den Thylakoidmembranen von Chloroplasten verankert und dient zur Absorption des Lichtes in der Fotosynthese. Da Chlorophyll a und b Licht unterhalb einer Wellenlänge von 480 nm (blau) sowie zwischen 550 (grün-gelb) und 700 nm (rot) absorbiert, erscheint der Farbstoff grün, da Licht im Wellenlängenbereich von 480 bis 550 nm (grün) reflektiert wird (Heldt & Piechulla, 2014).

Weitere Chlorophylle (Chlorophyll c, d und e) konnten aus Meeresalgen isoliert werden, in phototrophen Bakterien sind Bakteriochlorophylle a bis d zur Lichtabsorption vorhanden (Klaproth et al., 2016).

3.4.3.2 Bedeutung für die Evolution

Keinem der anderen Pflanzenfarbstoffe kommt eine so fundamentale Bedeutung zu wie dem Chlorophyll, markiert es doch mit seiner Entstehung vor ca. 3 Milliarden Jahren den Beginn einer neuen Ära in der Evolution (Klaproth et al., 2016). Durch die Entwicklung der Fotosynthese durch Cyanobakterien wurde molekularer Sauerstoff in die Atmosphäre abgegeben und so die Zusammensetzung der Erdatmosphäre über die nächsten 1,2 Milliarden Jahre radikal verändert. Erst dadurch konnten sich aerobe Lebensformen entwickeln. So gesehen verdanken – abgesehen von wenigen anaerob lebenden Bakterien und Archaeen – alle anderen Lebewesen ihre Existenz der Pionierleistung der Cyanobakterien und ihrer „Erfindung“, dem Chlorophyll (Dietmann, 2000).

3.4.3.3 Chemische Struktur

Chlorophyll ist ein Mitglied der Gruppe der Metallporphyrine. Diese Verbindungen, zu denen auch Hämoglobin und Cytochrome zählen, sind Chelate aus Metall-Ionen (z.B. Magnesium- oder Eisen-Ionen) und derivatisierten Porphyrin-Ringsystemen (Weinhold, 2006).

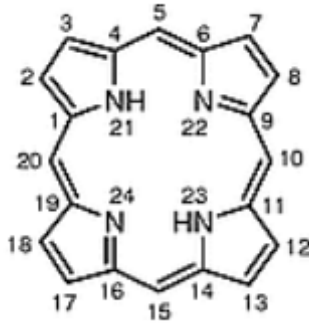


Abbildung 16: Nummerierung des Porphin-Grundkörpers nach den IUPC-IUB-Regeln (Kolter, 2010)

Die Grundstruktur des Porphyrinringes bildet bei Chlorophyll a und b das Chlorin, ein 2,3-Dihydroporphin (Schwab, 2006). An den dritten Pyrrol-Ring ist ein Cyclopentanon-Ring geknüpft. In der Mitte des Ringsystems befindet sich ein zentrales Magnesium-Ion. Am C17 trägt die Verbindung einen Propionsäure-Rest, der mit Phytol verestert ist (siehe Abbildung 17, R3). Dieser bildet als Diterpenalkohol den lipophilen Bestandteil des Moleküls, mit dem das Chlorophyll-Molekül in den Thylakoidmembranen von Chloroplasten verankert ist (Queiroz et al., 2017).

Chlorophyll a und b unterscheiden sich nur durch den Rest am C7 des Porphyrin-Gerüsts (siehe Abbildung 17, R1), bei Chlorophyll a handelt es sich um einen Methylrest, bei Chlorophyll b um einen Aldehydrest. Die chemischen Summenformeln lauten somit $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ für Chlorophyll a und $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ für Chlorophyll b (Schwab, 2006).

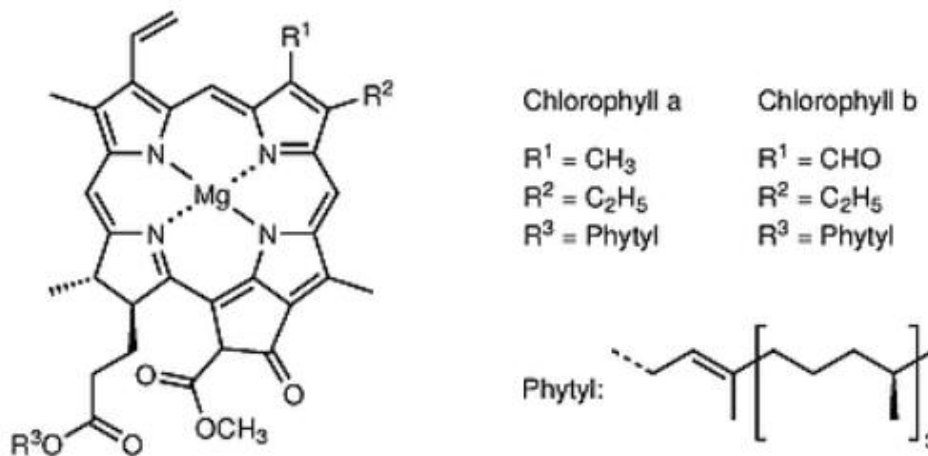


Abbildung 17: Chemische Struktur von Chlorophyll a und b (Schwab, 2006)

3.4.3.4 Polarität

Über die Polarität von Chlorophyll a und b können folgende Annahmen getroffen werden: Der Phytylrest ist, da er nur Bindungen zwischen C- und H- bzw. C- und C-Atomen enthält, unpolar und dient der Verankerung des Chlorophyll-Moleküls in der Membran von Chloroplasten (Klaproth et al., 2016). Der derivatisierte Porphyrin-Ring weist jedoch durch die Bindungen der Stickstoff-Atome (mit einer Elektronegativität von 3,0) mit dem zentralen Magnesium-Ion (mit einer Elektronegativität von 1,3) eine erhebliche Polarität auf. Zusätzlich tragen fünf bzw. sechs Sauerstoff-Atome – durch eine Keto-Gruppe und zwei Estergruppen, sowie bei Chlorophyll b einer weiteren Aldehyd-Gruppe – zur Polarität dieses Molekülteiles bei (Schwab, 2006).

Chlorophyll a und b werden in der Literatur als nicht wasserlöslich beschrieben, lösen sich aber gut in Ethanol und Aceton (Klaproth et al., 2016). Die durch Verlust des Phytyl-Restes entstehenden Chlorophyllide sind dagegen sehr gut wasserlöslich (Schwab, 2006).

In der praktischen Austestung konnte jedoch eine erhebliche Wasserlöslichkeit des Farbstoffes aus Gurkenschalen festgestellt werden (siehe Abbildung 18), während so gut wie keine Löslichkeit in Speiseöl beobachtet wurde (siehe Abbildung 19).



Abbildung 18: Feingeschnittene Gurkenschalen in Wasser bzw. Färbung des Wassers nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos)



Abbildung 19: Feingeschnittene Gurkenschalen in Speiseöl bzw. Färbung des Speiseöls nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos)

3.4.4 Flavonoide

3.4.4.1 Vorkommen und Funktion

Flavonoide kommen in höheren Pflanzen, sowie in Farnen und Moosen vor, fehlen jedoch im Tierreich (Hänsel & Sticher, 2010). Als gut wasserlösliche Glycoside liegen sie zumeist in den Vakuolen der Pflanzenzellen vor (Dräger & Stintzing, 2011).

Flavonoide dienen den Pflanzen nicht nur zum Anlocken von Tieren zur Bestäubung und Verbreitung von Früchten und Samen, sie sind auch Fraßgifte, Signalstoffe für Wechselbeziehungen mit Symbionten, Schirmpigmente zum Schutz vor UV-Strahlung und als Antioxidantien Radikalfänger, die die Lipidoxidation verhindern (Heldt & Piechulla, 2014).

3.4.4.2 Verwendung

Flavonoid-haltige Pflanzenextrakte wurden früher zum Gelbfärben von Wolle oder Baumwolle verwendet, z.B. aus der Rinde der Färbereiche, dem Kraut des Färberwau oder dem Holz des Färbermaulbeerbaumes (Dräger & Stintzing, 2011). Als antioxidativ wirkende Verbindungen werden Flavonoide auch in der Naturheilkunde eingesetzt, ihre antiallergische, antivirale und antimikrobielle, sowie antikanzerogene Wirkung sind in der Literatur vielfach beschrieben (Hänsel & Sticher, 2010).

3.4.4.3 Chemische Struktur

Die große Gruppe der Flavonoide – von lat. *flavus* = gelb (Wahrig, 1985) – umfasst Naturstoffe, die sich von einem C15-Grundgerüst, dem Flavan (siehe Abbildung 20) ableiten: Zwei aromatische Ringe werden über einen Dihydropyran-Ring miteinander verknüpft (Dräger & Stintzing, 2011).

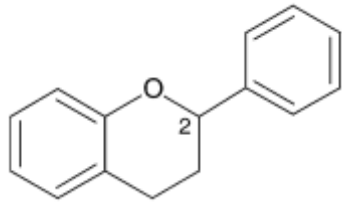


Abbildung 20: Chemische Struktur von Flavan (Hänsel & Sticher, 2010, S. 1099)

Je nach Struktur werden die Flavonoide weiter in Flavan-Derivate, Isoflavone, Chalkone und Aurone unterteilt. Sie zeigen je nach Oxidationsgrad unterschiedliche Farben: von farblos über gelb, orange und rot bis zu violetten und blauen Farbtönen (Dräger & Stintzing, 2011).

3.4.4.4 Anthocyane

Zu den Flavan-Derivaten gehört die Gruppe der Anthocyane, die vor allem rote, violette und blaue Blüten- und Fruchtfarbstoffe umfassen (Dräger & Stintzing, 2011). Dabei liegen die Anthocyane als glykosilierte Anthocyanidine vor (Heldt & Piechulla, 2014), ein bekanntes Beispiel dafür ist das Pelargonin (siehe Abbildung 21):

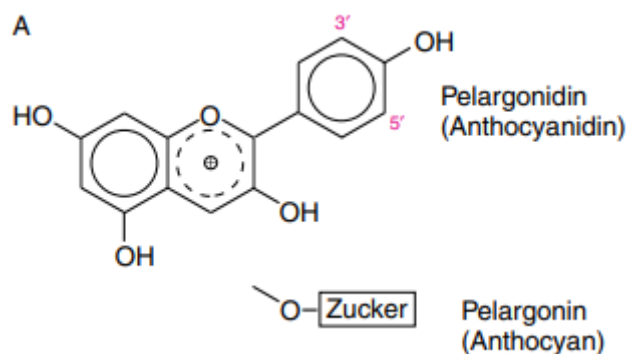


Abbildung 21: Chemische Struktur des Pelargonin bzw. Pelargonidin (Heldt & Piechulla, 2014, S. 430)

Durch die positive Ladung am sauerstoffhaltigen Ring, die Vielzahl von Hydroxy-Gruppen sowie die Glykosylierung sind Anthocyane sehr gut wasserlöslich. Sie sind im Gegensatz zu den Carotinoiden und Chlorophyll nicht in den Membranen der Organellen von Pflanzenzellen gebunden, sondern befinden sich gelöster Form in der Vakuolenflüssigkeit der Pflanzenzellen (Heldt & Piechulla, 2014).

Die Farbe der Anthocyane ist pH-Wert-abhängig, weshalb sich Anthocyan-Extrakte (z.B. aus Blaukraut) als Säure-Base-Indikatoren eignen (Dräger et al., 2011).

3.4.4.5 Cyanidin

Durch die Einführung einer weiteren OH-Gruppe an der 3'-Position entsteht aus Pelargonidin das Cyanidin (Heldt & Piechulla, 2014). In glykosylierter Form findet sich Cyanidin in vielen intensiv gefärbten Obst- und Gemüsesorten, so z.B. in Blaukraut, Radieschen, roten Zwiebeln, violetten Karotten, Heidelbeeren, Brombeeren, Holunder, Johannisbeeren und Zwetschken (Dräger et al., 2011).

Die in der Literatur beschriebene gute Wasserlöslichkeit und damit einhergehende sehr schlechte Löslichkeit in unpolaren Lösemitteln konnte auch in der praktischen Austestung mit Blaukraut bestätigt werden (siehe Abbildung 22 und Abbildung 23).



Abbildung 22: Feingeschnittenes Blaukraut in Wasser bzw. Färbung des Wassers nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos)



Abbildung 23: Geschnittenes Blaukraut in Speiseöl bzw. Färbung des Speiseöls nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos)

3.4.5 Betalaine

Betalaine sind eine Gruppe von stickstoffhaltigen, gut wasserlöslichen Blüten- und Fruchtfarbstoffen, die wiederum in die Klassen der Betacyane (rote bis violette Färbung) und der Betaxanthine (gelbe bis orange Färbung) unterteilt werden können. In Pflanzen kommen sie nur in neun Familien der Ordnung Caryophyllales (Nelkenartige) vor und sind damit von großer chemotaxonomischer Bedeutung, ebenso sind sie in einigen höheren Pilzen, z.B. dem Fliegenpilz, zu finden (Schweiggert & Stintzing, 2018).

Der wichtigste Vertreter der Betacyane ist das Betanin, der Farbstoff der Roten Beete (siehe Abbildung 24):

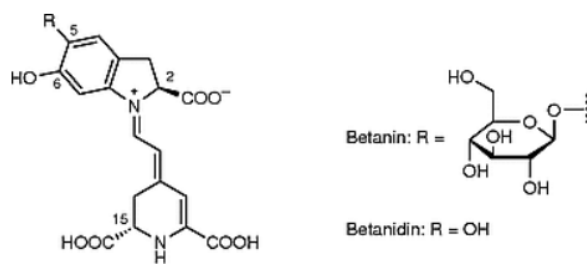


Abbildung 24: Chemische Struktur von Betanin (Schweiggert & Stintzing, 2018).

Die gute Wasserlöslichkeit erklärt sich aus der starken Polarität des Moleküls, die durch die positive Ladung an einem Stickstoff-Atom, drei Carboxylgruppen sowie durch die Glykosylierung verursacht wird.

3.4.6 Chinone

Chinone sind eine Gruppe von farbigen organischen Verbindungen, die Oxidationsprodukte von Aromaten sind (RÖMPP-Redaktion, 2002b). Ihre einfachsten Vertreter sind 1,2-Benzochinon bzw. 1,4-Benzochinon (siehe Abbildung 25).

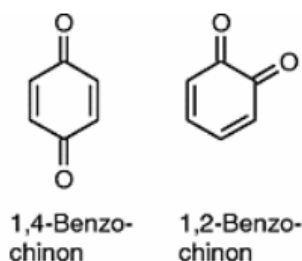


Abbildung 25: Chemische Struktur der Chinone (RÖMPP-Redaktion, 2002b)

Neben Pilzen und Bakterien enthalten auch einige Pflanzen Farbstoffe, die zu den Chinonen gehören, z.B. Lawson in Henna oder Juglon in Walnüssen. Sowohl in der Atmungskette (Ubichinone) als auch in der Photosynthese (Plastochinon) spielen Chinone eine wichtige Rolle (RÖMPP-Redaktion, 2002b).

4 Fachdidaktische Überlegungen zur Entwicklung einer Lerngelegenheit

Die zu entwickelnde Lerngelegenheit soll einen Beitrag zum Erwerb der notwendigen Kenntnisse und Kompetenzen im Sinne einer Scientific Literacy leisten. Nach dem Unterrichtsansatz des Inquiry-based Learning wird eine Lernschachtel zum Thema „Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen“ entwickelt.

4.1 Konzept einer Lernschachtel

Lernschachteln, auch als Chemieboxen, Experimentierboxen oder Interaktionsboxen bezeichnet (Reischauer, 2021), sind Behälter, die umfangreiches Material zur Lernbegleitung enthalten und Schüler*innen im Rahmen einer Unterrichtseinheit zur Verfügung gestellt werden. Damit können sie im Sinne des Makro-Scaffolding (Hofer, 2020) eine geeignete Unterstützung der Lernenden für die Bearbeitung von Aufgabenstellungen im Rahmen des Unterrichtsansatzes des Inquiry-based Learning darstellen. Sie enthalten – je nach Level der Strukturierung (Schwab, 1962) – neben Geräten und Reagenzien für das Durchführen von Versuchen Angaben zur Fragestellung, Hinweise zur Versuchsplanung, Anleitungen zur Durchführung von Versuchen, Dokumentationshilfen, Hilfestellungen und Informationen zur Interpretation. Mit Hilfe des Inhalts versuchen Schüler*innen, im Rahmen einer naturwissenschaftlichen Fragestellung eine Lösung für ein gegebenes Problem zu finden (Koenen et al., 2016). Je nach Strukturierung der Lernschachtel umfassen die Tätigkeiten der Schüler*innen das Aufstellen von Hypothesen, das Planen und Durchführen von Versuchen sowie das Dokumentieren, Interpretieren und Kommunizieren der Ergebnisse (Reischauer, 2021). Die Lehrperson unterstützt die Schüler*innen bei der Bearbeitung der Aufgabenstellungen während der Unterrichtseinheit mit Maßnahmen des Mikro-Scaffolding, wie aktives Zuhören, Stellen offener Fragen, Paraphrasieren von Lernendenaussagen oder Einbetten von Aussagen in Kontexte (Hofer, 2020).

Der Einsatz einer Lernschachtel ermöglicht einen prozessorientierten Unterricht (Koenen et al., 2016). Durch das selbstständige und eigenverantwortliche Arbeiten und Lernen findet eine Verschiebung vom lehrer*innenzentrierten Unterricht zum schüler*innenzentrierten Lernen statt (Mieg, 2019).

Das in den Lernschachteln enthaltene Material ermöglicht es zumeist, verschiedene Lösungswege für die Problemstellung zu finden. Es kann aber auch Material enthalten sein, das nicht zur Problemlösung verwendet werden kann, sondern zum Aufzeigen und Überwinden von nicht angemessenen Lernendenvorstellungen nützlich ist (Koenen et al., 2016).

4.2 Zielgruppe

Zielgruppe der Lernschachtel sind Schüler*innen der Sekundarstufe II, die bereits über Vorkenntnisse aus dem Chemieunterricht verfügen:

Die Schüler*innen haben bereits Erfahrung mit der selbstständigen Durchführung von Versuchen nach vorgegebener Arbeitsanweisung und der Erstellung von Protokollen mit Materialliste, Durchführung, Beobachtung und Schlussfolgerung. Sie kennen die Bezeichnungen der zur Verfügung gestellten Laborgeräte, sind geübt im Umgang mit denselben und mit grundlegenden chemischen und physikalischen Arbeitsmethoden vertraut. Ebenso sind sie in sicherem Verhalten im Labor sowie hinsichtlich der Entsorgung von Chemikalien geschult.

4.3 Lehrziele

Der Unterrichtsansatz des Inquiry-based Learning ermöglicht ein induktives Vorgehen bei der Erarbeitung von fachlichen Erkenntnissen.

Im Folgenden werden die für die Fragestellung – „Wie kann eine Lernumgebung gestaltet werden, um die Löslichkeit von verschiedenen Pflanzenfarbstoffen in polaren und unpolaren Lösemitteln sowie den Zusammenhang dieser Eigenschaft mit der chemischen Struktur der Stoffe mit Schüler*innen der Sekundarstufe II im Rahmen des Inquiry-based Learning zu erarbeiten?“ – relevanten Vorgaben aus dem Lehrplan für den Chemieunterricht, das zugrundeliegende chemische Basiskonzept, allgemeine Unterrichtsleitlinien sowie das naturwissenschaftliche Kompetenzmodell erläutert und schließlich die operationalisierten Lehrziele der entwickelten Lerneinheit ausgeführt.

4.3.1 Lehrplan

Im Lehrplan der Allgemeinbildenden Höheren Schulen für den Chemieunterricht in der 7. und 8. Klasse (11. und 12. Schulstufe), der im Rechtsinformationssystem (RIS) des Bundes abrufbar ist (vgl. Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen, zuletzt abgerufen am 07.08.2024), finden sich dazu in der Bildungs- und Lehraufgabe folgende Vorgaben:

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

In einer Aufgabenstellung der Lernschachtel sollen die Schüler*innen Vermutungen über den Zusammenhang zwischen dem makroskopischen Phänomen der unterschiedlichen Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen und ihrer chemischen Struktur, also der submikroskopischen Ebene, aufstellen.

Weiters wird im Lehrplan Folgendes erläutert: „Der Chemieunterricht in der Oberstufe [...] bereitet auf wissenschaftliches Denken und Arbeiten vor, indem unterschiedliche Zugänge zu den verschiedenen Dimensionen des Erforschenswerten eröffnet werden. Im Verbund mit Biologie, Mathematik und Physik soll Chemieunterricht auf exemplarische Weise den Weg der Erkenntnisfindung über Entwicklung und Anwendung von Deutungssystemen, also über Modelldenken, Systemdenken, Planen und Auswerten von Experimenten zu Stoffartumwandlungen zeigen“ (vgl. Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen, zuletzt abgerufen am 07.08.2024).

Durch die Umsetzung von Inquiry-based Learning mit einer Lernschachtel soll den Schüler*innen der Weg der wissenschaftlichen Erkenntnisfindung und der Prozess des naturwissenschaftlichen Arbeitens nähergebracht werden.

„Dadurch schafft der Chemieunterricht die Basis für lebensgestaltende Lernstrategien und fördert über die Schule hinaus die Eigenständigkeit und Eigenverantwortung beim Erwerb von Wissen und

Kompetenzen wie Teamfähigkeit, Problemlösekompetenz und Kommunikationsfähigkeit mit Expertinnen und Experten“ (vgl. Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen, zuletzt abgerufen am 07.08.2024).

Das selbstständige und eigenverantwortliche Lernen soll durch den Einsatz der Lernschachtel gefördert werden, ebenso sollen die Kompetenzen Teamfähigkeit (durch das gemeinsame Bearbeiten der Fragestellung in Gruppen), Problemlösekompetenz (durch das konkrete Bearbeiten einer Fragestellung zur Problemlösung) und Kommunikationsfähigkeit (durch das Dokumentieren und Kommunizieren der Ergebnisse) gestärkt werden.

„Die Ausbildung von Verantwortungsbewusstsein und Kritikfähigkeit gegenüber Ge- und Missbrauch wissenschaftlicher Erkenntnisse sollen die Teilhabe an wesentlichen gesellschaftlichen Entscheidungen ermöglichen“ (vgl. Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen, zuletzt abgerufen am 07.08.2024).

Schüler*innen sollen im Sinne des to Learn about Inquiry erfahren, wie Wissenschaftler*innen durch wissenschaftliche Methoden der Erkenntnisgewinnung Fragen beantworten und Problemstellungen lösen können (Abrams et al., 2008).

4.3.2 Basiskonzept

Unter Basiskonzepten für den Bereich der Chemie versteht man zentrale Konzepte, die für ein Verstehen chemischer Sachverhalte grundlegend sind, sie dienen als wichtige Ansatzpunkte, um eine vertikale Vernetzung zu realisieren (Demuth et al., 2005).

Für die Sekundarstufe II sind im Lehrplan sechs chemische Basiskonzepte angegeben (vgl. Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen, zuletzt abgerufen am 07.08.2024): Stoff-Teilchen-Konzept, Struktur-Eigenschafts-Konzept, Donator-Akzeptor-Konzept, Energiekonzept, Größenkonzept und Gleichgewichtskonzept.

Mit der Fragestellung der Lernschachtel – Wie lösen sich verschiedene Pflanzenfarbstoffe in polaren und unpolaren Lösemitteln und wie hängen diese Eigenschaften mit der chemischen Struktur der Stoffe zusammen? – wird das Struktur-Eigenschafts-Konzept (Art, Anordnung und Wechselwirkung der Teilchen bestimmen die Eigenschaften eines Stoffes) aufgegriffen (vgl. Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen, zuletzt abgerufen am 07.08.2024).

