



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

Entwicklung eines Lehrpfades zur Kontextualisierung und
Festigung von gewählten Inhalten des Themas
„Säuren und Basen“

verfasst von / submitted by

Alice Bachmann

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2020 / Vienna 2020

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

UA 190 423 445

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

Lehramtsstudium UF Chemie UF Biologie und
Umweltkunde

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Dr. Philipp Spitzer

Eidesstattliche Erklärung:

Ich, Alice Franziska Susanna Bachmann, erkläre an Eides statt, dass ich diese Diplomarbeit mit dem Titel „Entwicklung eines Lehrpfades zur Kontextualisierung und Festigung von gewählten Inhalten des Themas „Säuren und Basen““ eigenständig erstellt habe. Es wurde keine als angegebene Hilfe herangezogen. Textstellen, die von anderen Autoren, direkt oder indirekt, übernommen wurden, sind entsprechend kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde weder einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt noch veröffentlicht.

Wien, 7. September 2020

Unterschrift

A handwritten signature in black ink, reading "Alice Bachmann". The signature is fluid and cursive, with a long horizontal flourish at the end.

(Alice Bachmann)

Dankesworte:

Diese Arbeit wurde zwar von mir verfasst, dennoch waren viele Personen involviert, diese Arbeit gelingen zu lassen. Ihnen gilt mein Dank.

Mein erster Dank geht an Fr. Prof. Lembens und Dr. Spitzer. Sie haben mir ermöglicht, diese Arbeit zu schreiben, haben mich über den langen Zeitraum hinweg betreut und mir die Möglichkeit gegeben die Arbeit zu überarbeiten und zu verbessern. Vielen Dank!

Mein zweiter Dank geht an meine Schwester und ihren Mann, die mir eine enorme Hilfe beim Korrekturlesen und Verbessern meiner Rechtschreibung und emotinale Stütze waren. Herzliches vergelts Gott!

Ein weiterer Dank gilt meinen Eltern, die mir das Studium ermöglicht haben und mich in dieser Zeit emotional und finanziell getragen und unterstützt haben. Ich habe euch lieb.

Ein weiterer Dank geht an alle, die mit mir mitgefiebert haben und mich durch ihren Zuspruch und Ihre Gebete begleitet haben. Allen voran Raphaela S., Maria W., Daniela P., Wolfgang K., Georg B., Christian S., und viele mehr.

Schließlich gilt mein Dank meinem Herrn, denn ich weiß, mein Leben ist sicher in seiner Hand.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	7
1. Einleitung	13
Teil I Allgemeiner theoretischer Teil	17
2. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion	18
2.1. Fachliche Klärung	21
2.2. Schülerinnen- und Schülervorstellungen	22
2.3. Didaktische Strukturierung	24
3. Outdoor Learning	26
3.1. Einleitung und Ausgangslage	26
3.2. Definition nach Rickson	26
3.3. Definition nach Szczepanski	27
3.4. Vorgeschichte des Outdoor Learnings	27
3.5. Chancen, Besonderheiten und Charakteristik des Outdoor Learnings	30
3.6. Schlussfolgerungen	38
4. Mobile Learning	40
4.1. Begriffsdiskussion und Definition von Mobile Learning	40
4.2. Charakteristik des Lernens bei Mobile Learning	41
4.3. Apps und Programme die für Mobile Learning Lehrpfade genutzt werden können	44
4.4. Bedeutung von Mobile Learning für den Chem-Track im Augarten	45
5. Fachliche Klärung zum Thema „Säuren und Basen“	47
5.1. Frühere Modelle	47
5.2. Das Arrhenius Konzept	48
5.3. Das Brønsted-Lowry Konzept	50
5.3.1. pH-Wert	52
5.3.2. K _s -Werte und Säurestärke	53
5.3.3. Puffersysteme	54
5.3.4. Indikatoren	55