Die chemische Struktur der Pflanzenfarbstoffe ist ausschlaggebend für ihr Löslichkeitsverhalten in verschiedenen Lösemitteln und bestimmt somit ihre Eigenschaften.

4.3.3 Leitlinien

Weiters sind im Lehrplan folgende Aspekte in den didaktischen Grundsätzen angeführt (vgl. Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen, zuletzt abgerufen am 07.08.2024):

„Empirisch arbeiten und erfahrungsgeleitet lernen

Planung, Durchführung, Dokumentation und Deutung von Experimenten und sicherer Umgang mit den Stoffen stellen einen wesentlichen und unverzichtbaren Bestandteil des Chemieunterrichts dar. Die minimale Realisierung wird durch gemeinsames Beobachten und Auswerten von Demonstrations- und Schüler[*innen]experimenten erreicht. Eine optimale Erfüllung dieser Leitlinie ist die selbstständige experimentelle Problembearbeitung.“

Diese Forderung stellt nahezu eine direkte Beschreibung des Unterrichtsansatzes nach dem Inquiry-based Learning dar und kann mit dem Einsatz einer Lernschachtel angestrebt werden.

„Situert und an Hand authentischer Probleme lernen

Ausgangspunkt für Lernen müssen realistische und relevante Probleme sein, die dazu motivieren neues Wissen und neue Fähigkeiten zu erwerben. Dabei wird auf Vorkenntnisse und Grundwissen der Schülerinnen und Schüler aufgebaut. Maximal realisiert wird dieser Anspruch, wenn Schülerinnen und Schüler in eine authentische Situation versetzt werden, die konkretes fachübergreifendes und fächerverbindendes Arbeiten erfordert. Eine minimale Realisierung kann durch eine Anknüpfung an aktuelle Probleme, authentische Fälle oder persönliche Erfahrungen gewährleistet werden.“ (vgl. Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen, zuletzt abgerufen am 07.08.2024)

Durch das Aufwerfen einer Fragestellung aus der persönlichen Erfahrungswelt – warum färbt sich eine aus orangen Karotten zubereitete Suppe nicht orange, aber eine aus violetten Karotten zubereitete Suppe violett? – wird dieser Aspekt berücksichtigt.

„In einem sozialen Umfeld lernen

Gemeinsames Lernen und Arbeiten wie auch Kooperation von Schülerinnen und Schülern mit Expertinnen und Experten im Rahmen situierter Problemstellungen hat Bestandteil möglichst vieler Lernphasen zu sein. Maximal realisieren lässt sich diese Leitlinie durch gemeinsames Lernen und Arbeiten in einer Expert[*inn]engemeinschaft, für die minimale Realisierung werden Gruppenarbeiten vorgeschlagen.“ (vgl. Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen, zuletzt abgerufen am 07.08.2024)

Der Einsatz einer Lernschachtel kann in einer Partner- oder Gruppenarbeit umgesetzt werden. Dabei wird das Aushandeln von Erkenntnissen in der sozialen Gruppe geübt.

„Mit instruktionaler Unterstützung lernen

Lernen ohne jegliche Instruktion ist in der Regel ineffektiv und führt leicht zu Überforderung. Die Lernumgebung (der Unterricht) ist so zu gestalten, dass neben vielfältigen Möglichkeiten eines Lernens in komplexen Situationen auch das zur Bearbeitung von Problemen (Aufgaben, Projekten

usw.) erforderliche Wissen bereitgestellt und erworben wird.“ (vgl. Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen, zuletzt abgerufen am 07.08.2024)

Die Lernschachtel bietet durch die zur Verfügung gestellten Materialien, Anweisungen und Vorlagen eine gestaltete Lernumgebung, die das selbstständige Lernen und die Bearbeitung von Problemstellungen ermöglicht.

4.3.4 Kompetenzmodell

Ebenfalls in den Lehrplan integriert ist ein Kompetenzmodell für Chemie in der Sekundarstufe II. Dieses ist als dreidimensionales Modell konstruiert, das Inhaltsdimension, Handlungsdimension und Anforderungsdimension vorsieht (vgl. Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen, zuletzt abgerufen am 07.08.2024) und Merkmale und Aktivitäten von Inquiry-based Learning enthält:

4.3.4.1 Inhaltsdimension

Die relevante Inhaltsdimension für diese Lernschachtel findet sich mit dem Struktur-Eigenschafts-Konzept im Lehrplan für das 5. Semester:

„Eigenschaften von Stoffen durch Art, Anordnung und Wechselwirkung der Teilchen erklären [...]. Durch Kombination von Hypothesenbildung und experimenteller Überprüfung an Hand von Stoffen mit kovalenten Bindungen Zusammenhänge zwischen Strukturen und Eigenschaften der Stoffe herstellen.“

4.3.4.2 Handlungsdimension:

„Die Handlungsdimension umfasst die Bereiche Wissen organisieren, Erkenntnisse gewinnen und Konsequenzen ziehen.“

Von den genannten Aspekten wird mit der vorgestellten Lernschachtel in erster Linie die Gewinnung von Erkenntnissen bearbeitet. Diese umfasst die Planung, Durchführung und Protokollierung von Untersuchungen zu einer Fragestellung, die Analyse der Daten und Ergebnisse der Untersuchungen, das Aufstellen von Hypothesen über Vorgänge und Zusammenhänge auf der Basis von Daten und Untersuchungsergebnissen sowie eine kritische Betrachtung der Untersuchungsergebnisse.

4.3.4.3 Anforderungsdimension:

„Die Anforderungsdimension umfasst Niveau 1, auf dem Schülerinnen und Schüler angeleitet durch eine Aufgabe geführt werden, und Niveau 2, auf dem sie weitgehend selbstständig arbeiten.“

Den Schüler*innen soll durch die Lernschachtel ein weitgehend selbständiges Arbeiten auf Niveau 2 ermöglicht werden.

4.3.5 Operationalisierte Lehrziele

In diesem Kapitel werden operationalisierte Lehrziele ausformuliert. Hilbert Meyer beschreibt diese folgendermaßen: „Ein Lehrziel ist die möglichst konkrete Beschreibung der Absichten, die die Lehrerin/der Lehrer im Unterricht verfolgt. Lehrziele beschreiben, welches Wissen und Können, welche Beurteilungs- und Handlungsfähigkeit die Schüler[:innen] erwerben sollen.“ (Meyer, 2007)

Schüler*innen sollen nach dem zweiten Ziel des Inquiry-based Learning selbst Aktivitäten zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung durchführen, wie z.B. Beobachtungen machen, Fragen stellen, Informationen sammeln, Untersuchungen planen, Daten erheben, analysieren und interpretieren, Antworten formulieren und Ergebnisse kommunizieren und diskutieren (siehe Kapitel 2.2).

Zur Aktivität „Beobachtungen machen“ wird ein erstes Lehrziel festgelegt:

Lehrziel 1: „Die Schüler*innen können zur Fragestellung passende Beobachtungen machen und dokumentieren.“

Die Verknüpfung von zwei Operatoren – Beobachtungen *machen* und *dokumentieren* – wurde bewusst so gewählt, da sich die Aktivität des Beobachtens selbst im Rahmen der Lerngelegenheit der Evaluierung durch die Lehrperson entzieht. Erst durch die Dokumentation der Beobachtungen wird nachvollziehbar, welche Beobachtungen gemacht wurden. In Kapitel 4.5.1.1 werden weitere didaktische Überlegungen zu Lehrziel 1 angestellt.

Ein weiteres Lehrziel wird zur Aktivität „Daten interpretieren“ formuliert:

Lehrziel 2: „Die Schüler*innen können logische Schlussfolgerungen aus den gemachten Beobachtungen ableiten und dokumentieren.“

Die Schüler*innen sollen zwischen Beobachtung und Schlussfolgerung unterscheiden können. Die Schlussfolgerung soll durch tatsächlich gemachte Beobachtungen begründet und logisch nachvollziehbar sein. Die Verknüpfung der Operatoren *ableiten* und *dokumentieren* folgt der bei Lehrziel 1 angegebenen Überlegung. Weitere didaktische Überlegungen zu Lehrziel 2 werden in Kapitel 4.5.1.2 angestellt.

Eine weitere Aktivität der Inquiry, „Untersuchungen planen“, wird in das dritte Lehrziel eingearbeitet:

Lehrziel 3: „Die Schüler*innen können einen zur Fragestellung passenden Versuch selbständig planen und beschreiben.“

Auch in diesem Lehrziel sind zwei Operatoren – *planen* und *beschreiben* – verknüpft, da die Aktivität des Planens erst durch die Beschreibung der Planungsschritte für die Lehrperson nachvollziehbar und evaluierbar wird. Zu Lehrziel 3 werden in Kapitel 4.5.1.3 weitere Überlegungen angestellt.

Ein weiteres Ziel des Inquiry-based Learning, Fachwissen erlernen (Abrams et al., 2008), soll mit dem vierten Lehrziel verfolgt werden:

Lehrziel 4: „Die Schüler*innen können einen Zusammenhang zwischen dem Löslichkeitsverhalten von Farbstoffen und ihrer chemischen Struktur herstellen.“

Auch zu diesem Lehrziel werden in Kapitel 4.5.1.4 weiterführende didaktische Überlegungen angestellt.

4.4 Lernendenvorstellungen

Das Erfassen von Lernendenvorstellungen ist eine wesentliche Komponente des Modells der didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997). Daher wird eine literaturbasierte Zusammenstellung von Lernendenvorstellungen zur Löslichkeit vorgenommen.

In einem zusammenfassenden Review einer Vielzahl an Studien werden drei Kategorien von Lernendenvorstellungen zum Löslichkeitsbegriff definiert: die Bedingungen für den Lösevorgang, der Löseprozess und das Wesen von Lösungen (Grüß-Niehaus & Schanze, 2011). In der Folge werden ausgewählte Lernendenvorstellungen beschrieben.

4.4.1 Bedingungen für den Lösevorgang

4.4.1.1 Dichte

Lernende führen häufig die unterschiedliche Löslichkeit von Stoffen auf ihre unterschiedliche „Dichte“ zurück (Grüß-Niehaus & Schanze, 2011). So gaben Lernende an, dass Sand aufgrund seiner großen „Dichte“ nicht in Wasser löslich sei (Çalýk et al., 2005). Damit einher geht die Vorstellung, dass die Teilchen des zu lösenden Stoffes so dicht aneinander liegen, dass die Wasserteilchen dazwischen keinen Platz finden und der Stoff daher nicht gelöst werden kann (Grüß-Niehaus & Schanze, 2010). Dabei wird das Konzept der Dichte als stoffliche Eigenschaft, die als Quotient von Masse und Volumen eines homogenen Körpers definiert ist, durch die Vorstellung von Dichte als mehr oder weniger dicht aneinander liegende Teilchen ersetzt (Grüß-Niehaus & Schanze, 2010).

4.4.1.2 Rühren bzw. Stehenlassen

Einwirkungen von außen, wie Rühren oder Stehenlassen, werden von Lernenden mit einem mehr oder weniger erfolgreichen Lösevorgang in Verbindung gebracht. So erwarten sie eine vorübergehende bessere Löslichkeit, wenn das Stoffgemenge gerührt wird, den gegenteiligen Effekt jedoch, das Absetzen des zu lösenden Stoffes, beim Stehenlassen (Grüß-Niehaus & Schanze, 2011).

4.4.1.3 Eigenschaften des Lösemittels

Damit ein Stoff in einem Lösemittel gelöst werden könne, müsse dieses bestimmte Eigenschaften aufweisen. So gibt es bei Lernenden die Vorstellung, dass Lösemittel immer flüssig sein müssen. Ebenso nehmen Lernende auch an, dass Lösemittel die Eigenschaft „chemisch“ besitzen und daher

nur Stoffe lösen können, die ebenfalls diese Eigenschaft aufweisen. Da für Lernende der Stoff Sand nicht „chemisch“ ist, erklären sie damit seine Unlöslichkeit in Wasser (Grüß-Niehaus & Schanze, 2011).

4.4.2 Löseprozess

Das Fehlen von submikroskopischen Erklärungsmodellen für makroskopische Beobachtungen (Çalýk et al., 2005) erschwert es den Lernenden, den Löseprozess korrekt zu beschreiben.

4.4.2.1 „Teilchen-Bindung“

Lernende greifen bei der Beschreibung des Löseprozesses auf die Teilchenebene zurück, nehmen aber an, dass sich dabei chemische Bindungen zwischen den Teilchen ausbilden (Grüß-Niehaus & Schanze, 2011).

4.4.2.2 Chemische Reaktion

Die Vorstellung der Ausbildung von Bindungen während des Löseprozesses kann bei Lernenden zur Annahme führen, es handle sich um eine chemische Reaktion (Grüß-Niehaus & Schanze, 2011). Die bildliche Darstellung des Löseprozesses des Feststoffes Natriumchlorid in Wasser, bei dem sich die positiven Natrium-Ionen und negativen Chlorid-Ionen an die polaren Wasser-Moleküle „binden“, kann diese Vorstellung – das Entstehen von neuen Stoffen durch eine chemische Reaktion – fördern (Çalýk et al., 2005).

4.4.2.3 Verschwinden

Weitverbreitet ist auch die Vorstellung, dass gelöste Stoffe durch den Lösevorgang „verschwinden“ (Grüß-Niehaus & Schanze, 2011). So verwenden Lernende die Begriffe „Lösen“ und „Verschwinden“ häufig synonym (Çalýk et al., 2005). Da sich der gelöste Stoff häufig der visuellen Wahrnehmung entzieht, wird angenommen, dass die Teilchen nicht mehr vorhanden sind (Grüß-Niehaus & Schanze, 2011).

4.4.2.4 Schmelzen

Ebenso ist die Annahme bei Lernenden anzutreffen, dass der zu lösende Stoff durch einen Schmelzvorgang in den flüssigen Aggregatzustand übertritt und sich somit im Lösemittel löst (Grüß-Niehaus & Schanze, 2011).

4.5 Didaktische Strukturierung der Lernschachtel

In diesem Kapitel werden die Überlegungen zur didaktischen Strukturierung der entwickelten Lernschachtel ausgeführt. Die in Kapitel 4.3.5 aufgeführten Lehrziele werden dabei für die Entwicklung der Aufgabenstellungen herangezogen und die konkrete Gestaltung der Lernschachtel wird erläutert.

4.5.1 Aufgabenstellungen der Lernschachtel

4.5.1.1 Beobachtungen machen

Im alltäglichen Sprachgebrauch werden die Wörter „beobachten“ und „wahrnehmen“ häufig synonym gebraucht (Böck, 2013). Beobachtungen zeichnen sich gegenüber der bloßen Wahrnehmung jedoch durch ein Verhalten aus, das „planvoller, selektiver, von einer Suchhaltung bestimmt und von vornherein auf die Möglichkeit der Auswertung des Beobachteten im Sinne der übergreifenden Absicht gerichtet“ ist (Graumann, 1966).

Schüler*innen sollen im Rahmen dieser Unterrichtseinheit systematische Beobachtungen machen und diese dokumentieren. Dabei beschreiben sie die Färbung von Lösungen qualitativ, z.B. „Lösung 1 ist orange gefärbt, Lösung 2 ist farblos/nicht gefärbt“, bzw. vergleichen die Farbintensität verschiedener Lösungen, z.B. „Lösung 1 ist intensiv orange gefärbt, Lösung 2 ist leicht orange gefärbt“. Dabei genügt die visuelle Beobachtung, eine photometrische Messung wird nicht durchgeführt.

Die Dokumentation der Beobachtung erfolgt durch eine verbale Beschreibung der Färbung bzw. Farbänderung der Lösungen. Die Beschreibung soll durch entsprechende Adjektiva wie „hellorange“, „leicht orange“, „wenig gefärbt“, „zart gefärbt“, „mittel gefärbt“, „dunkelorange“, „kräftig gefärbt“, „intensiv gefärbt“, „stark gefärbt“ eine semiquantitative Beurteilung der Farbintensität ermöglichen.

Die Rahmenbedingungen werden so gewählt, dass die Beobachtungen gut durchgeführt werden können:

- ungefärbte Glasgefäße verwenden
- Speiseöl möglichst ohne Eigenfarbe, oxidationsbeständig
- weißer Hintergrund verfügbar
- ausreichendes Lösungsvolumen gewährleisten
- Abtrennung von nicht gelösten Feststoffen ermöglichen

4.5.1.2 Logische Schlussfolgerungen aus Beobachtungen ableiten

Ein zentraler Schritt im naturwissenschaftlichen Arbeitsprozess ist die Ableitung von logischen Schlussfolgerungen aus den Beobachtungen. Diese Kompetenz für die Scientific Literacy wird auch im

Rahmen der PISA-Studien abgefragt und folgendermaßen beschrieben: „to draw evidencebased conclusions about science-related issues“ (OECD, 2006, S. 12).

Schüler*innen sollen im Rahmen der Unterrichtseinheit aus den zuvor gemachten und dokumentierten Beobachtungen, z.B. „Lösung 1 (Speiseöl mit Karottenstückchen) färbt sich intensiv orange, Lösung 2 (Wasser mit Karottenstückchen) färbt sich leicht orange“ eine logische Schlussfolgerung ziehen, z.B. „der Farbstoff aus Karotten löst sich besser in Speiseöl als in Wasser“. Dafür ist es notwendig, dass die Schüler*innen den Zusammenhang zwischen der Färbung bzw. Farbänderung der Lösung und der Löslichkeit des Farbstoffes herstellen können: Je intensiver die Färbung des Lösemittels, umso besser löst sich der Farbstoff darin.

Weiters sollen verschiedene Farbstoffe hinsichtlich ihrer Löslichkeit verglichen werden. Dazu muss z.B. die Löslichkeit des Karottenfarbstoffes mit der Löslichkeit des Farbstoffes aus roten Zwiebeln in Bezug gebracht werden. Durch die semiquantitative Beschreibung der Beobachtungen kann dieser Bezug hergestellt und eine logische Schlussfolgerung wie in folgendem Beispiel gezogen werden:
Beobachtung: „Lösung 1 (Speiseöl mit Karottenstückchen) färbt sich intensiv orange, Lösung 2 (Wasser mit Karottenstückchen) färbt sich leicht orange, Lösung 3 (Speiseöl mit roten Zwiebeln) färbt sich nicht, Lösung 4 (Wasser mit roten Zwiebeln) färbt sich leicht violett.“ Schlussfolgerung: „In Speiseöl löst sich der Farbstoff aus Karotten besser als der Farbstoff aus roten Zwiebeln. In Wasser löst sich der Farbstoff aus roten Zwiebeln besser als der Farbstoff aus Karotten.“

Eine Schwierigkeit besteht allerdings darin, dass in verschiedenen Gemüsen die Konzentration des Farbstoffes unterschiedlich ist. So ist β -Carotin in Karotten aufgrund der Durchfärbung der gesamten Rübe in größerer Menge vorhanden als Anthocyane in der roten Zwiebel, die sich nur in den äußeren Zellschichten der Zwiebelschalen befinden. Durch das Beobachten der Färbung der beiden Lösemittel bei Zugabe von einer annähernd gleichen Menge an Gemüsestückchen des gleichen Gemüses kann jedoch unabhängig von der Farbstoffkonzentration auf das unterschiedliche Löseverhalten des untersuchten Farbstoffes geschlossen werden.

4.5.1.3 Versuch zu einer Fragestellung planen

Eine typische Aktivität der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung ist das Planen von Untersuchungen (National Research Council, 2000). Entsprechend dem Level 2 des Inquiry-based Learning sollen die Schüler*innen eine Untersuchung zu einer vorgegebenen Fragestellung selbstständig planen, durchführen und die Ergebnisse interpretieren (Schwab, 1962).

Um die Schüler*innen bei der Planung eines sinnvollen Versuches zu unterstützen, sollen sie in Vorversuchen zunächst die relevanten Methoden (Löslichkeitsversuche, Ausschüttelversuche) kennenlernen und einüben und dabei bereits erste Erkenntnisse über das Löslichkeitsverhalten von Pflanzenfarbstoffen gewinnen. In Anlehnung an die für die Vorversuche formulierten

Arbeitsanweisungen mit Material, Durchführung und Entsorgungshinweisen sollen sie im Anschluss eine eigenständige Planung für einen Versuch zur Beantwortung der vorgegebenen Forschungsfrage erstellen.

4.5.1.4 *Zusammenhang zwischen dem Löslichkeitsverhalten von Farbstoffen und ihrer chemischen Struktur herstellen*

Die Schlussfolgerungen aus den vorangegangenen Versuchen sollen es den Schüler*innen ermöglichen, eine Reihung der Farbstoffe nach ihrer Löslichkeit in Wasser und Speiseöl vorzunehmen. In der abschließenden Fragestellung sollen sie die Strukturformeln der Farbstoffe aus den verwendeten Gemüsen in ebendieselbe Reihenfolge bringen. Dabei stehen ihnen die Abbildungen der Strukturformeln zur Verfügung. Durch Vergleichen der Strukturformeln sollen sie begründete Vermutungen darüber anstellen, welche Strukturelemente für eine gute bzw. schlechte Löslichkeit in Wasser bzw. in Speiseöl verantwortlich sein können.

Mögliche Strukturelemente:

- Anzahl der Doppelbindungen
- Anordnung der Doppelbindungen
- Molekülform „langgestreckt“ oder „flächig“
- Ringstrukturen
- Anzahl der Sauerstoff-Atome (O)
- Anzahl der Stickstoff-Atome (N)
- Metall-Ionen

Die Fragestellung zielt auf die Anzahl der Sauerstoff-Atome in den Molekülen ab, die durch ihre hohe Elektronegativität polare Bindungen sowohl zu benachbarten Kohlenstoff-Atomen als auch zu Wasserstoff-Atomen eingehen und dadurch eine negative Partialladung erhalten (siehe Kapitel 3.1 Polarität).

Die Farbstoffe β -Carotin, Capsanthin, Chlorophyll a und Cyanidin enthalten unterschiedlich viele Sauerstoff-Atome. Die Anzahl der Sauerstoff-Atome spiegelt das Lösungsverhalten in Wasser und Speiseöl wider (siehe Tabelle 4). So enthält das am besten in Speiseöl lösliche β -Carotin kein einziges Sauerstoff-Atom, während das am besten in Wasser lösliche Cyanidin elf Sauerstoff-Atome besitzt.

Farbstoffe gereiht nach Löslichkeit in Speiseöl	Anzahl der Sauerstoff-Atome
β-Carotin	0
Capsanthin	2
Chlorophyll a	5
Cyanidin	11

Tabelle 4: Anzahl der Sauerstoff-Atome in ausgewählten Pflanzenfarbstoffen

Daraus lässt sich die Vermutung aufstellen, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der chemischen Struktur (in diesem Fall die Anzahl der Sauerstoff-Atome in einem Molekül) und dem Löslichkeitsverhalten des Stoffes in polaren und unpolaren Lösemitteln besteht.

Es bleibt abzuwarten, ob die Schüler*innen auch andere Strukturelemente zur Erklärung des Löslichkeitsverhaltens finden und daraus weitere Vermutungen aufstellen können.

4.5.2 Gestaltung der Lernschachtel

Im Folgenden wird die Gestaltung der Lernschachtel bezüglich der enthaltenen Geräte und Reagenzien sowie der Lernunterlagen in Form eines Arbeitsheftes und Protokollvorlagen detailliert beschrieben. Das vollständige Arbeitsheft sowie die Protokollvorlagen finden sich im Anhang.

4.5.2.1 Einstieg

Als Einstieg wird im Arbeitsheft ein Alltagsphänomen thematisiert, dieses soll die Neugier der Schüler*innen und ihr Interesse am Thema Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen wecken. Mit dem Titel „Der Unfall mit der Suppe“ wird das Kochen einer Suppe aus violetten Karotten in eine Geschichte verpackt dargestellt und das ungewöhnliche Ergebnis – eine dunkelviolett gefärbte Suppe – präsentiert (siehe Abbildung 26).

Zum Einstieg: Der Unfall mit der Suppe

Herr Huber steht gerade etwas ratlos vor seinem Kühlschrank. Er will eine Suppe für seinen kleinen Sohn kochen und sucht dafür die Karotten. Er kann aber keine finden, obwohl er sicher ist, dass seine Frau welche gekauft hat. Er gräbt ein wenig im Gemüsefach und fördert schließlich doch etwas zutage, das aussieht wie eine Karotte – aber auch wieder nicht ganz: Die Form stimmt, der Geruch auch, aber die Farbe ist ein sattes Dunkelviolett.



Egal, denkt Herr Huber, Hauptsache, es gibt eine gute Suppe. Er schneidet die Karotte, gibt sie in einen Topf mit Wasser und stellt den Topf samt Deckel auf den Herd. Nach ein paar Minuten beginnt die Suppe zu duften, Herr Huber pfeift vor sich hin, während er den Tisch deckt. Zum Abschmecken nimmt er den Topfdeckel ab – und traut seinen Augen kaum: Das schaut gar nicht so aus, wie sonst!



Ob sein Sohn das essen wird? Er ist beim Essen wirklich sehr pingelig. Vielleicht findet er es aber auch lustig, wenn man es ihm gut verkauft, wer weiß? Herr Huber schmeckt die Suppe noch ab, gibt die gekochten Suppennudeln dazu und schöpft die Spezialsuppe in die Teller. Er serviert sie seinem Sohn, der schon ungeduldig wartet, mit den Worten: „Heute gibt’s zur Abwechslung mal Wilde-Farben-Suppe – rate mal, woraus die gemacht ist?“ – „Das schaut lustig aus. Schmeckt gut. Kannst du die auch orange machen?“ Herr Huber kratzt sich am Kopf: „Mal schauen ...“

Abbildung 26: Einstiegsgeschichte, Seite 1 und 2 des Arbeitsheftes (Quelle: eigene Fotos)

Bei der Verwendung von orangen Karotten für das Kochen einer Gemüsesuppe färbt sich die Suppe nicht orange, da sich der Farbstoff β -Carotin nicht in Wasser löst. Daher ist die stark violette Verfärbung des Wassers beim Kochen von violetten Karotten überraschend. Herr Huber hat bisher die Erfahrung gemacht, dass beim Kochen einer Gemüsesuppe mit orangen Karotten die Suppe eine beinahe farblose, hellgelbe Färbung aufweist. Die dunkelviolette Suppe entspricht also nicht seiner Vorstellung von einer Karottensuppe.

Die Geschichte wird so in das Arbeitsheft integriert, dass die ungewöhnliche Färbung der Suppe erst beim Umblättern sichtbar wird, um den Aha-Effekt zu verstärken.

Um stereotypen Rollenbildern entgegenzuwirken, ist der Protagonist dieser Geschichte ein Mann mit Kinderbetreuungsaufgaben.

Die abschließende Frage des Sohnes, ob er das – die Gemüsesuppe – auch orange machen könne, soll einen Anstoß geben, mit verschiedenen Gemüsearten und den darin enthaltenen Farbstoffen zu experimentieren. Aus den weiteren Versuchen soll erkennbar werden, ob es orange Pflanzenfarbstoffe gibt, die besser wasserlöslich sind als β -Carotin und daher eine Suppe orange färben können.

4.5.2.2 Vorversuche

Die Vorversuche sollen die Schüler*innen mit dem zu untersuchenden Phänomen, der unterschiedlichen Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen im polaren Lösemittel Wasser und im unpolaren Lösemittel Speiseöl, vertraut machen.

Gleichzeitig werden ihnen die nötigen Arbeitsweisen (Zerkleinern von Gemüse, Extraktion der Farbstoffe mit dem jeweiligen Lösemittel, Ausschüttelversuche zur Ermittlung des Löslichkeitsverhaltens) nähergebracht. Dies dient als Grundlage und Voraussetzung für Aufgabe 1, in der die Lernenden entsprechend Level 2 des Inquiry-based Learning (Schwab, 1960) selbstständig zu einer vorgegebenen Fragestellung einen Versuch planen sollen.

Mögliche Einflüsse auf die Ergebnisse (z.B. Art und Grad der Zerkleinerung von Gemüse, Temperatur der Lösemittel, Abtrennung von Gemüsestückchen etc.) können schon bei den Vorversuchen thematisiert und bei der Planung und Durchführung der weiteren Versuche berücksichtigt werden.

4.5.2.2.1 Vorversuch 1

Zu den Fragestellungen „Wie gut lösen sich die Farbstoffe von Karotten und roten Zwiebeln in heißem Wasser?“ und „Wie gut lösen sich die Farbstoffe von Karotten und roten Zwiebeln in heißem Speiseöl?“ werden die Schüler*innen zu Löseversuchen in zwei unterschiedlichen, im Alltag bei der Zubereitung von Gemüse üblichen Lösemitteln angeleitet (siehe Abbildung 27). Dabei werden heißes Wasser (im Wasserkocher aufgekocht) und heißes Speiseöl (im Wasserbad mit kochendem Wasser erhitzt) als Lösemittel verwendet.

Vorversuch 1: Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen in heißem Wasser und heißem Speiseöl

Bei der Zubereitung von Gemüse wird es entweder gekocht (in heißem Wasser) oder gebraten (in heißem Speiseöl). Die Pflanzenfarbstoffe lösen sich unterschiedlich gut in Wasser bzw. in Speiseöl.

Fragestellung:

„Wie gut lösen sich die Farbstoffe von Karotten und roten Zwiebeln in heißem Wasser?“

„Wie gut lösen sich die Farbstoffe von Karotten und roten Zwiebeln in heißem Speiseöl?“

Material:

Frisches Gemüse:

- Karotte
- Rote Zwiebel

Zusatzlernschachtel:

- Wasserkocher
- Sammelgefäß

Lernschachtel:

- Tasse mit Henkel
- Spritzfläschchen/Speiseöl
- 1 Reagenzglas
- 4 Schnappdeckelgläser
- Permanent Marker

- Holzstäbchen
- Schneidbrett/Messer
- 2 Plastikpipetten
- Reinigungsbürste
- Spritzfläschchen/Spülmittel

Durchführung:

- Befülle die Tasse ca. halb voll mit heißem Wasser aus dem Wasserkocher.
- Befülle ein Reagenzglas ca. 5 cm hoch mit Speiseöl und stelle es in die Tasse.
- Schneide ein Stück Karotte und ein Stück rote Zwiebel in möglichst feine Stücke.
- Nummeriere die Schnappdeckelgläser von 1 bis 4.
- Befülle die Schnappdeckelgläser 1 und 2 mit Hilfe des Holzstäbchens ca. 1 cm hoch mit Karottenstückchen und die Schnappdeckelgläser 3 und 4 ca. 1 cm hoch mit Zwiebelstückchen.
- Füge zu Glas 1 und 3 mit einer Plastikpipette ca. 2 cm hoch heißes Wasser hinzu.
- Füge zu Glas 2 und 4 mit einer Plastikpipette ca. 2 cm hoch heißes Speiseöl hinzu.
- Verschließe die Schnappdeckelgläser und schüttle sie kräftig durch.
- Lass die Gläser ca. 1-2 min stehen und beobachte die Färbung des Wassers bzw. Speiseöls.

Entsorgung/Reinigung:

Entsorge den Inhalt der Gläser in das Sammelgefäß und reinige sie mit Spülmittel und Bürste.
Nicht verwendete Karottenstückchen kannst du für Vorversuch 2 aufheben.

Abbildung 27: Vorversuch 1, Seite 3 des Arbeitsheftes

Abbildung 28 veranschaulicht die Ergebnisse der Löslichkeitsversuche aus Vorversuch 1:

Verwendetes Gemüse			
Färbung in heißem Wasser			
Färbung in heißem Speiseöl			

Abbildung 28: Vergleich der Färbung von heißem Wasser bzw. heißem Speiseöl mit orangen Karotten, roten Zwiebeln und violetten Karotten (Quelle: eigene Fotos)

Die Schüler*innen formulieren selbstständig zur Fragestellung passende Beobachtungen und dokumentieren diese im dafür vorgesehenen Feld der Protokollvorlage (siehe Abbildung 298.2.1), z.B.: „Bei Zugabe von heißem Speiseöl zu roten Zwiebeln färbt sich das Öl nicht.“

Anschließend leiten sie aus den Beobachtungen logische Schlussfolgerungen zur Beantwortung der Fragestellung ab und dokumentieren diese im dafür vorgesehenen Feld der Protokollvorlage (siehe Abbildung 29), z.B.: „Der Farbstoff von roten Zwiebeln löst sich nicht in heißem Speiseöl.“

Protokoll Vorversuch 1:

Fragestellung:

„Wie gut lösen sich die Farbstoffe von Karotten und roten Zwiebeln in heißem Wasser?“

„Wie gut lösen sich die Farbstoffe von Karotten und roten Zwiebeln in heißem Speiseöl?“

Beobachtung:

Schlussfolgerung (Beantwortung der Fragestellung):

Bestätigung durch Lehrperson/Anmerkungen:

Abbildung 29: Protokollvorlage zu Vorversuch 1

4.5.2.2.2 Vorversuch 2

Als Ausschütteln bezeichnet man eine Trennmethode, bei der ein in einem Lösemittel gelöster Stoff durch ein anderes Lösemittel, in dem der Stoff besser löslich ist, extrahiert wird (Ortanderl et al., 2004). Da sich Wasser und Speiseöl nicht mischen lassen, kann man durch einen Ausschüttelversuch herausfinden, in welchem der beiden Lösemittel sich ein Farbstoff besser löst (siehe Abbildung 30).

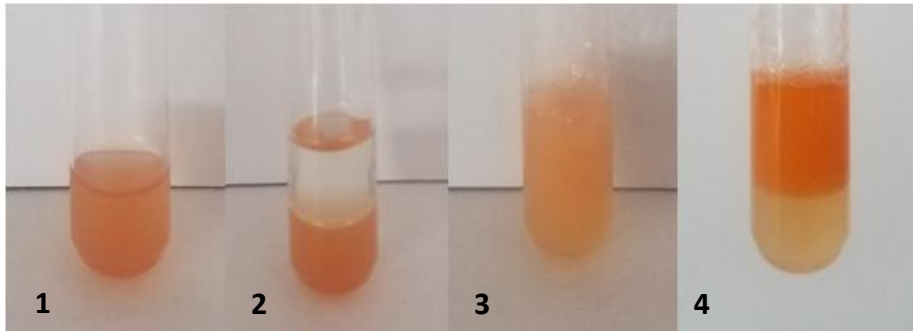


Abbildung 30: Ausschüttelversuch einer wässrigen Farblösung mit Speiseöl (Quelle: eigene Fotos)

- Bild 1: In einem Reagenzglas befindet sich eine wässrige Farbstofflösung.
- Bild 2: Zu dieser Lösung wird farbneutrales Speiseöl gegeben. Das Speiseöl vermischt sich nicht mit der wässrigen Lösung, sondern schwimmt auf dieser, es kommt zu einer Phasenbildung.
- Bild 3: Das Reagenzglas wurde geschüttelt, um die beiden Phasen miteinander zu vermischen.
- Bild 4: Die beiden Lösemittel trennen sich wieder voneinander, der Farbstoff ist nun vorwiegend im Speiseöl (obere Phase) gelöst.

Zur Fragestellung „Löst sich der Farbstoff von Karotten besser in Wasser oder in Speiseöl?“ werden die Schüler*innen zu Löseversuchen angeleitet (siehe Abbildung 31).

Vorversuch 2: Ausschütteln von Farbstoffen in Wasser und Speiseöl

Da sich Wasser und Speiseöl nicht mischen lassen, kann man durch einen Ausschüttelversuch herausfinden, in welchem der beiden Lösemittel sich ein Farbstoff besser löst.

Fragestellung:

„Löst sich der Farbstoff von Karotten besser in Wasser oder in Speiseöl?“

Material:

<u>Frisches Gemüse:</u> • Karotte	• Holzstäbchen • Spritzfläschchen/Wasser	• Spritzfläschchen/Spülmittel
<u>Lernschachtel:</u> • Schneidbrett/Messer • 2 Schnappdeckelgläser	• Spritzfläschchen/Speiseöl • Plastikpipette • Reinigungsbürste	<u>Zusatzlernschachtel:</u> • Sammelgefäß • (ev. Mörser und Pistill) • (ev. Sand)

Durchführung:

- Schneide ein Stück Karotte in möglichst kleine Stücke.
- *(optional: Verreibe die Stückchen mit etwas Sand in einem Mörser mit Pistill.)*
- Fülle die Karottenstücke mit Hilfe des Holzstäbchens ca. 1 cm hoch in ein Schnappdeckelglas.
- Füge mit dem Spritzfläschchen ca. 2 cm hoch (kaltes) Wasser hinzu, verschließe das Schnappdeckelglas und schüttle es kräftig (ca. 1 min lang).
- Füge mit dem Spritzfläschchen ca. 1 cm (kaltes) Speiseöl hinzu, verschließe das Schnappdeckelglas wieder und schüttle es erneut kräftig (ca. 1 min lang).
- Überführe die Flüssigkeit möglichst ohne Karottenstückchen (durch langsames und vorsichtiges Abgießen) in das zweite Schnappdeckelglas.
- Warte, bis sich die beiden Phasen wieder vollständig voneinander getrennt haben (1-2 min).
- Beobachte die Verteilung des Farbstoffes in der Wasserschicht (unten) und der Speiseölschicht (oben).

Entsorgung/Reinigung:

Entsorge den Inhalt der Gläser in das Sammelgefäß und reinige sie mit Spülmittel und Bürste.

Abbildung 31: Vorversuch 2, Seite 4 des Arbeitsheftes

Die Schüler*innen formulieren selbstständig zur Fragestellung passende Beobachtungen und dokumentieren diese im dafür vorgesehenen Feld der Protokollvorlage (siehe Abbildung 32), z.B. „Das Speiseöl ist stark orange gefärbt, das Wasser nur leicht orange“

Anschließend leiten sie aus den Beobachtungen logische Schlussfolgerungen zur Beantwortung der Fragestellung ab und dokumentieren sie im dafür vorgesehenen Feld der Protokollvorlage (siehe Abbildung 32), z.B.: „Der Farbstoff von orangen Karotten löst sich besser in Speiseöl als in Wasser.“

Protokoll Vorversuch 2:

Fragestellung:

„Löst sich der Farbstoff von Karotten besser in Wasser oder in Speiseöl?“

Beobachtung:

Schlussfolgerung (Beantwortung der Fragestellung):

Bestätigung durch Lehrperson/Anmerkungen:

Abbildung 32: Protokollvorlage zu Vorversuch 2

4.5.2.3 Aufgabe 1 – Planen eines Versuches

Nach den Erkenntnissen zur unterschiedlichen Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen aus den Vorversuchen planen die Schüler*innen nun selbstständig einen Versuch, mit dem sie eine Reihung mehrerer Pflanzenfarbstoffe nach ihrer Löslichkeit vornehmen können (siehe Abbildung 33):

Aufgabe 1: Planen eines Versuches zur Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen

Fragestellung:

„Wie können die Farbstoffe aus vier verschiedenen Gemüsearten nach ihrer Löslichkeit in Wasser bzw. in Speiseöl geordnet werden?“

- Plane einen **Versuch**, mit dem du die **Fragestellung** beantworten kannst.
- **Schreibe** dazu eine genaue **Arbeitsanweisung** mit **Material**, **Durchführung** und **Entsorgungshinweisen** unter Verwendung der **Protokollvorlage Aufgabe 1**.

Folgende Materialien stehen dir zur Verfügung:

Frisches Gemüse:

Wähle jeweils 1 Gemüseart pro Farbstoffgruppe (insgesamt 4)

Material Lernschachtel:

- 10 Schnappdeckelgläser
- 1 Schneidbrett
- 1 Messer
- 1 Tasse mit Henkel

- 2 Reagenzgläser

- 2 Plastikpipetten

- 1 Holzstäbchen

- 1 Permanent Marker

- 1 Tropffläschchen/Wasser

- 1 Tropffläschchen/Speiseöl

- 1 Tropffläschchen/Spülmittel

- 1 Reinigungsbürste

Material Zusatzlernschachtel:

- Wasserkocher

- Mörser mit Pistill

- Gemüsereibe

- Schnappdeckelglas mit Sand

- Sieb

- Petrischalen

- Sammelgefäß

Weitere Hinweise:

Überlege, wie du folgende Einflüsse in deinem Versuch berücksichtigen kannst.

- Je größer die **Oberfläche**, an der ein Stoffaustausch stattfindet, umso schneller geht er vonstatten.
- Die **Temperatur** hat ebenfalls einen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Stoffaustausches.
- Wenn das Gemüse sehr stark zerkleinert ist, kann man nicht mehr genau erkennen, ob die Flüssigkeit gefärbt ist oder die kleinen **Feststoff-Stückchen** die Färbung verursachen.
- Das **Volumen** der Wasser- und Speiseölphase soll für eine Vergleichbarkeit gleich groß sein.

Abbildung 33: Aufgabe 1, Seite 5 des Arbeitsheftes

Die Lehrperson kann selbst entscheiden, welche Gemüsearten für die Untersuchung zur Verfügung stehen, oder die Schüler*innen nach Interesse auswählen lassen. Es soll jeweils ein Vertreter aus den folgenden vier Farbstoffgruppen gewählt werden:

- β -Carotin: orange Karotten, Kürbis, ...
- Capsanthin: rote Paprika, gelbe Paprika, ...
- Chlorophyll: grüne Paprika, Gurke (Schale), ...
- Cyanidin: rote Zwiebel, Blaukraut, Radieschen, violette Karotten, ...

Die Schüler*innen erstellen in Anlehnung an die Arbeitsanweisungen zu den Vorversuchen eine Materialliste aus dem zur Verfügung stehenden Material der Lernschachteln. Sie beschreiben die Durchführung in Form von detailliert ausgeführten, sinnvoll gereihten Arbeitsschritten und formulieren Entsorgungshinweise.

Zusätzliche Hinweise auf mögliche Einflussfaktoren hinsichtlich Beobachtung und Schlussfolgerung sollen die Schüler*innen bei der Planung unterstützen.

Die Planung wird auf der Protokollvorlage zur Aufgabe 1 dokumentiert (siehe 8.2.2). Die Lehrperson hat die Möglichkeit, den Schüler*innen in einem Feld der Protokollvorlage Feedback zur Planung zu geben, bevor die Schüler*innen den Versuch durchführen.

4.5.2.4 Aufgabe 2 – Durchführung des Versuches

Die Schüler*innen führen den Versuch anhand ihrer Planung durch (siehe Abbildung 34):

Aufgabe 2: Durchführung des Versuches, Beobachtungen, Schlussfolgerungen

- **Führe** den Versuch nach Rücksprache mit deinem*r Lehrer*in **wie geplant durch**.
- **Notiere** deine **Beobachtungen** auf **Protokollvorlage Aufgabe 2**.
- **Erstelle** mit Hilfe deiner Beobachtungen **eine Reihung** der Gemüsearten **nach der Löslichkeit** ihrer Farbstoffe und **beantworte** damit die **Fragestellung** aus Aufgabe 1.
- Wenn nötig, **ändere** deinen Versuchsplan ab und **wiederhole** den Versuch nach Bestätigung durch die Lehrperson.

Anmerkung: Sollte es der zeitliche Ablauf erfordern, kann die Beobachtung der Ergebnisse und die Fertigstellung von Aufgabe 2 und 3 auch erst einige Tage später erfolgen.

Abbildung 34: Aufgabe 2, Seite 6 des Arbeitsheftes

Abweichungen von der Planung werden gegebenenfalls auf der Protokollvorlage zur Aufgabe 2 (siehe 8.2.2) dokumentiert.

Analog zu den Vorversuchen dokumentieren die Schüler*innen ihre Beobachtungen und erstellen aufgrund dieser eine Reihung der untersuchten Gemüsearten nach der Löslichkeit der Farbstoffe in der Protokollvorlage zur Aufgabe 2 (siehe Abbildung 35):

Beantwortung der Fragestellung/Reihung der Gemüsearten nach Löslichkeit der Farbstoffe:

1. _____	gut löslich in Wasser/schlecht löslich in Öl
2. _____	
3. _____	
4. _____	schlecht löslich in Wasser/gut löslich in Öl

Abbildung 35: Ausschnitt aus der Protokollvorlage zur Aufgabe 2

In Abbildung 36 ist ein Beispiel für die Reihung der Gemüse nach der Löslichkeit ihrer Farbstoffe in Wasser (untere Phase) und Speiseöl (obere Phase) dargestellt:

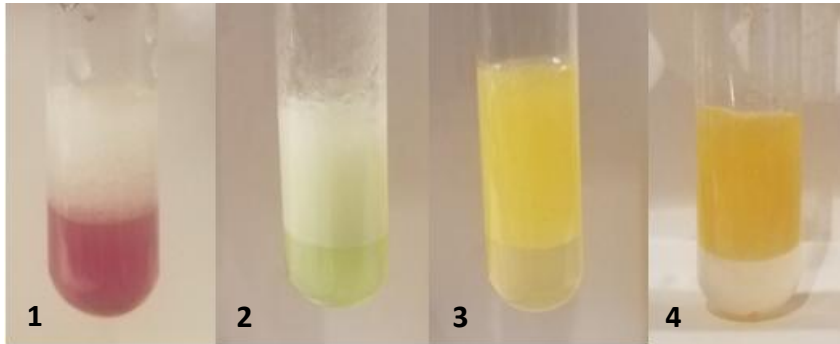


Abbildung 36: Reihung der Farbstoffe nach Löslichkeit in Wasser und Speiseöl von 1) roter Zwiebel, 2) grüne Paprika, 3) gelbe Paprika und 4) orange Karotte (Quelle: eigene Fotos)

Wenn die Beobachtungen nicht oder nicht eindeutig interpretiert werden können, kann die Planung nach Rücksprache mit der Lehrperson geändert werden. Die Änderung wird ebenfalls auf der Protokollvorlage dokumentiert.

4.5.2.5 Aufgabe 3 – Zusammenhang zwischen chemischer Struktur und Löslichkeitsverhalten

Die Schüler*innen stellen Vermutungen zum Zusammenhang zwischen dem Löslichkeitsverhalten der Pflanzenfarbstoffe und ihrer chemischen Struktur auf (siehe Abbildung 37 und Abbildung 38).

Aufgabe 3: Zusammenhang zwischen chemischer Struktur und Löslichkeitsverhalten

Die Abbildungen auf der nächsten Seite zeigen die chemischen Strukturformeln verschiedener Pflanzenfarbstoffe und in welchen Gemüsearten sie hauptsächlich vorkommen.

- **Reihe** die **Pflanzenfarbstoffe** in gleicher Art **nach ihrer Löslichkeit** wie in Aufgabe 2 (verwende dazu **Protokollvorlage Aufgabe 3**).
- **Vergleiche** die **Strukturformeln** der Pflanzenfarbstoffe und **stelle Vermutungen auf**, welche **Strukturelemente** für eine gute/schlechte **Löslichkeit** in Wasser bzw. in Speiseöl verantwortlich sein könnten.