5.3.5.	Vorteile und Besonderheiten des Brønsted-Konzepts.....	56
5.4.	Das Lewis Konzept.....	57
5.5.	Schwierigkeiten beim Einsatz von Säure-Basen-Konzepten im Unterricht.....	58
5.5.1.	Konzepte werden gemischt.....	58
5.5.2.	Klare Sprache zur Prävention von Vermischungen.....	61
5.5.3.	Vermeiden der Vermischung von Konzepten durch Fokus auf das Brønsted-Konzept	62
5.5.4.	Einsatz von Konzepten.....	63
5.6.	Fazit für die Strukturierung	64
6.	Lehrplan und Kompetenzmodell	66
6.1.	Der Lehrplan für das Unterrichtsfach Chemie am Gymnasium und Realgymnasium	66
6.1.1.	Didaktische Grundsätze.....	67
6.1.2.	Lehrstoff: Kernbereich: 4. Klasse und Bezug zum Chem-Tracking Lehrpfad.....	67
6.1.3.	Lehrstoff für wirtschaftskundliche Realgymnasien und Bezug zum Chem-Tracking- Lehrpfad	68
6.2.	Das Kompetenzmodell.....	68
6.2.1.	Die Handlungsdimension.....	69
6.2.2.	Die Anforderungsdimension.....	70
6.2.3.	Die Inhaltsdimension	70
7.	Perspektive von Schülerinnen und Schülern zum Thema der „Säuren und Basen“	72
7.1.	Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern.....	72
7.2.	Ursprung der Vorstellungen	75
7.3.	Kompatibilität mit naturwissenschaftlichen Vorstellungen zu „Säuren und Basen“	78
7.4.	Metaphern und Analogien	85
7.5.	Rolle der Fachwörter	86
7.6.	Handhabung von Konzepten durch Schülerinnen und Schüler	88
7.7.	Schlüsse und Konsequenzen für die Strukturierung.....	88
8.	Fragestellungen.....	91

Teil II Der Lehrpfad.....	92
9. Vorstellung des Lehrpfades.....	93
9.1. Allgemeines über den Lehrpfad	93
9.2. Allgemeine Intentionen des Lehrpfades	95
10. Schritte der Erstellung des Lehrpfades	98
11. Der Augarten als Ort des Lehrpfades.....	108
12. Vorwissen zum Thema der „Säuren und Basen“	110
12.1. Lehrplaninhalte zum Thema Säuren und Basen.....	110
12.2. Konkretes Vorwissen der Schülerinnen und Schüler anhand der Quelle Schulbücher .	111
12.3. Verweis auf die Schülerinnen- und Schülerperspektive.....	123
12.4. Weiterführungen und Vertiefungen im Lehrpfad	124
13. Einordnung des Lehrpfades in das Kompetenzmodell.....	126
13.1. Inhaltsdimensionen, die im Lehrpfad abgedeckt werden	126
13.2. Inhaltsdimensionen, die in einzelnen Stationen abgedeckt werden.....	127
13.3. Anforderungsdimensionen, die im Lehrpfad abgedeckt werden.....	130
13.4. Anforderungsdimensionen, die in einzelnen Stationen abgedeckt werden	132
13.5. Handlungsdimensionen, die im Lehrpfad in den einzelnen Stationen abgedeckt werden	134
14. Vorbereitungen und Nachbereitungen bei Besuch des Lehrpfades	138
14.1. Vorbereitung in der Schule	138
14.2. Materialliste	140
14.3. Nachbereitung in der Schule.....	141
15. Allgemeiner struktureller Aufbau der Stationen	142
16. Didaktische Strukturierung der Stationen.....	143
16.1. Allgemeine Schlussfolgerungen für die Strukturierung.....	143
16.2. Didaktische Strukturierung der Station „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“	147
16.2.1. Intention der Station.....	147

16.2.2.	Grundideen der Station	147
16.2.3.	Konsequenzen aus naturwissenschaftlicher Betrachtung und Perspektive der Schülerinnen und Schüler für die Strukturierung der Station.....	148
16.2.4.	Methodische Einbettung der Station	151
16.2.5.	Weiterführendes Material.....	154
16.3.	Didaktische Strukturierung der Station „ <i>In den sauren Apfel beißen</i> “	156
16.3.1.	Intention der Station	156
16.3.2.	Grundideen der Station	156
16.3.3.	Konsequenzen aus naturwissenschaftlicher Betrachtung und Perspektive der Schülerinnen und Schüler für die Strukturierung der Station.....	156
16.3.4.	Methodische Einbettung der Station	157
16.3.5.	Weiterführendes Material.....	161
16.4.	Didaktische Strukturierung der Station „ <i>Untersuchung von Pflanzenasche</i> “	161
16.4.1.	Intention der Station	161
16.4.2.	Grundideen der Station	161
16.4.3.	Konsequenzen aus naturwissenschaftlicher Betrachtung und Perspektive der Schülerinnen und Schüler für die Strukturierung der Station.....	162
16.4.4.	Methodische Einbettung der Station	164
16.4.5.	Weiterführendes Material.....	165
16.5.	Didaktische Strukturierung der Station „ <i>Stephansdom und Schneckenhaus</i> “	166
16.5.1.	Intention der Station	166
16.5.2.	Grundideen der Station	166
16.5.3.	Konsequenzen aus naturwissenschaftlicher Betrachtung und Perspektive der Schülerinnen und Schüler für die Strukturierung der Station.....	167
16.5.4.	Methodische Einbettung der Station	168
16.5.5.	Weiterführendes Material.....	172
16.6.	Didaktische Strukturierung der Station „ <i>Farbenspiel mit Bedeutung</i> “	172
16.6.1.	Intention der Station	172
16.6.2.	Grundideen der Station	172

16.6.3.	Konsequenzen aus naturwissenschaftlicher Betrachtung und Perspektive der Schülerinnen und Schüler für die Strukturierung der Station	173
16.6.4.	Methodische Einbettung der Station	176
16.6.5.	Weiterführendes Material	180
16.7.	Didaktische Strukturierung der Station „ <i>Kann auch ein Boden sauer oder basisch sein?</i> “	180
16.7.1.	Intention der Station.....	180
16.7.2.	Grundideen der Station	181
16.7.3.	Konsequenzen aus naturwissenschaftlichen Betrachtungen und Perspektive der Schülerinnen und Schüler für die Strukturierung der Station	181
16.7.4.	Methodische Einbettung der Station	183
16.7.5.	Weiterführendes Material	187
17.	Testung der ersten Stationen und Feedback im Diplomseminar	190
18.	Feedback über die Stationen und Diskussion	193
18.1.	Setting der Testung auf der Umwelt.Wissen.Schule. Tagung	193
18.2.	Ergebnisse des Feedbacks.....	194
18.2.1.	Feedback zur Station „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“	194
18.2.2.	Feedback zur Station „Farbenspiel mit Bedeutung“	196
18.2.3.	Feedback zur Station „In den sauren Apfel beißen“	198
18.3.	Auswertung und Diskussion	199
19.	Abschließende Zusammenfassung mit Ausblick	205
19.1.	Veränderungen anhand des Feedbacks der Lehrenden	205
19.2.	Rückmeldungen, die bewusst nicht in die Adaptierung eingearbeitet wurden	207
19.3.	Weitere Ausbaumöglichkeiten.....	207
20.	Literaturverzeichnis	209
21.	Abbildungsverzeichnis	217
22.	Tabellenverzeichnis.....	221
23.	Anhang.....	222

23.1. Abstract	222
23.2. Transkript der Rückmeldungen im Rahmen des Workshops bei der „Umwelt-Wissen-Schule Konferenz“: Allgemeines Feedback zu dem Projekt.....	223
23.3. Webseite der Station 1 „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“	227
23.4. Webseite der Station 2 „In den sauren Apfel beißen“	230
23.5. Webseite der Station 3 „Untersuchung von Pflanzenasche“	235
23.6. Webseite der Station 4 „Farbenspiel mit Bedeutung“	238
23.7. Webseite der Station 5 „Schneckenhaus und Stephansdom“	241
23.8. Webseite der Station 6 „Kann auch der Boden sauer oder basisch sein?“	244
23.9. Druckversion der Station 1 „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“	248
23.10. Druckversion der Station 2 „In den sauren Apfel beißen“	250
23.11. Druckversion der Station 3 „Untersuchung von Pflanzenasche“	253
23.12. Druckversion der Station 4 „Farbenspiel mit Bedeutung“	255
23.13. Druckversion der Station 5 „Schneckenhaus und Stephansdom?“	257
23.14. Druckversion der Station 6 „Kann auch der Boden sauer oder basisch sein?“	259
23.15. Feedbackbogen zur Station 1 „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“ ...	261
23.16. Feedbackbogen zur Station 2 „In den sauren Apfel beißen“	262
23.17. Feedbackbogen zur Station 4 „Farbenspiel mit Bedeutung“	263