Abbildung 37: Aufgabe 3, Seite 6 des Arbeitsheftes

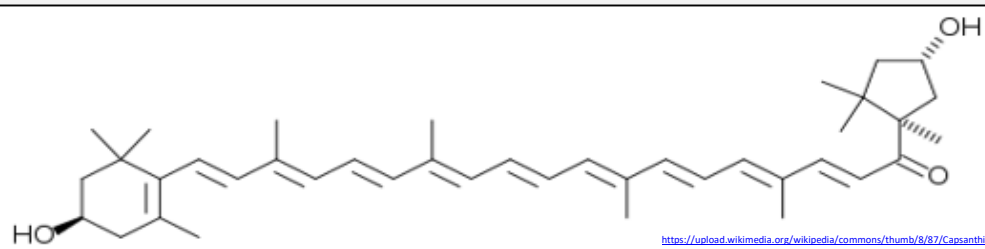
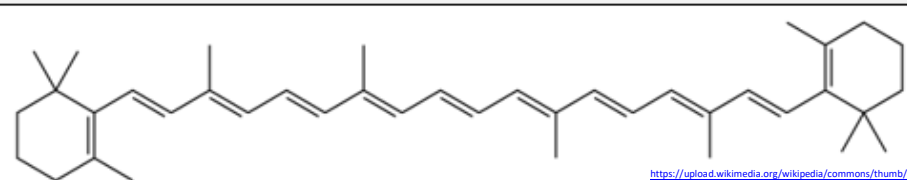
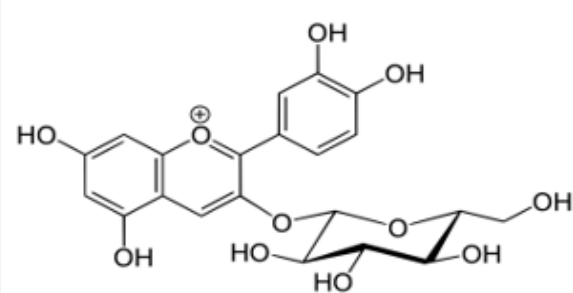
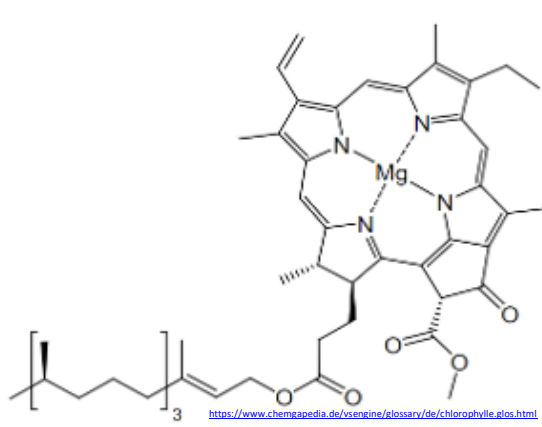
<u>Capsanthin – rote und gelbe Paprika, ...</u>  https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/87/Capsanthin.svg/525px-Capsanthin.svg.png	
<u>β-Carotin – Karotten, Kürbis, ...</u>  https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/27/Beta-Carotin.svg/640px-Beta-Carotin.svg.png	
<u>Cyanidin – rote Zwiebel, Blaukraut, Radieschen, ...</u>  https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/78/Cyanidin_3-O-glucoside.svg/640px-Cyanidin_3-O-glucoside.svg.png	<u>Chlorophyll a – grüne Paprika, Gurke, ...</u>  https://www.chemgapedia.de/vsengine/glossary/de/chlorophyll.glos.html

Abbildung 38: Strukturformeln von Pflanzenfarbstoffen, Seite 7 des Arbeitsheftes (Quellen: siehe Abbildungsverzeichnis)

Für diese Aufgabe ist ein grundsätzliches Verstehen der Skelettformeln hilfreich, aber nicht zwingend nötig. Eine Lesehilfe wird den Schüler*innen zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung 39).

Lesehilfe für die Strukturformeln

Um die chemische Struktur von organischen Verbindungen einfacher und übersichtlicher darstellen zu können, werden statt der **Valenzstrichformeln** von Molekülen sogenannte **Skelettformeln** verwendet (siehe Tabelle):

- Die Elementsymbole der C-Atome und an sie gebundene H-Atome werden nicht mehr angeschrieben.
- Die Bindungen zwischen den C-Atomen werden durch Striche angegeben (wobei jeder Eckpunkt und Endpunkt der Linie ein C-Atom darstellt).
- Einfacher Strich = Einfachbindung, doppelter Strich = Doppelbindung.
- Alle anderen Elemente werden mit ihren Elementsymbolen dargestellt.

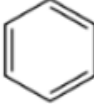
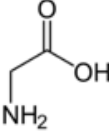
Valenzstrichformel	Skelettformel
$ \begin{array}{c} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array} $	
$ \begin{array}{c} \text{H} & & \text{O} \\ & & // \\ \text{H}-\text{C}-\text{C} & & \\ & & \\ \text{H} & & \text{O}-\text{H} \end{array} $	
$ \begin{array}{c} & \text{H} & \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & = & \text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & = & \text{C}-\text{H} \\ & & \\ & \text{H} & \end{array} $	
$ \begin{array}{c} \text{H} & & \text{O} \\ & & // \\ \text{H}-\text{C}-\text{C} & & \\ & & \\ \text{H}-\text{N}-\text{H} & & \text{O}-\text{H} \end{array} $	

Abbildung 39: Lesehilfe für Skelettformeln, Seite 8 des Arbeitsheftes

Die Schüler*innen dokumentieren die Reihung der Farbstoffe und ihre Vermutungen in der Protokollvorlage zu Aufgabe 3 (siehe 8.2.2).

5 Praktische Umsetzung und Evaluation

5.1 Erprobung im eigenen Unterricht

5.1.1 Zusammenstellung der Lernschachtel

Die Lernschachteln werden in 8-facher Ausführung mit den entsprechenden Materialien befüllt.

Zusätzlich wird eine Schachtel mit Zusatzmaterial, das bei Bedarf benutzt werden kann, erstellt.

Jeweils ein 8-seitiges Arbeitsheft in folierter Form und die Protokollvorlagen für die Vorversuche und Aufgaben werden pro Lernschachtel zur Verfügung gestellt.

5.1.1.1 Material Lernschachtel

- | | |
|------------------------------------|---|
| • 10 Schnappdeckelgläser (10 mL) | • 2 Plastikpipetten (1 mL) |
| • 1 Schneidbrett | • 1 Permanent Marker |
| • 1 Messer | • 1 Reinigungsbürste |
| • 2 Holzstäbchen | • 1 Spritzfläschchen/Speiseöl (20 mL) |
| • 1 Tasse mit Henkel | • 1 Spritzfläschchen/Wasser (20 mL) |
| • 2 Reagenzgläser mit Gummistopfen | • 1 Spritzfläschchen/Spülmittel (10 mL) |

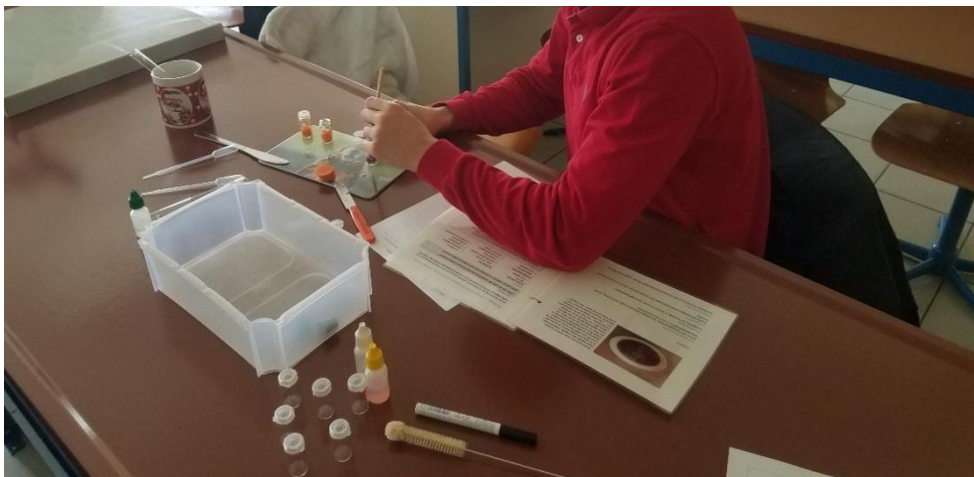


Abbildung 40: Lernschachtel in Erprobung (Quelle: eigenes Foto)

Als Reaktionsgefäße für die Versuche werden Schnappdeckelgläser (ca. 10 mL) verwendet, da ihr kleines Volumen materialsparendes Arbeiten ermöglicht, sie einfach verschließbar sind und keine Halterung (wie bei Reagenzgläsern) nötig ist. Zudem können sie einfach mit einer Bürste gereinigt werden.

Zum Zerkleinern der Gemüse können Schneidbrett und ein aus Sicherheitsgründen stumpfes Messer verwendet werden.

Die Holzstäbchen (Einweg-Esstäbchen) dienen dem Handling der Gemüsestückchen in den Schnappdeckelgläsern.

In einer Tasse mit Henkel transportieren die Schüler*innen das für Vorversuch 1 benötigte heiße Wasser (mit Hilfe des Wasserkochers aus der Zusatzschachtel, siehe 5.1.1.2) sicher vom Lehrertisch zum Arbeitsplatz.

Aus Sicherheitsgründen wird Speiseöl nicht mit einer Kochplatte erhitzt, sondern im Reagenzglas in die mit heißem Wasser gefüllte Tasse gestellt. Das so im Wasserbad erwärmte Speiseöl ermöglicht das Handling mit den damit befüllten Schnappdeckelgläsern ohne Verbrennungsgefahr.

Zum Transfer von erhitztem Wasser und Speiseöl in die Schnappdeckelgläser verwenden die Schüler*innen einfach zu handhabende Plastikpipetten.

Die Schnappdeckelgläser werden mit einem Permanent Marker beschriftet, um die Versuchsansätze sicher zuordnen zu können.

Je 20 mL Speiseöl (grüner Verschluss) und 20 mL Wasser (weißer Verschluss) sind in beschriftete Spritzfläschchen abgefüllt, die ein direktes Zugeben der Reagenzien ohne Pipette ermöglichen. Das verwendete Speiseöl (Bratöl, Sonnenblume) ist nahezu farblos, damit eine Färbung durch die Pflanzenfarbstoffe gut beobachtet werden kann.

Für die Reinigung der Glasgefäße steht neben der Reinigungsbürste Geschirrspülmittel (10 mL in einem Spritzfläschchen, gelber Verschluss) zur Verfügung.

5.1.1.2 *Material Zusatzschachtel*

- 1 Wasserkocher
- 2 Gemüsereiben
- 2 Mörser mit Pistill
- 1 Schnappdeckelglas mit Sand
- 2 Siebe
- 2 Petrischalen
- 1 Sammelgefäß
- Speiseöl zum Nachfüllen

Wasser wird am Lehrertisch mit einem Wasserkocher erhitzt.

Zum Zerkleinern des Gemüses können die Schüler*innen alternativ zum Schneiden Gemüsereiben (Haushaltsgeräte, grob und fein) oder Mörser mit Pistill sowie ev. Sand verwenden.

Für die Abtrennung von Gemüsestückchen stehen feine Siebe zur Verfügung, die Flüssigkeit kann dabei in Petrischalen aufgefangen werden.

Die Schüler*innen entsorgen die ölhaltigen Versuchsansätze in ein Sammelgefäß.

5.1.1.3 *Gemüse*

Für die Erprobung stehen folgende Gemüse (aus vier Farbstoffgruppen) zur Verfügung:

Orange Karotte, rote und gelbe Paprika, grüne Paprika, Gurke, rote Zwiebel, Blaukraut und Radieschen

5.1.2 Unterrichtsplanung

Die Lernschachtel wird im Rahmen einer doppelstündigen Unterrichtseinheit (100 min) mit 12 Schüler*innen der 10. Schulstufe (Realgymnasium, typenbildendes Labormodul „Analytische Chemie“) erprobt.

Zeit/Phase	Aktivitäten der Lehrperson	Aktivitäten der Schüler*innen	Materialien	Setting
10 min/ Einstieg	Die Lehrperson präsentiert das Gemüse und stellt das Thema Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen und die Lernschachtel vor.	Die Schüler*innen bilden Zweierteams und holen sich eine Lernschachtel mit Arbeitsheft und Protokollvorlagen. Sie machen sich mit dem Inhalt der Lernschachtel vertraut und lesen die Einstiegsgeschichte.	Gemüse 8xLernschachtel 8xArbeitsheft 8xProtokollvorlagen	Plenum/ Paararbeit
30 min/ Erarbeitung 1	Die Lehrperson gibt Gemüse und Zusatzmaterial aus. Sie unterstützt die Schüler*innen bei der Erarbeitung.	Die Schüler*innen führen die Vorversuche durch und dokumentieren ihre Beobachtungen und Schlussfolgerungen.	s.o. 1xZusatzschachtel	Paararbeit
15 min/ Erarbeitung 2	Die Lehrperson unterstützt die Schüler*innen bei der Planung und bestätigt diese auf der Protokollvorlage.	Die Schüler*innen planen einen Versuch lt. Aufgabe 1 und dokumentieren ihre Planung.	s.o.	Paararbeit
25 min/ Erarbeitung 3	Die Lehrperson gibt Gemüse und Zusatzmaterial aus. Sie unterstützt die Schüler*innen bei der Durchführung des geplanten Versuches.	Die Schüler*innen führen den geplanten Versuch lt. Aufgabe 2 durch und dokumentieren ihre Beobachtungen und Schlussfolgerungen. Sie entsorgen die Reste und reinigen die Geräte.	s.o. Waschbecken	Paararbeit
20 min/ Erarbeitung 4	Die Lehrperson unterstützt die Schüler*innen bei der Bearbeitung.	Die Schüler*innen bearbeiten Aufgabe 3 und dokumentieren ihre Vermutungen.	s.o.	Paararbeit

Tabelle 5: Unterrichtsplanung

5.2 Qualitative Inhaltsanalyse

Um die Erreichung der Lehrziele (siehe 4.3.5) zu evaluieren, wurde eine strukturierende Inhaltsanalyse des erhobenen Datenmaterials, also der von Schüler*innen im Rahmen der Unterrichtseinheit erstellten Protokolle, in Anlehnung an die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring, 2015) durchgeführt. Dazu wurden vorab Hauptkategorien festgelegt (deduktive Kategorienbildung), die aus den Lehrzielen abgeleitet wurden. Diese Hauptkategorien wurden durch aus dem Datenmaterial abgeleitete Subkategorien (induktive Kategorienbildung) strukturiert. Die Analyseeinheiten des Datenmaterials wurden kategorisiert, indem sie den jeweiligen Haupt- und Subkategorien zugeordnet wurden. Eine Quantifizierung der zugeordneten Analyseeinheiten wurde vorgenommen. Abschließend wurden die Ergebnisse einer Interpretation unterzogen. Eine Übersicht über die Rohdaten findet sich im Anhang.

5.2.1 Entstehungssituation des Materials

Die Protokolle wurden von zwölf Schüler*innen jeweils in Paararbeit mit Hilfe der Vorlagen aus der Lernschachtel erstellt. Die Schüler*innen waren bereits mit der Durchführung von Versuchen nach vorgegebener Arbeitsanweisung und der selbstständigen Erstellung eines Protokolls vertraut. Der Einsatz einer Lernschachtel sowie die selbstständige Planung eines Versuches zu einer konkreten Fragestellung wurde das erste Mal durchgeführt.

Alle sechs Gruppen konnten die Vorversuche sowie Aufgaben 1 und 2 innerhalb der Unterrichtseinheit bearbeiten, Gruppe 6 gab allerdings zu den Vorversuchen und Gruppe 3 zu Aufgabe 2 kein Protokoll ab. Aus Zeitgründen wurde Aufgabe 3 nur von einer Gruppe erledigt, weshalb dazu keine Analyse durchgeführt werden konnte.

5.2.2 Material

5.2.2.1 Festlegung des Materials

Die Protokolle zu den Vorversuchen, zur Planung und Durchführung eines Versuches und zum Zusammenhang zwischen chemischer Struktur und Löseverhalten werden als Ausgangsmaterial verwendet.

In der folgenden Tabelle wird ein Überblick über die für die Analyse herangezogenen Teile der Protokolle gegeben:

Protokoll	Aufgabenstellung	Anzahl der Protokolle
Vorversuch 1	Beobachtungen dokumentieren	5
	Schlussfolgerungen ableiten und dokumentieren	5
Vorversuch 2	Beobachtungen dokumentieren	5
	Schlussfolgerungen ableiten und dokumentieren	5
Aufgabe 1	Versuch zur Fragestellung planen und dokumentieren	6
Aufgabe 2	Beobachtungen dokumentieren	5
	Schlussfolgerungen ableiten und dokumentieren	5
Aufgabe 3	Vermutungen zum Zusammenhang zwischen chemischer Struktur und Löseverhalten aufstellen und dokumentieren	1

Tabelle 6: Überblick über die analysierten Teile der Protokolle

Aufgrund der geringen Menge an Daten wurde von einer Analyse mit Hilfe eines Computerprogramms abgesehen.

5.2.2.2 Formale Charakteristika des Materials

Die Schüler*innen füllten die Protokollvorlagen handschriftlich aus. Diese Daten wurden für die Analyse in ein Word-Dokument übertragen, wobei Rechtschreib- und Grammatikfehler mitübernommen wurden.

Die Protokolle wurden anonymisiert und mit Gruppe 1 bis Gruppe 6 benannt, um eine Verknüpfung der Aussagen innerhalb einer Gruppe zu ermöglichen.

5.2.3 Fragestellung der Analyse

Durch die strukturierende Analyse sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

Forschungsfrage 1:

Inwiefern können Schüler*innen zur Fragestellung passende Beobachtungen machen und dokumentieren?

Forschungsfrage 2:

Inwiefern können Schüler*innen aus den dokumentierten Beobachtungen logische Schlussfolgerungen ableiten und dokumentieren?

Forschungsfrage 3:

Inwiefern können Schüler*innen einen zur Fragestellung passenden Versuch selbstständig planen und beschreiben?

5.2.4 Festlegung des Kategoriensystems/Definition der Kategorien

Zur Beantwortung der Fragestellungen wurden folgende Hauptkategorien deduktiv festgelegt:

- Dokumentation von Beobachtungen
- Ableitung und Dokumentation von Schlussfolgerungen
- Planen und Beschreiben eines Versuches

Die Auswertungseinheit war jeweils ein Protokoll. Als Analyseeinheit wurden Sinneinheiten festgelegt, diese umfassen ganze Sätze oder Satzteile, aber auch Konstruktionen mit Doppelpunkt oder Aufzählungen. Die gesamte Antwort oder Ausführung der Schüler*innen zu einem der im Protokoll geforderten Unterpunkte wurde als Kontexteinheit definiert.

Die induktiv ermittelten Subkategorien (Mayring, 2015) sind in der folgenden Übersicht dargestellt und mit Ankerbeispielen erläutert (siehe Tabelle 7, Tabelle 8 und Tabelle 9).

Hauptkategorie	Subkategorie	Ankerbeispiele	Anzahl (Prozentsatz)
Dokumentation von Beobachtungen (43)	korrekte, zur Fragestellung passende Beobachtung	„Karotte + heißes Speiseöl: Öl verfärbt sich stark orange und wird trüb.“ (Gruppe 2, Vorversuch 1)	22 (51%)
	korrekte, nicht zur Fragestellung passende Beobachtung	„Zwiebel hat einen beißenden Geruch.“ (Gruppe 1, Vorversuch 1) „Es ist deutlich erkennbar, dass sich bei allen Öl von Wasser trennt.“ (Gruppe 6, Vorversuch 1)	6 (14%)
	nicht korrekte Beobachtung	„Bei den Gläsern mit Öl hat es sich ganz wenig abgefärbt.“ (Gruppe 3, Vorversuch 1: Karotte/rote Zwiebel + heißes Speiseöl)	3 (7%)
	keine Beobachtung	„Bei der Karotte löst sich der Farbstoff besser in Öl auf.“ (Gruppe 4, Vorversuch 2)	12 (28%)

Tabelle 7: Übersicht zur Hauptkategorie Dokumentation von Beobachtungen

Hauptkategorie	Subkategorie	Ankerbeispiele	Anzahl (Prozentsatz)
Ableitung und Dokumentation von Schlussfolgerungen (25)	korrekt aus Beobachtungen abgeleitete Schlussfolgerung	Vorangegangene Beobachtung: „Das Wasser bei der Zwiebel hat sich verfärbt, bei Öl nicht.“ Schlussfolgerung: „Der Farbstoff von der Zwiebel löst sich intensiver im Wasser als in Öl.“ (Gruppe 1, Vorversuch 1)	18 (72%)
	korrekt aus Beobachtungen abgeleitete Schlussfolgerung, nicht zur Fragestellung passend	Vorangegangene Beobachtung: „Das Öl schwimmt an der Oberfläche und das Wasser unterhalb.“ Schlussfolgerung: „Das Öl ist leichter und weniger dicht und darum schwimmt Öl auf Wasser.“ (Gruppe 4, Vorversuch 2)	2 (8%)
	nicht korrekt aus Beobachtungen abgeleitete Schlussfolgerung	Vorangegangene Beobachtung: „Öl hat sich bei der Karotte verfärbt und auch das Wasser.“ Schlussfolgerung: „Der Farbstoff von der Karotte löst sich intensiver in Öl als in Wasser.“ (Gruppe 1, Vorversuch 1)	4 (16%)
	Widerspruch zwischen Beobachtung und erwartetem Ergebnis.	Vorangegangene Beobachtung: „Reihung der Gemüsearten nach Löslichkeit der Farbstoffe in Wasser: 1. Roter Paprika, 2. Grüner Paprika, 3. Zwiebel, 4. Karotte“ Schlussfolgerung: „Und zwar die Zwiebel sollte Platz 1 sein, ist so aber nicht.“ (Gruppe 2, Aufgabe 2)	1 (4%)

Tabelle 8: Übersicht zur Hauptkategorie Ableitung und Dokumentation von Schlussfolgerungen

Hauptkategorie	Subkategorie	Ankerbeispiele	Anzahl (Prozentsatz)
Planen und Beschreiben eines Versuches (47)	sinnvoller Planungsschritt, vollständig/genau beschrieben	„Beschrifte alle Schnappdeckelgläser von 1-8.“ (Gruppe 6, Aufgabe 1) „Es wird in 4 der 8 Gläser 1cm Speiseöl und 1cm Wasser gegeben.“ (Gruppe 5, Aufgabe 1)	27 (58%)
	sinnvoller Planungsschritt, unvollständig/ungenau beschrieben	„Dann füllt man abwechselnd Öl und Wasser in die Schnappdeckelgläser zu den Gemüsen hinzu.“ (Gruppe 1, Aufgabe1) „Wir haben das Gemüse zerkleinert.“ (Gruppe 3, Aufgabe 1)	10 (21%)
	nicht sinnvoller Planungsschritt	„Die Trennung der Gemüsestücke von der Lösung ist nicht notwendig.“ (Gruppe 2, Aufgabe 1)	1 (2%)
	nicht korrekter Planungsschritt	„Das Gemüse in ein Marmeladeglas geben und die Flüssigkeit ganz normal in den Abfluss leeren.“ (Gruppe 4, Aufgabe 1) (Anmerkung: Öl-Wasser-Gemisch muss anders entsorgt werden.)	1 (2%)
	fehlender Planungsschritt	„... in die jeweiligen Schnappdeckelgläser gegeben und es mit Wasser gleich viel befüllt. [✓] Paprika und Radiesen haben das Wasser am meisten verfärbt.“ (Gruppe 3, Aufgabe 1)	5 (11%)
	kein Planungsschritt	„Paprika und Radiesen haben das Wasser am meisten verfärbt.“ (Gruppe 3, Aufgabe 1)	3 (6%)

Tabelle 9: Übersicht zur Hauptkategorie Planen und Beschreiben eines Versuches

5.2.5 Darstellung der Ergebnisse der Analyse

5.2.5.1 Hauptkategorie „Dokumentation der Beobachtungen“

In der Hauptkategorie „Dokumentation der Beobachtungen“ konnten insgesamt vier Subkategorien induktiv ermittelt und die insgesamt 43 dokumentierten Beobachtungen diesen zugeordnet werden (siehe Tabelle 7).