1. Einleitung

Natur ruft häufig positive Assoziationen hervor. Chemie ist wohl keine klassische Assoziation zu Natur und wenn doch, dann vielleicht eher als Kontrapunkt. Doch in der Natur gibt es viele chemische Reaktionen, die entdeckt werden können. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird ein Lehrpfad für den Augarten in Wien entwickelt, der an dieser Lücke ansetzt und die Entwicklung dieses Chemielehrpfads vorgestellt. In diesem Lehrpfad wird das Thema der „Säuren und Basen“ für die Zielgruppe Sekundarstufe I als Outdoor Learning und Mobile Learning Aktivität aufbereitet. Der Lehrpfad bietet die Möglichkeit die Thematik, die Schülerinnen und Schüler bereits aus dem Unterricht kennen zu wiederholen und im Kontext der Natur zu vertiefen.

Durch das Lernen bzw. Wiederholen chemischer Inhalte im natürlichen Kontext soll, entsprechend einer angemessenen naturwissenschaftlichen Grundbildung, das Erkennen von Zusammenhängen ermöglicht werden.

Naturwissenschaftliche Grundbildung ist die Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, die die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen (OECD, 1999, S. 66).

Es handelt sich also um die Fähigkeit, sich mit naturwissenschaftlichen Inhalten, sowie mit grundlegenden Ideen aus der Naturwissenschaft auseinandersetzen zu können. Damit eine Bürgerin oder ein Bürger als reflektiert gilt, muss sie oder er für die Naturwissenschaftliche Grundbildung drei Aspekte beherrschen. Sie oder er soll erstens Phänomene erklären, zweitens Versuche oder Untersuchungen planen und evaluieren können und drittens Daten und Ergebnisse interpretieren können (OECD, 2016).

Durch das Lernen an Phänomenen in deren Originalumgebung, bietet der Lehrpfad eine Schnittstelle zwischen Naturerleben und schulischem Wissen der Schülerinnen und Schüler. Der Lehrpfad soll im Sinne von Outdoor Learning und Mobile Learning konzipiert werden. Er greift Phänomene, Prozesse und Gegebenheiten der Natur auf, die mit dem Thema „Säuren und Basen“ zusammenhängen. Durch das Erarbeiten von Stationen sollen Querverbindungen zwischen dem Naturerleben und der inhaltlichen Thematik hergestellt werden und auch eine Vernetzung mit der Alltagswelt der Schülerinnen und Schüler ermöglicht werden. Outdoor Learning bietet mehr als inhaltliche Auseinandersetzung mit einem Thema. Es soll auch das Naturerleben selbst Lernprozesse in Gang setzen und unterstützen.

Die Fachliteratur zeigt, dass unter anderem auch im chemischen Kontext ein Ausbau der Lehrmöglichkeit „Lehrpfade“ wünschenswert ist, da Chemie nicht nur in Labors stattfindet und das

Schülerinnen und Schülern begreifbar gemacht werden soll (Spitzer & Lembens, 2017). Dabei kann an Phänomenen in Natur und Umwelt exemplarisch gelernt werden (Borrows, 2006).

In Dänemark nutzen bereits 30 % der Schulen die Möglichkeit, Outdoor Learning in den Regelunterricht zu integrieren. In England werden Lehrerinnen und Lehrer ermutigt und unterstützt Outdoor Learning in den Regelunterricht einzubinden (MacQuarrie, 2016).