In die Subkategorie **„korrekte, zur Fragestellung passende Beobachtung“** fielen 22 Aussagen und somit der größte Anteil (51%). Dieser Subkategorie wurden Aussagen zugeordnet, in denen beobachtbare Ereignisse korrekt und hinreichend genau beschrieben wurden, und die für eine Beantwortung der Fragestellung geeignet waren, wie im Ankerbeispiel: *„Karotte + heißes Speiseöl: Öl verfärbt sich stark orange und wird trüb“* (Gruppe 2, Vorversuch 1). Die Beobachtung der Farbänderung und Trübung der Ölphase wurde korrekt beschrieben und kann zur Beantwortung der Fragestellung „Wie gut lösen sich die Farbstoffe von Karotten [...] in heißem Speiseöl?“ herangezogen werden.

Eine weitere Subkategorie wurde mit **„korrekte, nicht zur Fragestellung passende Beobachtung“** definiert. Dieser Kategorie wurden sechs Stellen zugeordnet, was einem Anteil von 14% entspricht. Hier zugeordnete Beobachtungen sind nicht dazu geeignet, die Fragestellung zu beantworten, auch wenn sie korrekt und hinreichend genau beschrieben wurden. Als Ankerbeispiel wird die Aussage *„Zwiebel hat einen beißenden Geruch“* (Gruppe 1, Vorversuch 1) zitiert. Unbestritten korrekt dient diese Beobachtung jedoch nicht der Beantwortung der Fragestellung.

In die dritte Subkategorie **„nicht korrekte Beobachtung“** fallen drei Stellen, somit 7%. Unter „nicht korrekte Beobachtung“ werden Beobachtungen verstanden, die fachlich nicht richtig sind, also den Beobachtungen der Lehrperson und den Angaben in der Literatur widersprechen. Das Ankerbeispiel *„Bei den Gläsern mit Öl hat es sich ganz wenig abgefärbt“* (Gruppe 3, Vorversuch 1) beschreibt, dass sowohl bei Karotten als auch bei roten Zwiebeln in den Versuchsansätzen mit Öl nur eine geringe Verfärbung zu erkennen ist, diese wird auch nicht näher unterschieden. Tatsächlich färbt der Farbstoff aus den Karottenstückchen das Öl intensiv orange, während der Farbstoff aus den Zwiebelstückchen keine Färbung der Ölphase bewirkt. Da dieser Unterschied in der formulierten Beobachtung nicht beschrieben wurde, wurde sie als nicht korrekt eingeordnet.

Die letzte Subkategorie zur Dokumentation von Beobachtungen wurde mit **„keine Beobachtung“** definiert, immerhin zwölf Aussagen werden dieser Subkategorie zugeordnet, was einem Anteil von 28% entspricht. Aussagen, die in diese Kategorie fallen, sind keine Beobachtungen im Sinne einer Beschreibung der wahrnehmbaren Veränderung, sondern bereits eine Schlussfolgerung. Im Ankerbeispiel *„Bei der Karotte löst sich der Farbstoff besser in Öl auf“* (Gruppe 4, Vorversuch 2)

wurde nicht die beobachtete Farbänderung des Speiseöls beschrieben, sondern bereits die Schlussfolgerung gezogen, dass sich der Farbstoff besser in Speiseöl löst.

5.2.5.2 Hauptkategorie „Ableitung und Dokumentation von Schlussfolgerungen“

In der Hauptkategorie „Ableitung und Dokumentation von Schlussfolgerungen“ konnten insgesamt 25 Stellen vier Subkategorien zugeordnet werden (siehe Tabelle 8). Der Subkategorie **„korrekt aus Beobachtungen abgeleitete Schlussfolgerung“** konnten 18 Stellen zugeordnet werden, das entspricht einem Anteil von 72%. Die Aussagen, die dieser Subkategorie zugeordnet werden, sind logisch folgerichtig und somit korrekt aus den zuvor gemachten Beobachtungen abgeleitet, wobei es keine Rolle spielt, ob die Beobachtungen selbst korrekt oder nicht korrekt sind. Im Ankerbeispiel *„Der Farbstoff von der Zwiebel löst sich intensiver im Wasser als in Öl“* (Gruppe 1, Vorversuch 1) zogen die Schüler*innen eine logische Schlussfolgerung aus der zuvor gemachten Beobachtung *„Das Wasser bei der Zwiebel hat sich verfärbt, bei Öl nicht“* (Gruppe 1, Vorversuch 1).

In der zweiten Subkategorie wurden Schlussfolgerungen zusammengefasst, die zwar logisch folgerichtig und korrekt aus Beobachtungen abgeleitet wurden, aber nicht dazu geeignet waren, die Fragestellung zu beantworten: **„korrekt aus Beobachtungen abgeleitete Schlussfolgerung, nicht zur Fragestellung passend“**. Nur zwei Aussagen und somit 8% fallen in diese Subkategorie. Das folgende Ankerbeispiel *„Das Öl ist leichter und weniger dicht und darum schwimmt Öl auf Wasser“* (Gruppe 4, Vorversuch 2) ist zwar logisch folgerichtig und korrekt aus der Beobachtung *„Das Öl schwimmt an der Oberfläche und das Wasser unterhalb“* (Gruppe 4, Vorversuch 2) abgeleitet, hat aber für die Beantwortung der Fragestellung keine Relevanz.

Als **„nicht korrekt aus Beobachtungen abgeleitete Schlussfolgerung“** wurden vier Aussagen kategorisiert, das entspricht einem Anteil von 16%. In dieser Subkategorie finden sich Aussagen, die nicht logisch folgerichtig aus den zuvor gemachten Beobachtungen ableitbar sind, unabhängig davon, ob die Schlussfolgerung grundsätzlich eine korrekte Aussage ist oder nicht. Im Ankerbeispiel *„Der Farbstoff von der Karotte löst sich intensiver in Öl als in Wasser“* (Gruppe 1, Vorversuch 1) ist zwar die Aussage richtig, da diese Schlussfolgerung aber auf der Beobachtung *„Öl hat sich bei der Karotte verfärbt und auch das Wasser“* (Gruppe 1, Vorversuch 1) basiert, ist sie nicht logisch folgerichtig abgeleitet. In der Beobachtung wird kein Unterschied zwischen der Verfärbung des Öls und des Wassers nach der Zugabe von Karotten gemacht, daher kann daraus nicht geschlossen werden, dass sich der Karottenfarbstoff besser in Öl löst.

In die letzte Subkategorie, der nur eine Aussage (4%) zugeordnet werden konnte, wurde ein **„Widerspruch zwischen Beobachtung und erwartetem Ergebnis“** eingeordnet. Die Schüler*innen von Gruppe 2 halten in Aufgabenstellung 2 fest: *„Und zwar die Zwiebel sollte Platz 1 sein, ist so aber nicht“*. Die Schlussfolgerung in der Aufgabenstellung *„1. Roter Paprika, 2. Grüner Paprika, 3. Zwiebel,*

4. Karotte“ wurde korrekt aus den Beobachtungen abgeleitet, aber die Schüler*innen zweifelten an der Richtigkeit der Reihenfolge.

5.2.5.3 Hauptkategorie Planen und Beschreiben eines Versuches

Die insgesamt 47 Analyseeinheiten, die in diese Hauptkategorie fallen, konnten sechs Subkategorien zugeordnet werden (siehe Tabelle 9).

Die Subkategorie **„sinnvoller Planungsschritt, vollständig/genau beschrieben“** umfasst alle Aussagen, die eine für die Aufgabenstellung zielführende und hinreichend genau und vollständig beschriebene Vorgangsweise in einer sinnvollen Abfolge für die Durchführung des Versuches darstellen. Insgesamt konnten mit 27 Aussagen (58%) mehr als die Hälfte aller Aussagen in diese Subkategorie eingeordnet werden. Das erste Ankerbeispiel *„Beschrifte alle Schnappdeckelgläser von 1-8“* (Gruppe 6, Aufgabe 1) ist ein sinnvoller Arbeitsschritt, um eine richtige Zuordnung der acht Versuchsansätze zu gewährleisten. Im zweiten Ankerbeispiel *„Es wird in 4 der 8 Gläser 1cm Speiseöl und 1cm Wasser gegeben“* (Gruppe 5, Aufgabe 1) wird die Zugabe der beiden Lösemittel beschrieben. Dabei wird genau definiert, was und wie viel in welches Behältnis transferiert wird. Da sowohl Speiseöl als auch Wasser in Spritzfläschchen zur Verfügung stehen, braucht die Art der Überführung nicht extra erwähnt zu werden.

In die zweite Subkategorie **„sinnvoller Planungsschritt, unvollständig/ungenau beschrieben“** fallen mit 10 Stellen 27% der Aussagen. Die beschriebenen Arbeitsschritte sind zwar für die Aufgabenstellung zielführend und in einer sinnvollen Abfolge angeordnet, sind aber nicht vollständig und/oder nur ungenau beschrieben, sodass wesentliche Informationen für die Durchführung fehlen. Im Ankerbeispiel *„Dann füllt man abwechselnd Öl und Wasser in die Schnappdeckelgläser zu den Gemüsen hinzu“* (Gruppe 1, Aufgabe 1) fehlt die Volumenangabe, daher ist die Aussage unvollständig. Ebenso ist durch die Formulierung *„abwechselnd“* nicht eindeutig, wie dieser Transferprozess vor sich gehen soll, die Beschreibung ist zu ungenau.

Ein weiteres Ankerbeispiel *„Wir haben das Gemüse zerkleinert“* (Gruppe 3, Aufgabe 1) demonstriert ebenfalls eine zu ungenaue Formulierung: Da in der Lernschachtel sowohl Messer/Schneidbrett als auch Mörser/Stößel zur Verfügung stehen, ist in dieser Beschreibung nicht ersichtlich, auf welche Art das Gemüse zerkleinert wurde.

In die beiden Subkategorien **„nicht sinnvoller Planungsschritt“** und **„nicht korrekter Planungsschritt“** fällt jeweils nur eine Aussage, was einem Anteil von je 2% entspricht. Die Aussage *„Die Trennung der Gemüsestücke von der Lösung ist nicht notwendig“* (Gruppe 2, Aufgabe 1) stellt einen nicht sinnvollen Planungsschritt dar, da sie einen überflüssigen Arbeitsschritt beschreibt. Als nicht korrekter Planungsschritt wird die Aussage *„Das Gemüse in ein Marmeladeglas geben und die Flüssigkeit ganz normal in den Abfluss leeren“* (Gruppe 4, Aufgabe 1) gewertet, da die Flüssigkeit ein

Öl-Wasser-Gemisch ist, das in ein Sammelgefäß entsorgt werden muss und nicht in den Abfluss geleert werden darf. Diese Information ist in den Arbeitsanweisungen der Vorversuche enthalten und den Schüler*innen somit bekannt.

Um abbilden zu können, ob alle nötigen Arbeitsschritte für die Planung des Versuches vollständig vorliegen, wurde die negative Subkategorie „**fehlender Planungsschritt**“ eingeführt. Als Ankerbeispiel dafür werden die zwei Analyseeinheiten angegeben, die vor bzw. nach dem fehlenden Arbeitsschritt beschrieben wurden, und der fehlende Arbeitsschritt wird mit dem Symbol [V] gekennzeichnet: „... in die jeweiligen Schnappdeckelgläser gegeben und es mit Wasser gleich viel befüllt. [V] Paprika und Radiesen haben das Wasser am meisten verfärbt“ (Gruppe 3, Aufgabe 1). In dieser Beschreibung fehlen sowohl das Schütteln der Behältnisse nach der Zugabe von Wasser als auch die Zugabe von Speiseöl, die für die Beantwortung der Fragestellung unbedingt nötig ist. In Summe konnten fünf fehlende Arbeitsschritte (11%) ermittelt werden.

Unter die Subkategorie „**kein Planungsschritt**“ wurden drei Analyseeinheiten (6%) subsummiert. Dabei handelt es sich um Aussagen, die keine Planungsschritte für die Versuchsdurchführung darstellen, sondern wie im Ankerbeispiel „Paprika und Radiesen haben das Wasser am meisten verfärbt“ (Gruppe 3, Aufgabe 1) um eine Beobachtung.

5.2.6 Interpretation der Ergebnisse

5.2.6.1 Dokumentation von Beobachtungen

Forschungsfrage 1:

Inwiefern können Schüler*innen zur Fragestellung passende Beobachtungen machen und dokumentieren?

Die Ergebnisse zeigen, dass nur etwa die Hälfte der dokumentierten Beobachtungen der Schüler*innen sowohl korrekt als auch zur Fragestellung passend ist. Daraus lässt sich ableiten, dass trotz der Erfahrung der Schüler*innen mit der Abfassung von Protokollen das korrekte Beobachten und Dokumentieren dieser Beobachtungen nicht in ausreichendem Maß beherrscht wird.

Es wurden zwei Beobachtungen festgehalten, die für die Fragestellung nicht relevant sind. Diese können aber trotzdem – oder vielleicht gerade deswegen! – wichtig sein, da sie Hinweise auf Probleme mit der aktuellen Fragestellung geben oder andere Fragestellungen aufwerfen können. In diesem Zusammenhang möchte ich Sir Alexander Fleming erwähnen, der durch die zwar korrekte, aber nicht zur Fragestellung passende Beobachtung der verschimmelten Bakterienkulturen das Penicillin entdeckte (Birch, 1993). Auch wenn aus dem oben zitierten Ankerbeispiel *„Zwiebel hat einen beißenden Geruch“* (Gruppe 1, Vorversuch 1) keine derart bahnbrechende Erkenntnis zu erwarten ist, ist diese Beobachtung doch ein Hinweis darauf, dass das Arbeiten mit Zwiebeln für die Schüler*innen unangenehm ist, was sich negativ auf ihre Motivation auswirken kann. Eventuell können sich aus der Beobachtung aber auch weitere Fragestellungen ergeben: Welcher Stoff löst den beißenden Geruch aus? Löst sich dieser Stoff in Wasser oder in Öl?

Nicht korrekte Beobachtungen waren mit drei Aussagen nur in einem geringen Maß vertreten. Bei diesen Aussagen kann nicht beurteilt werden, ob die Beobachtungen deshalb nicht korrekt waren, weil bei der Planung oder Durchführung des Versuches ein Fehler passierte, oder ob die Dokumentation der Beobachtung fehlerhaft war. Um in einem Feedback darauf eingehen zu können, wäre hier die Dokumentation der Farbänderungen mithilfe eines Fotos nützlich.

28% der dokumentierten Aussagen sind keine Beobachtungen, sondern Schlussfolgerungen. Die Schüler*innen konnten in diesen Fällen also nicht zwischen Beobachtung und Schlussfolgerung unterscheiden. Die Zuordnung dieser Aussagen zu den Gruppen bzw. der Aufgabe ergibt ein differenzierteres Bild. In der folgenden Tabelle (siehe Tabelle 10) werden in der Spalte „Beobachtung“ alle Analyseeinheiten eingeordnet, die grundsätzlich Beobachtungen sind, unabhängig davon, ob sie korrekt/nicht korrekt oder zur Fragestellung passend/nicht passend sind. Diese Spalte fasst demnach die drei ersten Subkategorien zusammen und wird der Spalte „keine Beobachtung“, also der vierten Subkategorie, gegenübergestellt. Zusätzlich wird für jede Gruppe

angegeben, ob die Aussagen aus den Protokollen der Vorversuche oder aus Aufgabe 2 entnommen sind.

Gruppe	Aufgabe	Beobachtung	Keine Beobachtung
Gruppe 1	Vorversuche	4	1
	Aufgabe 2	0	4
Gruppe 2	Vorversuche	7	0
	Aufgabe 2	0	4
Gruppe 3	Vorversuche	2	2
Gruppe 4	Vorversuche	3	1
	Aufgabe 2	2	0
Gruppe 5	Vorversuche	4	0
	Aufgabe 2	4	0
Gruppe 6	Aufgabe 2	5	0

Tabelle 10: Zuordnung der Beobachtungen zu den Gruppen bzw. Aufgaben

Die Verteilung der Aussagen, die keine Beobachtungen darstellen, ist in den Gruppen sehr unterschiedlich. Während die Gruppen 5 und 6 ausschließlich Beobachtungen dokumentierten, sind bei Gruppe 1 fünf (von insgesamt neun) und bei Gruppe 2 vier (von insgesamt elf) der dokumentierten Aussagen keine Beobachtungen. Bei Gruppe 3 halten sich die Aussagen mit zwei Beobachtungen und zwei Nicht-Beobachtungen die Waage, bei Gruppe 4 ist lediglich eine von sechs Aussagen als keine Beobachtung zu werten. Daraus kann geschlossen werden, dass das richtige Dokumentieren einer Beobachtung individuell unterschiedlich von Schüler*innen beherrscht wird und nicht für alle klar ist, was eine Beobachtung von einer Schlussfolgerung unterscheidet. Spannend ist auch die weitere Differenzierung nach der Nummer der Aufgabe, da so ersichtlich wird, dass von den zwölf Nicht-Beobachtungen acht in Aufgabe 2 und nur vier in den Vorversuchen dokumentiert wurden. Eine mögliche Interpretation dieser Tendenz ist, dass durch die Durchführung der Vorversuche einige Beobachtungen und Schlussfolgerungen für Aufgabe 2 schon bekannt waren. Die Schüler*innen haben möglicherweise die bereits gemachte Beobachtung „übersprungen“ und gleich eine Schlussfolgerung angegeben.

5.2.6.2 Ableitung und Dokumentation von Schlussfolgerungen

Forschungsfrage 2:

Inwiefern können Schüler*innen aus den dokumentierten Beobachtungen logische Schlussfolgerungen ableiten und dokumentieren?

Mit insgesamt 80% der Analyseeinheiten, die in die beiden Subkategorien **korrekt aus den Beobachtungen abgeleitete Schlussfolgerung** fallen (dies umfasst Schlussfolgerungen aus zur Fragestellung passenden und nicht passenden Beobachtungen), kann diese Forschungsfrage weitgehend positiv beantwortet werden: Die Schüler*innen können überwiegend auf Basis der zuvor gemachten und dokumentierten Beobachtungen logische, das heißt, folgerichtige Schlüsse ableiten. Sie verknüpfen also ihr Wissen über den Vorgang der Löslichkeit eines Stoffes mit der beobachteten Farbänderung des Lösemittels und leiten aus der unterschiedlichen Intensität der Färbung Unterschiede im Löslichkeitsverhalten der Stoffe ab. Dabei konnten in jeder Gruppe (mit Ausnahme von Gruppe 6 aufgrund der fehlenden Vorversuche) zumindest zwei Aussagen dieser Subkategorie zugeordnet werden (siehe Tabelle 11).

Lediglich 16% der untersuchten Aussagen sind **nicht korrekt aus den Beobachtungen abgeleitete Schlussfolgerungen**, das heißt die gezogenen Schlüsse lassen sich nicht folgerichtig auf die gemachten und dokumentierten Beobachtungen zurückführen. Die Verteilung dieser Subkategorie innerhalb der Gruppen ist unauffällig (siehe Tabelle 11).

Gruppe	Korrekte Schlussfolgerung	Nicht korrekte Schlussfolgerung
Gruppe 1	5	2
Gruppe 2	5	0
Gruppe 3	2	1
Gruppe 4	3	1
Gruppe 5	4	0
Gruppe 6	1	0

Tabelle 11: Anzahl korrekter und nicht korrekter Schlussfolgerungen nach Gruppen geordnet

Mit der Aussage aus Gruppe 2, die einen **Widerspruch zwischen Beobachtung und erwarteten Ergebnis** aufzeigt, wird ein Problemfeld in der wissenschaftlichen Erkenntnisfindung aufgerissen: Die Erwartungshaltung bezüglich der Ergebnisse kollidiert mitunter mit den tatsächlich gemachten Beobachtungen, was dazu führen kann, dass Beobachtungen nicht oder nicht korrekt dokumentiert werden. Diese Verhaltensweise widerspricht den Richtlinien der Österreichischen Agentur für

wissenschaftliche Integrität (ÖAWI, 2015), in denen es heißt: „(2) Als wissenschaftliches Fehlverhalten [...] sind insbesondere folgende Verhaltensweisen anzusehen: [...] Die Fälschung von Daten („falsification“), z.B. durch die Manipulation des Forschungsprozesses, die Abänderung oder das selektive Weglassen von Daten, die der Forschungsthese widersprechen oder die irreführende Interpretation von Daten mit dem Ziel, ein gewünschtes Ergebnis zu erhalten.“ Die Aussage *„Und zwar die Zwiebel sollte Platz 1 sein, ist so aber nicht“* (Gruppe 2) zeigt, dass sich die Schüler*innen dieser Problematik bereits bewusst sind. Sie ziehen zwar die richtige Schlussfolgerung aus den dokumentierten Beobachtungen, stellen diese aber im Anschluss in Frage, um das vermeintlich „richtige“ Ergebnis zu darzustellen. Es ist auf jeden Fall bemerkenswert, dass die Schüler*innen die gemachten Beobachtungen weder weglassen noch in ihrem Sinn abändern, sondern korrekt dokumentieren und auf ihrer Basis Schlussfolgerungen ziehen. Die Diskrepanz zum erwarteten Ergebnis wird festgehalten, weitere Vermutungen, wodurch diese entstanden sein könnte (z. B. Fehler in der Versuchsplanung oder Versuchsdurchführung), werden allerdings nicht angestellt.

5.2.6.3 Planen und Beschreiben eines Versuches

Forschungsfrage 3:

Inwiefern können Schüler*innen einen zur Fragestellung passenden Versuch selbstständig planen und beschreiben?

Mit 58% der Analyseeinheiten, die der Subkategorie „sinnvoller Planungsschritt, vollständig/genau beschrieben“ angehören, konnte in Bezug auf diese Forschungsfrage festgestellt werden, dass die Schüler*innen zwar über grundlegende Kompetenzen zur sinnvollen Planung und Beschreibung eines Versuches verfügen, sie aber Schwierigkeiten mit der Vollständigkeit und Genauigkeit derselben haben: 27% der Analyseeinheiten wurden zwar als sinnvolle Planungsschritte eingeordnet, waren aber nur ungenau bzw. unvollständig beschrieben, dazu kamen noch 11% der Analyseeinheiten aus der Subkategorie „fehlender Planungsschritt“.

Um die Erkenntnisse auch auf Gruppenebene interpretieren zu können, wurden in folgender Tabelle die Anzahl der Analyseeinheiten aus Subkategorie „sinnvoller Planungsschritt, vollständig/genau beschrieben“ (Spalte 2) der Gesamtzahl der Analyseeinheiten aus den Subkategorien „sinnvoller Planungsschritt, unvollständig/ungenau beschrieben“ sowie „fehlender Planungsschritt“ (Spalte 3) den einzelnen Gruppen zugeordnet (siehe Tabelle 12).

Gruppe	vollständig/genau beschriebene Planungsschritte	unvollständig/ungenau beschriebene oder fehlende Planungsschritte
Gruppe 1	4	5
Gruppe 2	7	0
Gruppe 3	1	5
Gruppe 4	6	0
Gruppe 5	5	2
Gruppe 6	4	3

Tabelle 12: Anzahl vollständig/genau und unvollständig/ungenau beschriebener oder fehlender Planungsschritte nach Gruppen geordnet

Aus der über die Gruppen recht unregelmäßigen Verteilung der Beschreibungen zu den Subkategorien konnte – wie auch bereits bei den Beobachtungen – eine individuell unterschiedliche Beherrschung der Kompetenz abgeleitet werden. Während sich die Gruppen 2 und 4 durch eine durchgehend und Gruppe 5 durch eine weitgehend sinnvolle sowie genau und vollständig beschriebene Planung des Versuches auszeichneten, wies Gruppe 3 in diesem Bereich keine nennenswerte Kompetenz auf. Bei den Gruppen 1 und 6 ließ sich eine relativ ausgewogene Bilanz zwischen den beiden aufgeführten Kategorien erkennen und daraus eine mittelmäßige Kompetenz ableiten.

Diese Erkenntnisse waren für mich insofern überraschend, als alle Schüler*innen für die Durchführung der Vorversuche ausführliche Beschreibungen in den Unterlagen der Lernschachtel vorfanden. Eine an diese angelehnte, wenn auch für Aufgabe 1 abgewandelte Planung und Beschreibung eines ähnlichen Versuches wäre also für die Schüler*innen nach meiner Einschätzung gut zu bewerkstelligen gewesen.

5.2.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Mit Forschungsfrage 1 „Inwiefern können Schüler*innen zur Fragestellung passende Beobachtungen machen und dokumentieren?“ und 2 „Inwiefern können Schüler*innen aus den dokumentierten Beobachtungen logische Schlussfolgerungen ableiten und dokumentieren?“ wurde untersucht, inwiefern die Schüler*innen das Ziel „naturwissenschaftliche Untersuchungen durchführen“ des Inquiry-based Learning mit einer Aufgabenstellung auf Level 1 (Abrams et al., 2008) mit dem entwickelten Material erreicht haben.

Ebenso wurde mit Forschungsfrage 3 „Inwiefern können Schüler*innen einen zur Fragestellung passenden Versuch selbstständig planen und beschreiben?“ untersucht, inwiefern Schüler*innen das gleiche Ziel des Inquiry-based Learning, allerdings mit einer Aufgabenstellung auf Level 2 (Abrams et al., 2008) erreichen konnten.

Die vierte Forschungsfrage, die auf eine Erreichung des Zieles „Fachwissen erwerben“ durch das Aufstellen von Vermutungen über den Zusammenhang zwischen dem Löslichkeitsverhalten der Pflanzenfarbstoffe und ihrer chemischen Struktur abzielt, konnte aufgrund der fehlenden Daten nicht untersucht werden.

5.2.7.1 *Beobachtungen machen*

Das korrekte Beobachten und Dokumentieren dieser Beobachtungen wird von der Schüler*innengruppe, mit der die Lernschachtel erprobt wurde, nicht in ausreichendem Maß beherrscht.

Ein hoher Prozentsatz von als Beobachtungen deklarierten Schlussfolgerungen lässt darauf schließen, dass die untersuchte Schüler*innengruppe Schwierigkeiten mit einer klaren Unterscheidung von Beobachtung und Schlussfolgerung hat.

5.2.7.2 *Logische Schlussfolgerungen aus Beobachtungen ableiten*

Die Schüler*innen können überwiegend auf Basis der zuvor gemachten und dokumentierten Beobachtungen logische, das heißt folgerichtige Schlüsse ableiten.

5.2.7.3 *Versuch zu einer Fragestellung planen*

In Bezug auf diese Forschungsfrage konnte festgestellt werden, dass die untersuchte Schüler*innengruppe zwar über grundlegende Kompetenzen zur sinnvollen Planung und Beschreibung eines Versuches verfügt, aber Schwierigkeiten mit der Vollständigkeit und Genauigkeit derselben bestehen.

6 Fazit und Ausblick

Im abschließenden Kapitel sollen die Erfahrungen aus der Erprobung der Lernschachtel beschrieben und aus diesen sowie aus den Ergebnissen der qualitativen Inhaltsanalyse Verbesserungsvorschläge abgeleitet und in die Lernschachtel eingearbeitet werden.

Mit einem Ausblick auf die geplante Weiterentwicklung der Lernschachtel wird die Arbeit abgeschlossen.

6.1 Wahrnehmungen bei der Erprobung

6.1.1 Schüler*innenaktivitäten

Im Rahmen der Erprobung konnte bei Schüler*innen ein engagiertes und konzentriertes Arbeiten beobachtet werden. Die Unterrichtsatmosphäre war entspannt und ruhig.

Die Schüler*innen waren in der Lage, die Aufgabenstellungen weitgehend selbstständig mit den zur Verfügung gestellten Materialien und Unterlagen zu bearbeiten. Einige Fragen zur Durchführung bzw. zum verwendeten Material wurden gestellt (siehe 6.1.2).

Die Möglichkeit zum Feedback durch die Lehrperson durch ein eigenes Feld „Bestätigung durch die Lehrperson/Anmerkungen“ auf den Protokollen wurde von Schüler*innen genutzt.

Fünf von sechs Gruppen konnten nicht alle Aufgabenstellungen in der dafür vorgesehenen Zeit bearbeiten, Aufgabe 3 konnte daher nur von einer Gruppe erledigt werden.

6.1.2 Material/Lernschachtel

Die Beschriftung mit Permanent Marker löst sich beim Hantieren von den Spritzfläschchen, die Speiseöl, Wasser und Spülmittel enthalten. Diese sind zwar durch ihre unterschiedliche Verschlussfarbe (grün für Speiseöl, weiß für Wasser und gelb für Spülmittel) trotzdem voneinander unterscheidbar, für ein sicheres Arbeiten ohne Verwechslungsgefahr soll eine eindeutige Beschriftung vorhanden sein.

Da das Reagenzglas, in dem Speiseöl im Wasserbad erwärmt wird, nur mit 5 mL Speiseöl gefüllt ist, ist es schwierig, das Speiseöl mit der Plastikpipette in die Schnappdeckelgläser zu pipettieren. Die Schüler*innen verwenden alternativ Glaspipetten aus dem Labor oder leeren das Speiseöl direkt in die Schnappdeckelgläser.

Vor allem härtere Gemüsearten wie Karotten können mit dem zur Verfügung gestellten Messer nur schwer ausreichend zerkleinert werden, da das verwendete Messer aus Sicherheitsgründen stumpf ist. Die Schüler*innen verwenden alternativ Gemüsemesser aus dem Labor.

Bei den zur Verfügung gestellten Gemüsearten ist für die Schüler*innen nicht ersichtlich, dass sie jeweils ein Gemüse pro Farbstoffgruppe wählen sollen. Im Arbeitsheft wird lediglich „4 frische Gemüsearten“ angegeben, es werden aber insgesamt acht Gemüsearten angeboten (orange Karotte, rote, gelbe und grüne Paprika, Gurke, rote Zwiebel, Blaukraut und Radieschen), ohne diese in Farbstoffgruppen einzuteilen oder einen Hinweis auf die Auswahl einschränkungen zu geben.

Das Arbeiten mit roten Zwiebeln in Vorversuch 1 wird von Schüler*innen als unangenehm empfunden. Eine Gruppe notiert als Beobachtung im Protokoll *„Zwiebel hat einen beißenden Geruch“*.

6.2 Ableitung von Verbesserungen

6.2.1 Überarbeitung der Unterrichtsplanung

Die Unterrichtsplanung muss so geändert werden, dass ausreichend Zeit für die Bearbeitung der Aufgaben zur Verfügung steht. Die Durchführung der Vorversuche und Aufgaben 1 und 2 können in einer 100-Minuten-Einheit untergebracht werden, für Aufgabe 3 muss zusätzliche Zeit eingeplant werden.

Die Änderungen im Zeitplan sind gekennzeichnet (**neu/alt**), die 50-Minuten-Einheiten sind durch Graustufen ersichtlich gemacht.

Zeit/Phase	Aktivitäten der Lehrperson	Aktivitäten der Schüler*innen	Materialien	Setting
10 min Einstieg	Die Lehrperson präsentiert das bunte Gemüse und stellt das Thema Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen und die Methode der Lernschachtel vor.	Die Schüler*innen bilden Zweierteams und holen sich Lernschachtel mit Arbeitsheft und Protokollvorlagen. Sie machen sich mit dem Inhalt der Lernschachtel vertraut und lesen die Einstiegsgeschichte.	Gemüse (geordnet in Farbstoffgruppen) 8xLernschachtel 8xArbeitsheft 8xProtokollvorlagen	Plenum/ Paararbeit
40/30 min Erarbeitung 1	Die Lehrperson gibt Gemüse und Zusatzmaterial aus. Sie unterstützt die Schüler*innen bei der Erarbeitung.	Die Schüler*innen führen die Vorversuche durch und dokumentieren ihre Beobachtungen und Schlussfolgerungen.	s.o. 1xZusatzschachtel	Paararbeit
20/15 min Erarbeitung 2	Die Lehrperson unterstützt die Schüler*innen bei der Planung und bestätigt diese auf der Protokollvorlage.	Die Schüler*innen planen einen Versuch lt. Aufgabe 1 und dokumentieren ihre Planung.	s.o.	Paararbeit
30/25 min Erarbeitung 3	Die Lehrperson gibt Gemüse und Zusatzmaterial aus. Sie unterstützt die Schüler*innen bei der Durchführung des geplanten Versuches.	Die Schüler*innen führen den geplanten Versuch lt. Aufgabe 2 durch und dokumentieren ihre Beobachtungen und Schlussfolgerungen. Sie entsorgen die Reste und reinigen die Geräte.	s.o. Waschbecken	Paararbeit
50/20 min Erarbeitung 4	Die Lehrperson unterstützt die Schüler*innen bei der Bearbeitung.	Die Schüler*innen bearbeiten Aufgabe 3 und dokumentieren ihre Vermutungen.	s.o.	Paararbeit

Tabelle 13: Überarbeitete Unterrichtsplanung

6.2.2 Verbesserungen Material/Lernschachtel

Die Spritzfläschchen werden mit selbstklebenden Etiketten ablösesicher beschriftet.

Es werden längere Plastikpipetten zur Verfügung gestellt, mit denen das Speiseöl einfacher aus dem Reagenzglas pipettiert werden kann.

Die vorhandenen Messer werden durch schärfere Gemüsemesser ersetzt.

Für Aufgabe 1 „Planen eines Versuches zur Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen“ wird in der Materialliste ein eindeutiger Hinweis auf die Auswahl jeweils eines Vertreters der vier Farbstoffgruppen gegeben (siehe Abbildung 41):

Aufgabe 1: Planen eines Versuches zur Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen

- **Plane** einen **Versuch**, mit dem du die **Fragestellung** (s.u.) beantworten kannst.
- **Schreibe** dazu eine genaue **Arbeitsanweisung** mit **Material**, **Durchführung** und **Entsorgungshinweisen** unter Verwendung der **Protokollvorlage Aufgabe 1**.

Fragestellung:

„Wie können die Farbstoffe aus vier verschiedenen Gemüsearten nach ihrer Löslichkeit in Wasser bzw. in Speiseöl geordnet werden?“

Folgende Materialien stehen dir zur Verfügung:

Frisches Gemüse:

Wähle jeweils 1 Gemüseart pro Farbstoffgruppe (insgesamt 4)

Material Lernschachtel:

- 10 Schnappdeckelgläser
- 1 Schneidbrett
- 1 Messer
- 1 Tasse mit Henkel

- 2 Reagenzgläser

- 2 Plastikpipetten

- 1 Holzstäbchen

- 1 Permanent Marker

- 1 Tropffläschchen/Wasser

- 1 Tropffläschchen/Speiseöl

- 1 Tropffläschchen/Spülmittel

- 1 Reinigungsbürste

Material Zusatzlernschachtel:

- Wasserkocher

- Mörser mit Pistill

- Gemüsereibe

- Schnappdeckelglas mit Sand

- Sieb

- Petrischalen

- Sammelgefäß

Weitere Hinweise:

Überlege, wie du folgende Einflüsse in deinem Versuch berücksichtigen kannst.

- Je größer die **Oberfläche**, an der ein Stoffaustausch stattfindet, umso schneller geht er vonstatten.
- Die **Temperatur** hat ebenfalls einen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Stoffaustausches.
- Wenn das Gemüse sehr stark zerkleinert ist, kann man nicht mehr genau erkennen, ob die Flüssigkeit gefärbt ist oder die kleinen **Feststoff-Stückchen** die Färbung verursachen.
- Das **Volumen** der Wasser- und Speiseölphase soll für eine Vergleichbarkeit gleich groß sein.

Abbildung 41: Überarbeitung zu Aufgabe 1 im Arbeitsheft

Für Vorversuch 1 werden anstelle von roten Zwiebeln als Vertreter der Farbstoffgruppe der Anthocyane Radieschen (Schale) verwendet, um den unangenehmen Geruch zu vermeiden. Die Materialliste und Durchführung von Vorversuch 1 wird im Arbeitsheft dementsprechend geändert (siehe Abbildung 42), ebenso die Protokollvorlage für Vorversuch 1 (siehe Abbildung 43).

Vorversuch 1: Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen in heißem Wasser und heißem Speiseöl

Bei der Zubereitung von Gemüse wird es entweder gekocht (in heißem Wasser) oder gebraten (in heißem Speiseöl). Die Pflanzenfarbstoffe lösen sich unterschiedlich gut in Wasser bzw. in Speiseöl.

Fragestellung:

„Wie gut lösen sich die Farbstoffe von Karotten und Radieschen in heißem Wasser?“

„Wie gut lösen sich die Farbstoffe von Karotten und Radieschen in heißem Speiseöl?“

Material:

Frisches Gemüse:

- Karotte
- Radieschen

Zusatzlernschachtel:

- Wasserkocher
- Sammelgefäß

Lernschachtel:

- Tasse mit Henkel
- Spritzfläschchen/Speiseöl
- 1 Reagenzglas
- 4 Schnappdeckelgläser
- Permanent Marker

- Holzstäbchen
- Schneidbrett/Messer
- 2 Plastikpipetten
- Reinigungsbürste
- Spritzfläschchen/Spülmittel

Durchführung:

- Befülle die Tasse ca. halb voll mit heißem Wasser aus dem Wasserkocher.
- Befülle ein Reagenzglas ca. 5 cm hoch mit Speiseöl und stelle es in die Tasse.
- Schneide ein Stück Karotte und ein Stück Radieschen (Schale) in möglichst feine Stücke.
- Nummeriere die Schnappdeckelgläser von 1 bis 4.
- Befülle die Schnappdeckelgläser 1 und 2 mit Hilfe des Holzstäbchens ca. 1 cm hoch mit Karottenstückchen und die Schnappdeckelgläser 3 und 4 ca. 1 cm hoch mit Radieschenstückchen.
- Füge zu Glas 1 und 3 mit einer Plastikpipette ca. 2 cm hoch heißes Wasser hinzu.
- Füge zu Glas 2 und 4 mit einer Plastikpipette ca. 2 cm hoch heißes Speiseöl hinzu.
- Verschließe die Schnappdeckelgläser und schüttle sie kräftig durch.
- Lass die Gläser ca. 1-2 min stehen und beobachte die Färbung des Wassers bzw. Speiseöls.

Entsorgung/Reinigung:

Entsorge den Inhalt der Gläser in das Sammelgefäß und reinige sie mit Spülmittel und Bürste.
Nicht verwendete Karottenstückchen kannst du für Vorversuch 2 aufheben.

Abbildung 42: Überarbeitung Arbeitsheft zu Vorversuch 1

Protokoll Vorversuch 1:

Fragestellung:

„Wie gut lösen sich die Farbstoffe von Karotten und Radieschen in heißem Wasser?“

„Wie gut lösen sich die Farbstoffe von Karotten und Radieschen in heißem Speiseöl?“

Beobachtung:

Schlussfolgerung (Beantwortung der Fragestellung):

Bestätigung durch Lehrperson/Anmerkungen:

Abbildung 43: Überarbeitung Protokollvorlagen zu Vorversuch 1

6.2.3 Zusätzliche Hilfestellungen

6.2.3.1 Unterscheiden von Beobachtung und Schlussfolgerung

Vorbereitend oder parallel zum Einsatz der Lernschachtel kann eine Hilfestellung zur Unterscheidung von „Beobachtung“ und „Schlussfolgerung“ zur Verfügung gestellt werden. Basierend auf den dadurch gewonnenen Erkenntnissen sollen die Schüler*innen ihre Beobachtungen besser formulieren und dokumentieren sowie diese von Schlussfolgerungen unterscheiden können.

6.2.3.2 Genaue und vollständige Planung für Versuche formulieren

Ebenso sollen die Schüler*innen Hinweise für die Erstellung einer konkreten Planung vor dem Einsatz der Lernschachtel erhalten: Arbeitsschritte sollen so formuliert werden, dass jede*r Schüler*in der Gruppe den Versuch nach dieser Anweisung durchführen könnte. Die Angaben sollen dafür hinreichend genau und vollständig (inklusive Größenangaben) sein und die Arbeitsschritte in einer richtigen zeitlichen Abfolge ohne Auslassung angeführt werden.

6.3 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde folgender Fragestellung nachgegangen: „Wie kann eine Lernumgebung gestaltet werden, um die Löslichkeit von verschiedenen Pflanzenfarbstoffen in polaren und unpolaren Lösemitteln sowie den Zusammenhang dieser Eigenschaft mit der chemischen Struktur der Stoffe mit Schüler*innen der Sekundarstufe II im Rahmen des Inquiry-based Learning zu erarbeiten?“

Mit der Entwicklung der Lernschachtel, ihrer Erprobung im Unterricht und der anschließenden Analyse der Ergebnisse und Einbeziehung der Erfahrungen zur Überarbeitung des Materials konnte eine gut strukturierte und einfach einsetzbare Lernumgebung entwickelt werden.

Die Lernschachtel gibt den Schüler*innen die Möglichkeit, im Rahmen des Inquiry-based Learning sowohl naturwissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen, learn to inquire, als auch Fachwissen zu erwerben, learn scientific content (Abrams et al., 2008).

Das Arbeiten mit der Lernschachtel ermöglicht ein schüler*innenzentriertes Arbeiten und bietet der Lehrperson eine Gelegenheit, als Coach die Schüler*innenaktivitäten zu begleiten und zu unterstützen.

Die Weiterentwicklung der gegenständlichen Lernschachtel wird im Rahmen einer nachfolgenden Masterarbeit durchgeführt. Dabei wird die verbesserte Lernschachtel mit einer weiteren Schüler*innengruppe der Sekundarstufe II erprobt.

Darüber hinaus soll eine digital unterstützte Form der Lernschachtel über das Kooperationsprojekt INQUIRYsteps (www.inquirysteps.com) zur Verfügung gestellt werden. Die Partner des Projekts, die PH Niederösterreich (Berufspädagogik), die PH Wien (RECC NawiMa), sowie die Universität Wien (AECC Chemie) und die Universität Graz (Fachdidaktikzentrum Chemie), versuchen auf diesem Weg, Inquiry-based Learning in der Schule zu ermöglichen und zu unterstützen.

Es freut mich, dass ich zu diesen Bemühungen mit der Entwicklung meiner Lernschachtel beitragen konnte.

7 Literatur- und Abbildungsverzeichnis

7.1 Literaturverzeichnis

- Abrams, E., Southerland, S., & Evans, C. (2008). Introduction. Inquiry in the Classroom: Identifying Necessary Components of a Useful Definition. In E. Abrams, S. Southerland, & P. Silva (Hrsg.), *Inquiry in the Classroom: Realities and Opportunities* (S. xi–xlii). IAP.
- Birch, B. (1993). *Alexander Fleming: [Das Penicillin]* (Dt. Ausg.). Bitter.
- Böck, M. N. (2013). *Kompetenz „Beobachten“ im naturwissenschaftlichen Unterricht*.
- Bransford, J., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (1999). *How people learn: Brain, mind, experience, and school* /. National Academy Press,.
- Bruner, J. S. (1961). *The process of education* (2. print). Harvard Univ. Press.
- Çalýk, M., Ayas, A., & Ebenezer, J. V. (2005). A Review of Solution Chemistry Studies: Insights into Students' Conceptions. *Journal of Science Education and Technology*, 14(1), 29–50.
- Colburn, A. (2000). An inquiry primer. *Science Scope (Washington, D.C.)*, 23(6), 42–44.
- Crawford, B. A. (2014). From Inquiry to Scientific Practices in the Science Classroom. In *Handbook of research on science education. 2 (2014), / ed. By Norman G. Lederman ; Sandra K. Abell* (1. ed.). Routledge, Taylor & Francis Group.
- Demuth, R., Ralle, B., & Parchmann, I. (2005). Basiskonzepte—Eine Herausforderung an den Chemieunterricht. *Chemkon*, 12(2), 55–60.
- Dewey, J. (1938). *Logic: The theory of inquiry*. Holt.
- Dietmann, D. (2000). *Detoxifizierung von reaktiven Sauerstoffspezies im stickstofffixierenden Cyanobakterium Anabaena variabilis (ATCC 29413)*. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur.
- Fajans, K. (1923). Struktur und Deformation der Elektronenhüllen in ihrer Bedeutung für die chemischen und optischen Eigenschaften anorganischer Verbindungen. *Die Naturwissenschaften*, 11(10), 165–172.

- Fischer, H. E. (1998). Scientific Literacy und Physiklernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4(2), 41–52.
- Fox, M. A., & Whitesell, J. K. (1995). *Organische Chemie Grundlagen, Mechanismen, bioorganische Anwendungen*. Spektrum Akademischer Verlag GmbH.
- Graumann, C. F. (1966). Grundzüge der Verhaltensbeobachtung. In *Fernsehen in der Lehrerbildung: Neue Forschungsansätze in Pädagogik, Didaktik und Psychologie*. Manz.
- Grüß-Niehaus, T., & Schanze, S. (2010). Lernervorstellungen zum Dichte-Begriff. *Chemkon*, 17(2), 71–74.
- Grüß-Niehaus, T., & Schanze, S. (2011). Eine kategoriegestützte Übersicht von Lernervorstellungen zum Löslichkeitsbegriff. *Chemkon*, 18(1), 19–26.
- Hammond, J., & Gibbons, P. (2005). Putting scaffolding to work: The contribution of scaffolding in articulating ESL education. *Prospect*, 20(1), 6–30.
- Hänsel, R., & Sticher, O. (2010). Pharmakognosie: Phytopharmazie. In *Pharmakognosie* (9. Aufl.). Springer-Verlag.
- Heldt, H. W., & Piechulla, B. (2014). *Pflanzenbiochemie* (5., überarb. u. aktualisierte Aufl. 2014). Springer Berlin Heidelberg.
- Hofer, E. (2020). Scaffolding im Rahmen von Inquiry-based Learning. *IMST Newsletter*, 50, 15–19.
- Huheey, J., Keiter, E., & Keiter, R. (2014). *Anorganische Chemie*. De Gruyter, Inc.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion—Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3–18.
- Klaproth, A., Najdanova, M., Minceva, M., Sicker, D., Siehl, H.-U., Zeller, K.-P., & Berger, S. (2016). Chlorophyll. *Chemie in unserer Zeit*, 50(4), 260–274.
- Koenen, J., Emden, M., & Sumfleth, E. (2016). *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung* (1st, New ed. Aufl.). Waxmann.
- Koliander, B. (2020). Mit Forschendem Lernen Erkenntnisse gewinnen. *IMST Newsletter*, 50, 2–5.