Outdoor Learning bietet auch für den Chemieunterricht eine besondere Chance, und zwar die Möglichkeit aufzuzeigen, dass chemische Prozesse überall zu finden sind, auch in der Natur. Peter Borrows ist ein Vorreiter dafür, Outdoor Learning speziell für den Chemieunterricht zu nutzen. Er ist ein Naturwissenschaftler, der anorganischen Chemie studierte und mehr als zwanzig Jahre Chemie unterrichtete. Er entwickelte Lehrpfade, durch die chemische Prozesse aus der Natur, oder aber auch aus der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler aufgezeigt und bearbeitet wurden. Denn es ist wichtig Schülerinnen und Schüler davon zu überzeugen, dass Chemie nicht nur in Reagenzgläsern stattfindet (Borrows, 2006). Auf seine Lehrpfade stützt sich auch das Konzept, nach dem der Lehrpfad im Augarten aufgebaut ist. Deshalb werden diese Lehrpfade nun kurz erläutert.

Lehrpfade sind meist definierte Routen durch ein Gelände, beispielsweise in der Natur oder in einer Stadt, bei denen an gewissen Standorten Aspekte aus der Biologie, der Geologie oder aus anderen Sparten, wie der Geschichte aufgegriffen und thematisiert werden. Borrows beobachtete, dass Menschen dafür offen sind etwas aus und über ihre Umgebung zu lernen. In diesem Sinne entwickelte Borrows Lehrpfade, welche die chemischen Aspekte der Umgebung aufzeigen sollen. Seinen ersten Lehrpfad entwickelte er, als er in London in der Pimlico-School über Verwitterung und Veränderung unterrichtete. Er bemerkte, dass sich in der Reichweite von 100 Meter um die Schule genügend Beispiele befanden, um Korrosion anhand von Mauerwerk und Metallen aufzuzeigen. Daraus entwickelte sich der Pimlico Chemistry Trail, bei dem anhand der Anschauungsbeispiele direkt am Schulgebäude und in der Umgebung die Phänomene gezeigt und die jeweiligen Gründe zugeordnet werden konnten (Braund & Reiss, 2004).

The Pimlico Chemistry Trail, like most nature trail leaflets, simply presented the information, although of course the teacher working with the class could question the pupils about what they were looking at, how it might have happened, and so on (Braund & Reiss, 2004, 132).

Dieser Lehrpfad wurde mit der Zeit erweitert und ausgebaut. Einige Lehrer anderer Schulen übernahmen das Konzept für das Gelände um ihre Schulen. Dem Lehrpfad folgten viele weitere an anderen Standorten. (Norwich Cathedrale, Science Museum London, oder in Stadtzentren von Bedford, Cambridge, Walthamstow, Marlow, Witwatersrand in South Africa). Forster erweiterte den Lehrpfad durch Arbeitsaufträge. Er fügte Beobachtungen, Messungen und Berechnungen hinzu. Die Schülerinnen und Schüler bekamen als Leitfaden für ihre Arbeitsaufträge Fragen zu den

einzelnen Stationen, die sie beantworten sollten. Es gab auch eine entsprechende Broschüre für die Lehrenden, die diese für Aufgaben inspirieren sollte. Ein Vorteil an dieser Variante war, abgesehen von den interaktiven Elementen, dass einzelne Stationen auch herausgenommen werden konnten und etwa in den letzten zehn Minuten einer Unterrichtsstunde genutzt werden konnten (Braund & Reiss, 2004).

In diesem Sinne entwickelte auch Spitzer im deutschen Sprachraum das Projekt Chem-Tracking. Es handelt sich dabei um einen interaktiven Lehrpfad, der aufzeigen soll, dass „Chemie“ überall ist. Der ursprüngliche Lehrpfad wurde in einem Wald in Hilchenbach Lützel in Deutschland angelegt. Dieser befasst sich mit dem Aufdecken von chemischen Prozessen, die in einem Wald angetroffen werden können.

Chem-Tracking funktioniert wie ein Multi-Cache-Geocachingabenteuer. Mit Hilfe von Koordinaten gelangt man zu den einzelnen Stationen, die aus einem QR-Code bestehen. Scannt man diesen mit dem Smartphone und einer entsprechenden installierten App, so gelangt man auf die mobile Webseite mit allen Informationen. Auf dieser Webseite befinden sich interessante Infos zu chemischen Prozessen im Wald (Spitzer, 2017).