- Latscha, H. P., Klein, H. A., & Mutz, M. (2011). *Allgemeine Chemie: Chemie-Basiswissen I*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Lewis, G. N. (1916, April). *The Atom and the Molecule*. Zenodo. <https://doi.org/10.1021/ja02261a002>
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12., überarbeitete Auflage). Beltz.
- Meyer, H. (2007). *Leitfaden Unterrichtsvorbereitung*. Cornelsen Scriptor.
- Mieg, H. A. (2019). *Inquiry-Based Learning—Undergraduate Research: The German Multidisciplinary Experience*. Springer International Publishing AG.
- Mortimer, C. E., & Müller, U. (2020). *Chemie: Das Basiswissen der Chemie* (13., Auflage.). Georg Thieme Verlag.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. National Academy Press.
- OECD. (2006). Assessing scientific, reading and mathematical literacy: A framework for PISA 2006. In *Assessing scientific, reading and mathematical literacy*. OECD.
- OECD. (2016). *PISA 2015 Ergebnisse. Band 1, Exzellenz und Chancengerechtigkeit in der Bildung / OECD ; Übersetzung durch den Übersetzungsdienst der OECD*. W. Bertelsmann Verlag.
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049–1079.
- Pauling, L. (1968). *Die Natur der chemischen Bindung* (3., verb. Aufl.). Verl. Chemie.
- Queiroz, M. I., Silva Fernandez, A. S., Costa Deprà, M., Jacob-Lopes, E., & Queiroz Zepka, L. (2017). Introductory Chapter: Chlorophyll Molecules and Their Technological Relevance. In *Chlorophyll*. IntechOpen.
- Reischauer, I. (2021). *Forschendes Lernen im Distance-Chemieunterricht: Entwicklung einer digitalen Lernschachtel zum Thema Säuren und Basen*. Masterarbeit, Universität Graz.
- Schauer, A. (2017). *Farbstoffe in Lebensmitteln und deren Relevanz im Chemie Unterricht*. Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Chemie.

Schnurr, C. (2022). „Ist das natürlich oder ist da Chemie drin?“ Ansätze zu einer transdisziplinären Verständigung über die ‚(Un-)Natürlichkeit‘ der Chemie GAIA 31/2 (2022): 94–102. *GAIA*, 31/2, 94–102.

Schwab, J. (1960). Inquiry, the Science Teacher, and the Educator. *School Review*, 68(1), 176.

Schwab, J. (1962). The Teaching of Science as Enquiry. In *The Teaching of Science* (S. 1–103). Harvard Univ. Press.

Steininger, R., & Koliander, B. (2018). Forschendes Lernen auf Level 2: Schülerinnen und Schüler planen selbstständig die Durchführung von Versuchen. *Chemie & Schule*, 33, 21–22.

Wahrig, G. (1985). *Fremdwörterlexikon*. Bertelsmann GmbH/Mosaik Verlag GmbH.

7.2 Verzeichnis der Online-Quellen

Bühl, M., & Frenking, G. (2008, November 30). *Polar* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-16-02937>

Dräger, B., Otteneder, H., & Stintzing, F. C. (2011, Dezember 14). *Anthocyane* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-01-02670>

Dräger, B., & Stintzing, F. C. (2011, September 29). *Flavonoide* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-06-01067>

Ensinger, W. (2006, August 7). *Dipol* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-04-01969>

Hartmann-Schreier, J. (2004a, Juli 1). *Xanthophylle* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-24-00046>

- Hartmann-Schreier, J. (2004b, Juli 1). *Zeaxanthin* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-26-00057>
- Kolter, T. (2010, August 1). *Porphyrine* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-16-03763>
- Lehrpläne - allgemeinbildende höhere Schulen. Abgerufen 7. August 2024, von <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568>
- Lexikon der Biologie. (o. J.). Polarität. In *Lexikon der Biologie* (Online Ausgabe). <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/polaritaet>
- ÖAWI. (2015). *Richtlinien der Österreichischen Agentur für wissenschaftliche Integrität zur Guten Wissenschaftlichen Praxis*. https://oeawi.at/wp-content/uploads/2018/09/OeAWI_Brosch%C3%BCre_Web_2019.pdf
- Ortanderl, S., Böckler, F., Dill, B., Eisenbrand, G., Faupel, F., Fugmann, B., Gamse, T., Heretsch, P., Matissek, R., Pohnert, G., Rühling, A., Schmidt, S., & Sprenger, G. (2004). *Ausschütteln* [Dataset]. Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-01-03902>
- RÖMPP-Redaktion. (2002a, März 1). *Carotine* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-03-00582>
- RÖMPP-Redaktion. (2002b, März 1). *Chinone* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-03-01316>
- RÖMPP-Redaktion. (2002c, März 1). *Lösungen* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-12-01485>

- RÖMPP-Redaktion. (2002d, März 1). *Pflanzenfarbstoffe* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-16-01364>
- RÖMPP-Redaktion, Böckler, F., Dill, B., Eisenbrand, G., Faupel, F., Fugmann, B., Gamse, T., Matissek, R., Pohnert, G., Rühling, A., Schmidt, S., & Sprenger, G. (2002). *Solvatation* [Dataset]. Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-19-02934>
- Schwab, E. (2003, November 1). *Capsanthin* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-03-00335>
- Schwab, E. (2006, März 31). *Chlorophylle* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-03-01522>
- Schweiggert, R., & Hartmann-Schreier, J. (2018, Januar 24). *Lycopin* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-12-01852>
- Schweiggert, R., Menzel, M., & Hartmann-Schreier, J. (2018, Juni 27). *Carotinoide* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-03-00583>
- Schweiggert, R., RÖMPP-Redaktion, & Hartmann-Schreier, J. (2018, Juni 27). *β -Carotin* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-03-00579>
- Schweiggert, R., & Stintzing, F. C. (2018, Januar 24). *Betalaine* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-02-01105>

Weinhold, B. (2006, März 31). *Metallporphyrine* (F. Böckler, B. Dill, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, T. Gamse, R. Matissek, G. Pohnert, A. Rühling, S. Schmidt, & G. Sprenger, Hrsg.). Thieme Gruppe; RÖMPP. <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-13-01552>

7.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Forschungsnetz (Steininger & Koliander, 2018).....	11
Abbildung 2: Beispiel für die Darstellung einer kovalenten Bindung mit der Lewis-Schreibweise (Mortimer & Müller, 2020, S. 118).....	15
Abbildung 3: Polarität des Wassermoleküls (Mortimer & Müller, 2020, S. 172).....	18
Abbildung 4: Polarität des Methanmoleküls (Mortimer & Müller, 2020, S. 172).....	19
Abbildung 5: Ausrichtung polarer Moleküle in einem Kristall (Mortimer & Müller, 2020, S. 172)	19
Abbildung 6: Momentane, fluktuierende Dipole benachbarter Teilchen (Mortimer & Müller, 2020, S. 173).....	20
Abbildung 7: Wasserstoffbrücken zwischen Wasser-Molekülen (Mortimer & Müller, 2020, S. 174) ..	21
Abbildung 8: Strukturformel von β -Carotin (Schweiggert et al., 2018)	24
Abbildung 9: Wasser (Raumtemperatur) vor Zugabe der Karottenstücke, Karottenstücke in Wasser bzw. Färbung des Wassers nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos)	25
Abbildung 10: Speiseöl (Raumtemperatur) vor Zugabe der Karottenstücke, Karottenstücke in Speiseöl bzw. Färbung des Speiseöls nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos).....	25
Abbildung 11: Strukturformel von Lycopin (Schweiggert & Hartmann-Schreier, 2018).....	25
Abbildung 12: Strukturformel von Capsanthin (Schwab, 2003).....	26
Abbildung 13: Strukturformel von Zeaxanthin (Hartmann-Schreier, 2004b)	26
Abbildung 14: Stückchen von rotem Paprika in Wasser bzw. Färbung des Wassers nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos)	27
Abbildung 15: Stückchen von rotem Paprika in Speiseöl bzw. Färbung des Speiseöls nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos)	27
Abbildung 16: Nummerierung des Porphin-Grundkörpers nach den IUPC-IUB-Regeln (Kolter, 2010)	29
Abbildung 17: Chemische Struktur von Chlorophyll a und b (Schwab, 2006).....	29
Abbildung 18: Feingeschnittene Gurkenscalen in Wasser bzw. Färbung des Wassers nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos)	30
Abbildung 19: Feingeschnittene Gurkenscalen in Speiseöl bzw. Färbung des Speiseöls nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos)	31
Abbildung 20: Chemische Struktur von Flavan (Hänsel & Sticher, 2010)	32
Abbildung 21: Chemische Struktur des Pelargonin bzw. Pelargonidin (Heldt & Piechulla, 2014)	32
Abbildung 22: Feingeschnittenes Blaukraut in Wasser bzw. Färbung des Wassers nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos)	33
Abbildung 23: Geschnittenes Blaukraut in Speiseöl bzw. Färbung des Speiseöls nach Entfernung dieser (Quelle: eigene Fotos)	33
Abbildung 24: Chemische Struktur von Betanin (Schweiggert & Stintzing, 2018).....	34

Abbildung 25: Chemische Struktur der Chinone (RÖMPP-Redaktion, 2002b).....	34
Abbildung 26: Einstiegsgeschichte, Seite 1 und 2 des Arbeitsheftes (Quelle: eigene Fotos)	48
Abbildung 27: Vorversuch 1, Seite 3 des Arbeitsheftes	50
Abbildung 28: Vergleich der Färbung von heißem Wasser bzw. heißem Speiseöl mit orangen Karotten, roten Zwiebeln und violetten Karotten (Quelle: eigene Fotos)	51
Abbildung 29: Protokollvorlage zu Vorversuch 1	52
Abbildung 30: Ausschüttelversuch einer wässrigen Farblösung mit Speiseöl (Quelle: eigene Fotos)..	53
Abbildung 31: Vorversuch 2, Seite 4 des Arbeitsheftes	54
Abbildung 32: Protokollvorlage zu Vorversuch 2	55
Abbildung 33: Aufgabe 1, Seite 5 des Arbeitsheftes	56
Abbildung 34: Aufgabe 2, Seite 6 des Arbeitsheftes	58
Abbildung 35: Ausschnitt aus der Protokollvorlage zur Aufgabe 2	58
Abbildung 36: Reihung der Farbstoffe nach Löslichkeit in Wasser und Speiseöl von 1) roter Zwiebel, 2) grüne Paprika, 3) gelbe Paprika und 4) orange Karotte (Quelle: eigene Fotos)	59
Abbildung 37: Aufgabe 3, Seite 6 des Arbeitsheftes	60
Abbildung 38: Strukturformeln von Pflanzenfarbstoffen, Seite 7 des Arbeitsheftes (Quellen: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/27/Beta-Carotin.svg/640px-Beta-Carotin.svg.png , https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/87/Capsanthin.svg/525px-Capsanthin.svg.png , https://www.chemgapedia.de/vsengine/glossary/de/chlorophylle.glos.html , https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/78/Cyanidin_3-O-glucoside.svg/640px-Cyanidin_3-O-glucoside.svg.png)	60
Abbildung 39: Lesehilfe für Skelettformeln, Seite 8 des Arbeitsheftes.....	61
Abbildung 40: Lernschachtel in Erprobung (Quelle: eigenes Foto).....	62
Abbildung 41: Überarbeitung zu Aufgabe 1 im Arbeitsheft.....	84
Abbildung 42: Überarbeitung Arbeitsheft zu Vorversuch 1	85
Abbildung 43: Überarbeitung Protokollvorlagen zu Vorversuch 1	86

8 Anhang

8.1 Arbeitsheft

Arbeitsheft

Lernschachtel: Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen

Zum Einstieg: Der Unfall mit der Suppe

Herr Huber steht gerade etwas ratlos vor seinem Kühlschrank. Er will eine Suppe für seinen kleinen Sohn kochen und sucht dafür die Karotten. Er kann aber keine finden, obwohl er sicher ist, dass seine Frau welche gekauft hat. Er gräbt ein wenig im Gemüsefach und fördert schließlich doch etwas zutage, das aussieht wie eine Karotte – aber auch wieder nicht ganz: Die Form stimmt, der Geruch auch, aber die Farbe ist ein sattes Dunkelviolett.



Egal, denkt Herr Huber, Hauptsache, es gibt eine gute Suppe. Er schneidet die Karotte, gibt sie in einen Topf mit Wasser und stellt den Topf samt Deckel auf den Herd. Nach ein paar Minuten beginnt die Suppe zu duften, Herr Huber pfeift vor sich hin, während er den Tisch deckt. Zum Abschmecken nimmt er den Topfdeckel ab – und traut seinen Augen kaum: Das schaut gar nicht so aus, wie sonst!

1



Ob sein Sohn das essen wird? Er ist beim Essen wirklich sehr pingelig. Vielleicht findet er es aber auch lustig, wenn man es ihm gut verkauft, wer weiß? Herr Huber schmeckt die Suppe noch ab, gibt die gekochten Suppennudeln dazu und schöpft die Spezialsuppe in die Teller. Er serviert sie seinem Sohn, der schon ungeduldig wartet, mit den Worten: „Heute gibt’s zur Abwechslung mal Wilde-Farben-Suppe – rate mal, woraus die gemacht ist?“ – „Das schaut lustig aus. Schmeckt gut. Kannst du die auch orange machen?“ Herr Huber kratzt sich am Kopf: „Mal schauen ...“

Material

Arbeitsheft Lernschachtel:

Enthält die Einstiegsgeschichte, die Arbeitsanweisungen zu den Vorversuchen und die Aufgabenstellungen 1, 2 und 3 zur Lernschachtel.

Protokollvorlagen:

Vorlagen für die Protokolle zu den Vorversuchen und Aufgabenstellungen.

Lernschachtel:

Enthält alle benötigten Materialien (außer dem frischen Gemüse), die du zum Experimentieren brauchst.

Zusatzschachtel:

Zusätzliches Material ist in einer Zusatzschachtel (bleibt bei der Lehrperson) enthalten.

Vorversuch 1: Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen in heißem Wasser und heißem Speiseöl

Bei der Zubereitung von Gemüse wird es entweder gekocht (in heißem Wasser) oder gebraten (in heißem Speiseöl). Die Pflanzenfarbstoffe lösen sich unterschiedlich gut in Wasser bzw. in Speiseöl.

Fragestellung:

„Wie gut lösen sich die Farbstoffe von Karotten und roten Zwiebeln in heißem Wasser?“

„Wie gut lösen sich die Farbstoffe von Karotten und roten Zwiebeln in heißem Speiseöl?“

Material:

Frisches Gemüse:

- Karotte
- Rote Zwiebel

Zusatzlernschachtel:

- Wasserkocher
- Sammelgefäß

Lernschachtel:

- Tasse mit Henkel
- Spritzfläschchen/Speiseöl
- 1 Reagenzglas
- 4 Schnappdeckelgläser
- Permanent Marker

- Holzstäbchen
- Schneidbrett/Messer
- 2 Plastikpipetten
- Reinigungsbürste
- Spritzfläschchen/Spülmittel

Durchführung:

- Befülle die Tasse ca. halb voll mit heißem Wasser aus dem Wasserkocher.
- Befülle ein Reagenzglas ca. 5 cm hoch mit Speiseöl und stelle es in die Tasse.
- Schneide ein Stück Karotte und ein Stück rote Zwiebel in möglichst feine Stücke.
- Nummeriere die Schnappdeckelgläser von 1 bis 4.
- Befülle die Schnappdeckelgläser 1 und 2 mit Hilfe des Holzstäbchens ca. 1 cm hoch mit Karottenstückchen und die Schnappdeckelgläser 3 und 4 ca. 1 cm hoch mit Zwiebelstückchen.
- Füge zu Glas 1 und 3 mit einer Plastikpipette ca. 2 cm hoch heißes Wasser hinzu.
- Füge zu Glas 2 und 4 mit einer Plastikpipette ca. 2 cm hoch heißes Speiseöl hinzu.
- Verschließe die Schnappdeckelgläser und schüttle sie kräftig durch.
- Lass die Gläser ca. 1-2 min stehen und beobachte die Färbung des Wassers bzw. Speiseöls.

Entsorgung/Reinigung:

Entsorge den Inhalt der Gläser in das Sammelgefäß und reinige sie mit Spülmittel und Bürste.
Nicht verwendete Karottenstückchen kannst du für Vorversuch 2 aufheben.

Vorversuch 2: Ausschütteln von Farbstoffen in Wasser und Speiseöl

Da sich Wasser und Speiseöl nicht mischen lassen, kann man durch einen Ausschüttelversuch herausfinden, in welchem der beiden Lösemittel sich ein Farbstoff besser löst.

Fragestellung:

„Löst sich der Farbstoff von Karotten besser in Wasser oder in Speiseöl?“

Material:

Frisches Gemüse:

- Karotte

Lernschachtel:

- Schneidbrett/Messer
- 2 Schnappdeckelgläser

- Holzstäbchen
- Spritzfläschchen/Wasser
- Spritzfläschchen/Speiseöl
- Plastikpipette
- Reinigungsbürste

- Spritzfläschchen/Spülmittel

Zusatzlernschachtel:

- Sammelgefäß
- (ev. Mörser und Pistill)
- (ev. Sand)

Durchführung:

- Schneide ein Stück Karotte in möglichst kleine Stücke.
- *(optional: Verreibe die Stückchen mit etwas Sand in einem Mörser mit Pistill.)*
- Fülle die Karottenstücke mit Hilfe des Holzstäbchens ca. 1 cm hoch in ein Schnappdeckelglas.
- Füge mit dem Spritzfläschchen ca. 2 cm hoch (kaltes) Wasser hinzu, verschließe das Schnappdeckelglas und schüttle es kräftig (ca. 1 min lang).
- Füge mit dem Spritzfläschchen ca. 1 cm (kaltes) Speiseöl hinzu, verschließe das Schnappdeckelglas wieder und schüttle es erneut kräftig (ca. 1 min lang).
- Überführe die Flüssigkeit möglichst ohne Karottenstückchen (durch langsames und vorsichtiges Abgießen) in das zweite Schnappdeckelglas.
- Warte, bis sich die beiden Phasen wieder vollständig voneinander getrennt haben (1-2 min).
- Beobachte die Verteilung des Farbstoffes in der Wasserschicht (unten) und der Speiseölschicht (oben).

Entsorgung/Reinigung:

Entsorge den Inhalt der Gläser in das Sammelgefäß und reinige sie mit Spülmittel und Bürste.

Aufgabe 1: Planen eines Versuches zur Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen

- **Plane** einen **Versuch**, mit dem du die **Fragestellung** (s.u.) beantworten kannst.
- **Schreibe** dazu eine genaue **Arbeitsanweisung** mit **Material**, **Durchführung** und **Entsorgungshinweisen** unter Verwendung der **Protokollvorlage Aufgabe 1**.

Fragestellung:

„Wie können die Farbstoffe aus vier verschiedenen Gemüsearten nach ihrer Löslichkeit in Wasser bzw. in Speiseöl geordnet werden?“

Folgende Materialien stehen dir zur Verfügung:

Frisches Gemüse:

4 verschiedene Gemüsearten

Material Lernschachtel:

- 10 Schnappdeckelgläser
- 1 Schneidbrett
- 1 Messer
- 1 Tasse mit Henkel
- 2 Reagenzgläser

- 2 Plastikpipetten

- 1 Holzstäbchen

- 1 Permanent Marker

- 1 Tropffläschchen/Wasser

- 1 Tropffläschchen/Speiseöl

- 1 Tropffläschchen/Spülmittel

- 1 Reinigungsbürste

Material Zusatzlernschachtel:

- Wasserkocher

- Mörser mit Pistill

- Gemüsereibe

- Schnappdeckelglas mit Sand

- Sieb

- Petrischalen

- Sammelgefäß

Weitere Hinweise:

Überlege, wie du folgende Einflüsse in deinem Versuch berücksichtigen kannst.

- Je größer die **Oberfläche**, an der ein Stoffaustausch stattfindet, umso schneller geht er vonstatten.
- Die **Temperatur** hat ebenfalls einen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Stoffaustausches.
- Wenn das Gemüse sehr stark zerkleinert ist, kann man nicht mehr genau erkennen, ob die Flüssigkeit gefärbt ist oder die kleinen **Feststoff-Stückchen** die Färbung verursachen.
- Das **Volumen** der Wasser- und Speiseölphase soll für eine Vergleichbarkeit gleich groß sein.

Aufgabe 2: Durchführung des Versuches, Beobachtungen, Schlussfolgerungen

- **Führe** den Versuch nach Rücksprache mit deinem*r Lehrer*in **wie geplant durch**.
- **Notiere** deine **Beobachtungen** auf **Protokollvorlage Aufgabe 2**.
- **Erstelle** mit Hilfe deiner Beobachtungen **eine Reihung** der Gemüsearten **nach der Löslichkeit** ihrer Farbstoffe und **beantworte** damit die **Fragestellung** aus Aufgabe 1.
- Wenn nötig, **ändere** deinen Versuchsplan ab und **wiederhole** den Versuch nach Bestätigung durch die Lehrperson.

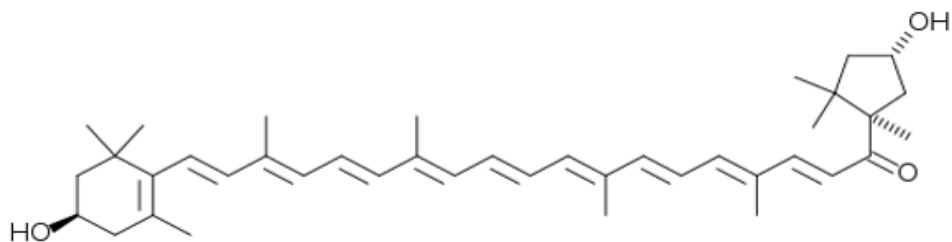
Anmerkung: Sollte es der zeitliche Ablauf erfordern, kann die Beobachtung der Ergebnisse und die Fertigstellung von Aufgabe 2 und 3 auch erst einige Tage später erfolgen.

Aufgabe 3: Zusammenhang zwischen chemischer Struktur und Löslichkeitsverhalten

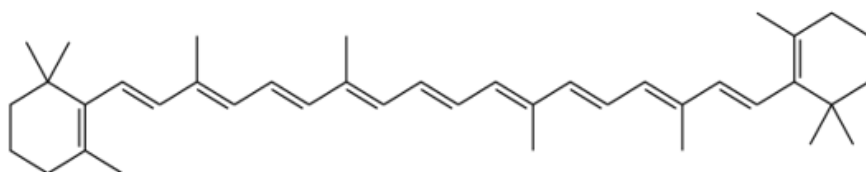
Die Abbildungen auf der nächsten Seite zeigen die chemischen Strukturformeln verschiedener Pflanzenfarbstoffe und in welchen Gemüsearten sie hauptsächlich vorkommen.

- **Reihe** die **Pflanzenfarbstoffe** in gleicher Art **nach ihrer Löslichkeit** wie in Aufgabe 2 (verwende dazu **Protokollvorlage Aufgabe 3**).
- **Vergleiche** die **Strukturformeln** der Pflanzenfarbstoffe und **stelle Vermutungen auf**, welche **Strukturelemente** für eine gute/schlechte **Löslichkeit** in Wasser bzw. in Speiseöl verantwortlich sein könnten.

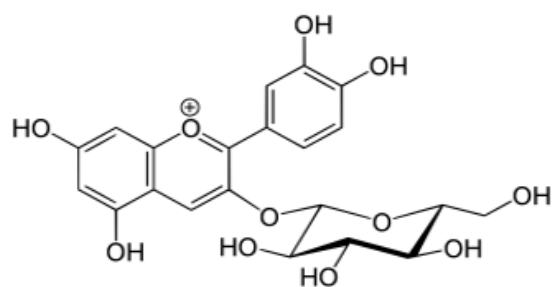
Capsanthin – rote und gelbe Paprika, ...