Weil der Stationenbetrieb über Handy abgerufen wird, fällt er auch in die Kategorie des Mobile Learnings. Allgemeine Informationen über das Projekt Chem-Tracking finden sich auf dieser Webseite: <http://chem-tracking.de>. Zugriff auf die einzelnen Stationen bekommt man nur vor Ort oder auf Anfrage. Bei den einzelnen Stationen können Untersuchungen und Versuche zu verschiedenen chemischen Prozessen gemacht werden, die in einem Wald angetroffen werden.

Diese Methode des Unterrichtens ist im Sinne des Lehrplanes, der folgendes fordert: Entsprechend dem exemplarischen Lernen werden durch die Bearbeitung von lebensnahen Themen Einsichten, Kenntnisse, Fähigkeiten, Fertigkeiten und Methoden gewonnen, die auf andere strukturverwandte Probleme übertragen werden können. Dabei werden besonders neue Technologien als Medien genutzt und außerschulischer Lernorte als Ergänzung des lehrplanmäßigen Unterrichts verwendet, um den Unterricht zu bereichern (BFBWF, 2019).

Der Lehrpfad von Spitzer widmet sich vielen verschiedenen chemischen Thematiken, die in einem Wald angetroffen werden können. Bei jeder Station wird ein anderes Thema aus der Chemie erläutert. Es besteht Grund zur Annahme, dass ein Lehrpfad leichter in den Chemieunterricht einzugliedern ist, wenn er einem einzigen Thema innerhalb der Chemie gewidmet ist. Denn dann ergibt sich die Möglichkeit, dass er als Auffrischung oder Vertiefung, zum Festigen des Themas verwendet wird. Der Lehrpfad, der im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurde, soll das Kriterium erfüllen, dass nur ein Thema behandelt wird, und zwar eines, das im Lehrplan verankert ist. Er ist dem Thema „Säuren und Basen“ gewidmet. Infos über den Chemielehrpfad in Wien im Augarten sind unter <http://augarten.chem-tracking.de> zu finden.

Als Methode zur Entwicklung des Lehrpfades wurde das Konzept der Didaktischen Rekonstruktion herangezogen. Die Gliederung der Diplomarbeit lehnt sich deshalb ebenso daran an. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion wird im folgenden Kapitel (Kapitel 2) beschrieben. Zunächst wird jedoch noch der allgemeine Aufbau der Diplomarbeit erläutert.

Für die schriftliche Arbeit wurden die Elemente folgendermaßen gegliedert. Die Diplomarbeit besteht aus zwei großen Teilen (Teil I, Teil II). Der erste Teil (Teil I) ist der allgemeine theoretische Teil. Er umfasst die Beschreibung der Methode, die zur Entwicklung des Lehrpfades genutzt wurde, also die Didaktische Rekonstruktion (Kapitel 2), und beinhaltet zudem die Erläuterung der beiden Unterrichtsmethoden Outdoor Learning (Kapitel 3) und Mobile Learning (Kapitel 4), die in der Anwendung des Lehrpfades genutzt werden, sowie die Fachliche Klärung des Themas „Säuren und Basen“ (Kapitel 5). Diese beleuchtet sowohl Grundlagen der Konzepte der „Säuren und Basen“ aus fachwissenschaftlicher Sicht als auch aus fachdidaktischer Sicht. Weiters werden der Lehrplan und das Kompetenzmodell vorgestellt in die sich der Lehrpfad eingliedern lässt (Kapitel 6). Schließlich beleuchtet der theoretische Teil auch die allgemeine Perspektive von Schülerinnen und Schülern zum Thema der „Säuren und Basen“ (Kapitel 7).

Der zweite Teil der Diplomarbeit (Teil II) ist auf den Lehrpfad fokussiert. Zuerst wird der Lehrpfad allgemein vorgestellt (Kapitel 8-15). Danach folgt die Didaktische Strukturierung des Themas für die Stationen des Lehrpfades (Kapitel 16). Dabei wird jede Station einzeln unter Berücksichtigung der fachlichen Klärung sowie der relevanten Schülerinnen- und Schülerperspektiven betrachtet und gerechtfertigt. Anschließend werden erhobene Feedbacks von Lehrerinnen und Lehrern, über erprobte Stationen, dargelegt und anhand dieser die Entwicklung des Lehrpfades diskutiert (Kapitel 17, 18). Schließlich werden die vorgenommenen Veränderungen und mögliche Erweiterungen vorgestellt (Kapitel 19).