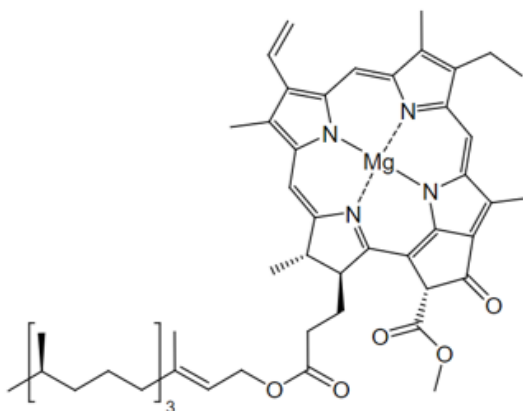
β -Carotin – Karotten, Kürbis, ...



Cyanidin – rote Zwiebel, Blaukraut, Radieschen, ...



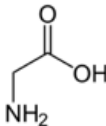
Chlorophyll a – grüne Paprika, Gurke, ...



Lesehilfe für die Strukturformeln

Um die chemische Struktur von organischen Verbindungen einfacher und übersichtlicher darstellen zu können, werden statt der **Valenzstrichformeln** von Molekülen sogenannte **Skelettformeln** verwendet (siehe Tabelle):

- Die Elementsymbole der C-Atome und an sie gebundene H-Atome werden nicht mehr angeschrieben.
- Die Bindungen zwischen den C-Atomen werden durch Striche angegeben (wobei jeder Eckpunkt und Endpunkt der Linie ein C-Atom darstellt).
- Einfacher Strich = Einfachbindung, doppelter Strich = Doppelbindung.
- Alle anderen Elemente werden mit ihren Elementsymbolen dargestellt.

<i>Valenzstrichformel</i>	<i>Skelettformel</i>
$ \begin{array}{c} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array} $	
$ \begin{array}{c} & \text{H} & \text{O} \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & - & \text{C} \\ & & \\ \text{H} & & \text{O}-\text{H} \end{array} $	
$ \begin{array}{c} & \text{H} & \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & = & \text{C}-\text{H} \\ & \diagdown & \diagup \\ & \text{C} & = \text{C} \\ & \diagup & \diagdown \\ \text{H}-\text{C} & = & \text{C}-\text{H} \\ & & \\ & \text{H} & \end{array} $	
$ \begin{array}{c} & \text{H} & \text{O} \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & - & \text{C} \\ & & \\ \text{H}-\text{N}-\text{H} & & \text{O}-\text{H} \end{array} $	

8.2 Protokollvorlagen

8.2.1 Protokollvorlage zu den Vorversuchen 1 und 2

Namen/Klasse: _____	Datum: _____
Protokoll Vorversuch 1:	
<i>Fragestellung:</i>	
„Wie gut lösen sich die Farbstoffe von Karotten und roten Zwiebeln in heißem Wasser?“	
„Wie gut lösen sich die Farbstoffe von Karotten und roten Zwiebeln in heißem Speiseöl?“	
<i>Beobachtung:</i>	
<i>Schlussfolgerung (Beantwortung der Fragestellung):</i>	
<i>Bestätigung durch Lehrperson/Anmerkungen:</i>	
Protokoll Vorversuch 2:	
<i>Fragestellung:</i>	
„Löst sich der Farbstoff von Karotten besser in Wasser oder in Speiseöl?“	
<i>Beobachtung:</i>	
<i>Schlussfolgerung (Beantwortung der Fragestellung):</i>	
<i>Bestätigung durch Lehrperson/Anmerkungen:</i>	

8.2.2 Protokollvorlage zu Aufgaben 1 bis 3

Namen, Klasse: _____

Datum: _____

Protokoll zu Aufgabe 1: Planen eines Versuches zur Löslichkeit von Pflanzenfarbstoffen

Fragestellung:

Wie können die Farbstoffe aus den vier verschiedenen Gemüsearten

1. _____, 2. _____,

3. _____, 4. _____,

nach ihrer Löslichkeit in Wasser bzw. in Speiseöl geordnet werden?

Material:

Durchführung/Entsorgungshinweise:

Bestätigung durch Lehrperson/Anmerkungen:

Lernschachtel Pflanzenfarbstoffe

Namen, Klasse: _____

Datum: _____

Protokoll zu Aufgabe 2: Durchführung des Versuches, Beobachtungen, Schlussfolgerungen

Durchführung lt. Vorgabe/ev. Abweichungen:

Beobachtungen:

Beantwortung der Fragestellung/Reihung der Gemüsearten nach Löslichkeit der Farbstoffe:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

gut löslich in Wasser/schlecht löslich in Öl



schlecht löslich in Wasser/gut löslich in Öl

Eventuelle Änderungen des Versuchsplanes/Anmerkungen:

Bestätigung durch Lehrperson/Anmerkungen:

Lernschachtel Pflanzenfarbstoffe

Namen, Klasse: _____

Datum: _____

Protokoll zu Aufgabe 3: Zusammenhang zwischen chemischer Struktur und Löslichkeitsverhalten

Reihe die Pflanzenfarbstoffe (analog zu den Gemüsearten in Aufgabe 2) nach ihrer Löslichkeit:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

gut löslich in Wasser/schlecht löslich in Öl



schlecht löslich in Wasser/gut löslich in Öl

Stelle Vermutungen zum Zusammenhang von bestimmten Strukturen mit dem Löslichkeitsverhalten auf (die Strukturformeln findest du in der Aufgabenstellung):

Wie würdest du die Frage von Herrn Hubers Sohn „Kannst du die auch orange machen?“ beantworten?

Bestätigung durch Lehrperson/Anmerkungen:

Lernschachtel Pflanzenfarbstoffe

8.3 Rohdaten für die qualitative Inhaltsanalyse

8.3.1 Rohdaten zur Hauptkategorie „Dokumentation von Beobachtungen“

Protokoll	Aussage	Subkategorie
P1	Zwiebel hat einen beißenden Geruch.	Korrekt, nicht zur Fragestellung passend
P1	Öl hat sich bei der Karotte verfärbt und auch das Wasser.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P1	Das Wasser bei der Zwiebel hat sich verfärbt, bei Öl nicht.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P1	Der Farbstoff löst sich in beiden Flüssigkeiten.	Keine Beobachtung
P1	In Öl ist die Flüssigkeit (<i>Farbe</i>) intensiver.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P1	Zwiebel: Färbt (sich in) Wasser besser als (in) Öl.	Keine Beobachtung
P1	Grüner Paprika: Färbt sich in Wasser besser als in Öl.	Keine Beobachtung
P1	Roter Paprika: Färbt sich in Wasser besser als in Öl.	Keine Beobachtung
P1	Karotte: Färbt sich in Öl besser als im Wasser.	Keine Beobachtung
P2	Karotte + heißes Wasser: Wasser verfärbt sich orange und wird trüb.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P2	Karotte + heißes Speiseöl: Öl verfärbt sich stark orange und wird trüb.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P2	Zwiebel + heißes Wasser: Wasser verfärbt sich leicht rötlich, ist aber klar.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P2	Zwiebel + heißes Speiseöl: Öl verfärbt sich stark weiß und wird trüb.	Korrekt, nicht zur Fragestellung passend
P2	Das Speiseöl bildet die obere Schicht der Flüssigkeit, das Wasser die untere.	Korrekt, nicht zur Fragestellung passend
P2	Nach kurzer Zeit verfärbt sich das Öl in ein grelles Gelb.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P2	Das Wasser ist oranger, aber durchsichtiger.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P2	Der Farbstoff des roten Paprika und der Karotte (Carotin) löst sich sowohl in kaltem Wasser und kaltem Öl.	Keine Beobachtung
P2	Jedoch bei der Paprika besser in Wasser und die Karotte besser in Öl.	Keine Beobachtung
P2	Die grüne Paprika mit dem Farbstoff Chlorophyll löst sich in Wasser und Öl, doch in Wasser besser.	Keine Beobachtung
P2	Die rote Zwiebel mit dem Farbstoff Cyanidin hat sich in beiden Flüssigkeiten gelöst, aber in Wasser besser.	Keine Beobachtung
P3	Bei den Gläsern mit Wasser hat es (sich) bei der Karotte und Zwiebeln leicht abgefärbt.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P3	Bei den Gläsern mit Öl hat es (sich) ganz wenig abgefärbt.	Nicht korrekt
P3	Bei dem Glas mit Karotte (<i>Wasser</i>) hat es sich nicht so gut aufgelöst,	Keine Beobachtung
P3	wie als wir dazu Öl hinzugefügt haben.	Keine Beobachtung
P4	In Glas 1 verfärbt sich die Farbe ein bisschen, bei Glas 2 ist die Farbe schon intensiver.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P4	Hingegen bei Glas 3 hat sich nichts verändert, zuletzt das Glas 4 hat sich wieder ein bisschen verändert.	Nicht korrekt

Protokoll	Aussage	Subkategorie
P4	Das Öl schwimmt an der Oberfläche und das Wasser unterhalb.	Korrekt, nicht zur Fragestellung passend
P4	Bei der Karotte löst sich der Farbstoff besser in Öl auf.	Keine Beobachtung
P4	Das Öl trennt sich vom Wasser und schwimmt nach oben.	Korrekt, nicht zur Fragestellung passend
P4	Außerdem verfärbt es sich in eine tiefe gelbliche Farbe.	Nicht korrekt
P5	Bei der Karotte färbt sich das Wasser nicht, aber bei Öl schon.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P5	Bei der Zwiebel bei Wasser, aber bei Öl nicht.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P5	Oben schwimmt eine gelbe Flüssigkeit auf...	Korrekt, zur Fragestellung passend
P5	... und unten eine durchsichtige, leicht orange.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P5	Bei der Karotte war die obere Schicht gelblich und die untere eher orange.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P5	Bei der Zwiebel hat sich die obere Schicht wenig verändert und die untere hat sich verfärbt -> leicht rötlich.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P5	Bei der Paprika war die obere Schicht weiß mit einem leichten Grauton und die untere Schicht wurde grünlich durchsichtig.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P5	Bei den Radieschen war die obere Schicht weiß und die untere stark rosa.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P6	Es ist deutlich erkennbar, dass sich bei allen Öl von Wasser trennt.	Korrekt, nicht zur Fragestellung passend
P6	Paprika (rot): Öl -> helles Rot und Schaum. Wasser -> hellrot	Korrekt, zur Fragestellung passend
P6	Paprika (grün): Öl -> hellgrün mit Schaum. Wasser -> grünlich gefärbtes Wasser	Korrekt, zur Fragestellung passend
P6	Zwiebel: Öl war in einer milchig weißen Farbe und das Wasser nicht klar.	Korrekt, zur Fragestellung passend
P6	Karotten: Das Öl war hellorange und schaumig, beim Wasser durchsichtig mit einem orangen Stich.	Korrekt, zur Fragestellung passend

8.3.2 Rohdaten zur Hauptkategorie „Ableiten und Dokumentation von Schlussfolgerungen“

Protokoll	Aussage	Subkategorie
P1	1. Der Farbstoff von der Karotte löst sich intensiver in Öl als in Wasser.	Nicht korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P1	2. Der Farbstoff von der Zwiebel löst sich intensiver im Wasser als in Öl.	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P1	Der Farbstoff aus den Karotten lässt sich in Öl besser lösen, als im Wasser.	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P1	1. roter Paprika 2. Zwiebel 3. grüner Paprika	Nicht korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P1	4. Karotte (trotzdem gut in Wasser löslich)	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P1	Alle Gemüsearten (außer Karotten) färben sich nicht in Öl.	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P1	Die Karotten sind im Wasser gut löslich, obwohl sie auf dem 4. Platz sind.	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P2	Die Farbstoffe (Carotin (Karotte) & Cyanidin (Zwiebel)) lösen sich von Karotte & Zwiebel in heißem Wasser,	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P2	bei dem heißen Speiseöl löst sich zwar Carotin besser,	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P2	bei der Zwiebel wird jedoch der falsche Farbstoff herausgelöst.	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet, nicht zur Fragestellung passend
P2	Carotin löst sich besser von Karotten in Speiseöl.	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P2	1. Roter Paprika 2. Grüner Paprika 3. Zwiebel 4. Karotte	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P2	Und zwar die Zwiebel sollte Platz 1 sein, ist so aber nicht.	Widerspruch Beobachtung/zuerwartendes Ergebnis
P3	1. Ja, es löst sich auf.	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P3	2. Bei der Karotte mehr als bei den Zwiebeln.	Nicht korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P3	1. Es löst sich in Öl besser auf.	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P4	Farbstoff von Karotte löst sich besser im Öl auf als im Wasser.	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P4	Bei der Zwiebel ist es umgekehrt.	Nicht korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P4	Das Öl ist leichter und weniger dicht und darum schwimmt Öl auf Wasser.	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet, nicht zur Fragestellung passend
P4	1. Zwiebel 2. Roter Paprika 3. Gelber Paprika 4. Karotte	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet

Protokoll	Aussage	Subkategorie
P5	1. Nur Nummer 3 (<i>Karotten in Speiseöl</i>), also nur Karotten.	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P5	2. Nur Nummer 2 (<i>Zwiebel in Wasser</i>), also nur Zwiebel.	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P5	Es löst sich besser in Speiseöl.	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P5	1. Radieschen 2. Zwiebel 3. Grüner Paprika 4. Karotte	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet
P6	1. Roter Paprika 2. Grüner Paprika 3. Karotten 4. Zwiebel	Korrekt aus Beobachtungen abgeleitet

8.3.3 Rohdaten zur Hauptkategorie „Planen und Beschreiben eines Versuches“

Protokoll	Aussage	Subkategorie
P1	Als erstes befüllt man eine Tasse halbvoll mit heißem Wasser	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P1	und erwärmt darin Öl, das mit einer Pipette in ein Reagenzglas gegeben wurde.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P1	Danach schneidet man die Gemüsearten in kleine Stücke	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P1	und befüllt jede Sorte in zwei verschiedene Schnappdeckelgläser.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P1	Dann füllt man abwechselnd Öl und Wasser (<i>wie viel?</i>) in die Schnappdeckelgläser zu den Gemüsen hinzu	Sinnvoller Planungsschritt, ungenau/unvollständig beschrieben
P1	und verschließt sie. (<i>womit?</i>)	Sinnvoller Planungsschritt, ungenau/unvollständig beschrieben
P1	(<i>Schütteln fehlt!</i>)	Fehlender Planungsschritt
P1	Zuletzt vermischt man die Flüssigkeiten (<i>welche? Wie?</i>), um sie besser beobachten zu können.	Sinnvoller Planungsschritt, ungenau/unvollständig beschrieben
P1	(<i>Entsorgungshinweis fehlt!</i>)	Fehlender Planungsschritt
P2	Wir schneiden die 2 verschiedenen Paprika und die Zwiebel in kleine Stücke.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P2	(Wir übernehmen die Karotten-Speiseöl-Wasser-Lösung von Vorversuch 2.)	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P2	Dann füllen wir ein Schnappdeckelglas mit ca. 1 cm grüner Paprika	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P2	und fügen mithilfe der Tropfflasche ca. 1 cm Wasser (kalt) hinzu. Nach kräftigem Schütteln	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P2	öffnen wir das Glas und fügen ca. 1 cm Speiseöl (kalt) hinzu. (Dann wieder Schütteln.)	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P2	Diesen Vorgang wiederholen wir mit allen Gemüsearten.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben

Protokoll	Aussage	Subkategorie
P2	Die Trennung der Gemüsestücke von der Lösung ist nicht notwendig.	Nicht sinnvoller Planungsschritt
P2	Nach dem Versuch entsorgen wir den Inhalt der Gläser in ein Sammelgefäß und reinigen sie mit Spülmittel und Bürste.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P3	Wir haben das Gemüse zerkleinert (<i>wie?</i>)	Sinnvoller Planungsschritt, ungenau/unvollständig beschrieben
P3	und haben es in die jeweiligen Schnappdeckelgläser gegeben (<i>welche? In wie viele?</i>)	Sinnvoller Planungsschritt, ungenau/unvollständig beschrieben
P3	und es mit Wasser (<i>wie hoch?</i>) gleich viel befüllt.	Sinnvoller Planungsschritt, ungenau/unvollständig beschrieben
P3	(<i>Zugabe von Speiseöl?</i>)	Fehlender Planungsschritt
P3	(<i>Schütteln nach Zugabe?</i>)	Fehlender Planungsschritt
P3	Paprika und Radieschen haben das Wasser am meisten verfärbt.	Kein Planungsschritt
P3	Karotten haben auch das Wasser verfärbt aber weniger	Kein Planungsschritt
P3	und Zwiebel hat das Wasser kaum verfärbt.	Kein Planungsschritt
P3	Wir haben den Inhalt in das Sammelgefäß entsorgt und es mit einer Bürste und Spülmittel gereinigt.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P4	4 Gläser mit jeweils 4 unterschiedlichen geschnittenen Gemüsesorten befüllen.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P4	Dann mithilfe von der Pipette heißes Wasser hinzugefügt, circa 2cm.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P4	Deckel zu und schütteln.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P4	Wieder aufmachen und wieder ~ 2cm heißes Öl hineintropfen.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P4	Und wieder Deckel zu und schütteln.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P4	Die Flüssigkeit in jeweils 4 neue Gläschen füllen und beobachten.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P4	Das Gemüse in ein Marmeladeglas geben und die Flüssigkeit ganz normal in den Abfluss leeren. (<i>Gesamte Ansätze in Entsorgungsgefäß!</i>)	Nicht korrekter Planungsschritt
P5	Es wird in 4 der 8 Gläser 1cm Speiseöl und 1cm Wasser gegeben,	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P5	dann der grüne Paprika, die Zwiebel, die Karotte und das Radieschen klein geschnitten	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P5	und 1cm in das jeweilige Schnappgläschen gegeben.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P5	Danach wird stark geschüttelt	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P5	dann jeweils in ein Gläschen gefiltert (<i>wie? Mit Filterpapier und Trichter?</i>)	Sinnvoller Planungsschritt, ungenau/unvollständig beschrieben
P5	und 2min gewartet, bis eine klare Trennung der 2 Phasen sichtbar wird.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben

Protokoll	Aussage	Subkategorie
P5	<i>(Entsorgungshinweis fehlt!)</i>	Fehlender Planungsschritt
P6	Zu Beginn die Gemüsearten in kleine Stücke schneiden.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P6	Beschrifte alle Schnappdeckelgläser von 1-8.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P6	Geben Sie in die Schnappdeckelgläser 1 und 2 Karotten, in 3, 4 Zwiebeln, in 5, 6 grüne Paprika und in 7, 8 rote Paprika.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben
P6	Fülle in die geraden Zahlen kaltes Speiseöl (<i>wie viel?</i>) hinzu und schüttele es (1-2 min).	Sinnvoller Planungsschritt, ungenau/unvollständig beschrieben
P6	In die ungeraden Schnappdeckelgläser füllen Sie kaltes Wasser (<i>wie viel?</i>) hinzu (1-2 min schütteln).	Sinnvoller Planungsschritt, ungenau/unvollständig beschrieben
P6	Danach abwarten (<i>was?</i>) und vergleichen (<i>was?</i>).	Sinnvoller Planungsschritt, ungenau/unvollständig beschrieben
P6	Entsorgung wie bei Vorversuch 1.	Sinnvoller Planungsschritt, genau/vollständig beschrieben

Abstract

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird eine Lerneinheit entwickelt, der der Unterrichtsansatz des Inquiry-based Learning zugrunde liegt. In den entwickelten Aufgaben liegt der Fokus vor allem auf dem Erwerb konkreter Fachinhalte, gleichzeitig soll aber auch das Durchführen naturwissenschaftlicher Untersuchungen geübt werden. Die Lerneinheit enthält dabei eine Aufgabe, bei der zwar die Fragestellung von der Lehrperson vorgegeben wird, die weiteren Aktivitäten wie Planung und Durchführung der Datenerhebung sowie Interpretation der Ergebnisse aber von Schüler*innen selbstständig ausgeführt werden. Dabei wird folgender Fragestellung nachgegangen: „Wie kann eine Lernumgebung gestaltet werden, um die Löslichkeit von verschiedenen Pflanzenfarbstoffen in polaren und unpolaren Lösemitteln sowie den Zusammenhang dieser Eigenschaft mit der chemischen Struktur der Stoffe mit Schüler*innen im Rahmen des Inquiry-based Learning zu erarbeiten?“ Ausgehend von einem Alltagsphänomen, der unterschiedlichen Färbung von Speisen bei der Zubereitung von Gemüse, soll das Interesse der Schüler*innen geweckt werden, im Rahmen eines Forschungsprozesses den Ursachen dieses Phänomens auf den Grund zu gehen.

Zunächst werden im Rahmen der fachlichen Klärung grundsätzliche Überlegungen zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Stoffen angestellt, weiters wird eine Übersicht über fünf Stoffklassen von Pflanzenfarbstoffen gegeben und die für die Lerneinheit relevanten Vertreter näher beschrieben. Anschließend werden fachdidaktische Überlegungen zur Entwicklung der Lerngelegenheit in Form einer Lernschachtel angestellt. Als Zielgruppe werden Schüler*innen der Sekundarstufe II im Rahmen des Chemielaborunterrichtes festgelegt. Die Lehrziele werden wie folgt definiert:

Lehrziel 1: „Die Schüler*innen können zur Fragestellung passende Beobachtungen machen und dokumentieren.“ Lehrziel 2: „Die Schüler*innen können logische Schlussfolgerungen aus den gemachten Beobachtungen ableiten und dokumentieren.“ Lehrziel 3: „Die Schüler*innen können einen zur Fragestellung passenden Versuch selbstständig planen und beschreiben.“ Lehrziel 4: „Die Schüler*innen können einen Zusammenhang zwischen dem Löslichkeitsverhalten von Farbstoffen und ihrer chemischen Struktur herstellen.“

Für die didaktische Strukturierung der Lerngelegenheit werden die zu bearbeitenden Fragestellungen definiert und die Materialien und Unterlagen, die in der Lernschachtel enthalten sein sollen, festgelegt. Die physischen Lernschachteln wurden erstellt und im eigenen Unterricht im Rahmen einer doppelstündigen Unterrichtseinheit (100 min) mit 12 Schüler*innen der 10. Schulstufe (Realgymnasium, typenbildender Laborunterricht) erprobt. Eine Analyse des erhobenen Datenmaterials aus den gesammelten Protokollen der Schüler*innen wurde in Anlehnung an die Methode der qualitativen Analyse in Form einer inhaltlichen Strukturierung nach Mayring durchgeführt. Die Analyseergebnisse lassen darauf schließen, dass ein hoher Prozentsatz der

untersuchten Schüler*innengruppe Schwierigkeiten mit einer klaren Unterscheidung von Beobachtung und Schlussfolgerung hat, jedoch überwiegend auf Basis der zuvor gemachten und dokumentierten Beobachtungen logische, das heißt folgerichtige Schlüsse ableiten kann. Weiters lässt sich ableiten, dass die untersuchte Schüler*innengruppe zwar über grundlegende Kompetenzen zur sinnvollen Planung und Beschreibung eines Versuches verfügt, aber Schwierigkeiten mit der Vollständigkeit und Genauigkeit derselben bestehen. Die vierte Forschungsfrage, die auf eine Erreichung des Lehrzieles 4 abzielt, konnte aufgrund fehlender Daten nicht untersucht werden.

Abschließend werden mögliche und sinnvolle Verbesserungsvorschläge aus der Evaluation abgeleitet und in die Lernschachtel eingearbeitet. Zuletzt wird eine mögliche Weiterentwicklung in Form einer digital unterstützten Lernschachtel über das Kooperationsprojekt INQUIRYsteps (www.inquirysteps.com) in Aussicht gestellt.