Teil I

Allgemeiner theoretischer Teil

In diesem theoretischen Teil wird zunächst in Kapitel 2 die Methode der „Didaktischen Rekonstruktion“ erklärt, anhand derer der Lehrpfad in dieser Arbeit entwickelt wird. Im Anschluss an die Vorstellung der Methode, die für die Diplomarbeit genutzt wird, werden in Kapitel 3 Outdoor Learning und in Kapitel 4 Mobile Learning vorgestellt, die als Methoden für den Lehrpfad selbst genutzt werden. Dem folgt in Kapitel 5 eine fachliche Klärung zum Thema der „Säuren und Basen“. Dabei wird das Basiswissen über die chemischen Inhalte dargelegt und in fachdidaktischer Hinsicht beleuchtet. Kapitel 6 stellt den Lehrplan und das Kompetenzmodell für das Unterrichtsfach Chemie vor. Schließlich wird in Kapitel 7 auch die Perspektive der Schülerinnen und Schüler zum Thema „Säuren und Basen“ noch im allgemeinen Teil literaturbasiert aufgezeigt.

Im ersten Teil des nun folgenden Kapitels 2 wird die Aufgabe und Bedeutung der Didaktischen Rekonstruktion vorgestellt, dann werden die Einflüsse anderer Konzepte auf die Didaktische Rekonstruktion aufgezeigt. Schließlich werden das Konzept selbst und seine Hauptbestandteile genauer erläutert.

2. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Die Didaktische Rekonstruktion ist ein Modell, das einen theoretischen und methodischen Rahmen zur Planung des Unterrichtes bietet, aber auch zur fachdidaktischen Lehr-Lernforschung dient (Reinfried, Mathis, & Kattman, 2009). Die Didaktische Rekonstruktion dient dazu Curriculuminhalte zu gewinnen und diese zu rechtfertigen (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 2015).

Als didaktischer und methodischer Handlungsrahmen zur Auswahl und Rechtfertigung von Methoden und Medien, zur Gestaltung eines Lehrgegenstandes, dient oft das Didaktische Dreieck als Orientierungsschema (siehe Abbildung 1). Darin werden die Beziehungen zwischen der oder dem



Abbildung 1: Didaktisches Dreieck

Lernenden, der oder dem Lehrenden und dem Sachgegenstand beschrieben. Dabei wird jeweils eine der drei Komponenten betrachtet, die mit den beiden anderen in Wechselbeziehung steht (Reinfried et al., 2009).

Bei der Didaktischen Rekonstruktion stellt das Fachdidaktische Triplet die Beziehungen zwischen den drei Teilen der Didaktischen Rekonstruktion dar (Kattmann et al., 2015). Sie setzt sich zusammen aus den drei Teilen, der Fachlichen Klärung, der Erfassung der

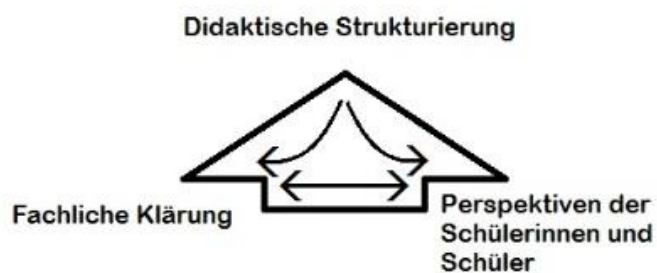


Abbildung 2: Didaktisches Triplet der Didaktischen Rekonstruktion

Perspektiven von Schülerinnen und Schülern und der Didaktischen Strukturierung (siehe Abbildung 2). Diese drei Komponenten werden nicht isoliert betrachtet, sondern systematisch aufeinander bezogen, um die Struktur des Unterrichts zu entwerfen (Reinfried et al., 2009).

Dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion liegt eine konstruktivistische Lehr-Lernvorstellung zugrunde. Lernen wird als Conception Reconstruction betrachtet. Das bedeutet vorunterrichtliche Vorstellungen werden nicht ersetzt, sondern durch die Lernende oder den Lernenden aktiv modifiziert, ergänzt und differenziert. Somit sind für das Lernen die Anschauungen und inneren Tätigkeiten wesentlich. Daraus ergibt sich, dass beim Modell der Didaktischen Rekonstruktion die

vorunterrichtlichen Vorstellungen als Lernvoraussetzungen betrachtet werden und für die Strukturierung des Unterrichts ebenso gleichgewichtet werden, wie die fachwissenschaftlichen Konzepte (Reinfried et al., 2009).

Ein Vorläuferkonzept der Conceptual Reconstruction ist Conceptual Change, zu Deutsch, Konzeptwechsel, der aus Wortbedeutungsgründen besser „Vorstellungsänderung“ genannt wird. Dabei sollen Schülerinnen und Schüler die Erfahrung machen, dass naturwissenschaftliche Vorstellung in gewissem Kontext fruchtbarer sind als Alltagsvorstellungen und daraufhin ihre Vorstellungen adaptieren (Kattmann et al., 2015).

Wenn der Fokus wie bei Cold Conceptual Change auf Rationalität liegt, kann es dazu kommen, dass Schülerinnen und Schüler das fachliche Konzept verstehen, es aber nicht „glauben“, denn beim Cold Conceptual Change fehlt die Berücksichtigung der Aspekte Interesse oder Einstellungen und Motivation der Schülerinnen und Schüler. Damit diese in der Didaktische Rekonstruktion Berücksichtigung finden, werden Einflüsse des sozial-konstruktivistischen Ansatzes herangezogen, durch welche soziales Lernen, sowie materieller und sozialer Rahmen, in einem inklusiven Blick, mitberücksichtigt werden (Kattmann et al., 2015). Um die Vorstellungen der Lernenden für die Entwicklung des Unterrichtes zu nutzen, werden diese mit den fachlich geklärten Vorstellungen in Bezug gesetzt (Reinfried et al., 2009). Die Didaktische Rekonstruktion zeigt noch weitere Einflüsse auf, Einflüsse von zwei Planungsmodellen. Es werden Ideen aus dem Strukturmomentemodell und aus der Didaktischen Analyse nach Klafki zusammengeführt.

Das erste Modell, aus dem Aspekte für die Didaktische Rekonstruktion herangezogen werden ist Klafki's Modell der Didaktischen Analyse. In Klafki's Modell der Didaktischen Analyse, tragen die Ziele als „Primat der Didaktik“ eine übergeordnete Rolle und gehen Entscheidungen über Methoden und Medien voraus (Kattmann et al., 2015), die zur Feinabstimmung der Variablen (Inhalt, Methode, Medien, ..) führen soll (Duit, 2010). In Anlehnung an dieses Modell kommt den Zielen auch in der Didaktischen Rekonstruktion eine Sonderstellung zu.

Des Weiteren werden in der Didaktischen Analyse Grundfragen an den Bildungsinhalt gestellt. Die Frage nach Sinn- und Sachzusammenhang, nach Möglichkeiten zur exemplarischen Wirksamkeit, nach der Bedeutung in der Gegenwart und für die Zukunft, sowie nach der „Struktur“ und nach anschaulichen Beispielen (Kattmann et al., 2015). Durch diese Fragen soll geprüft werden, ob der Inhalt für die Schülerinnen und Schüler entsprechend aufbereitet werden kann. Auf diese Weise wird die Perspektive der Schülerinnen und Schüler eingebracht. Auch bei der Didaktischen Rekonstruktion spielt die Perspektive der Schülerinnen und Schüler eine große Rolle.

Im Modell von Klafki wird besonders darauf Wert gelegt, dass exemplarisch gelernt werden kann. Das bedeutet, der Inhalt wird an einem konkreten Phänomen gelernt, das eine Grundidee oder ein Prinzip repräsentiert, die oder das mitgelernt werden soll. Diese Grundideen sollen in der Analyse von Klafki herausgearbeitet werden. Dasselbe geschieht in der Didaktischen Rekonstruktion im Rahmen der Fachlichen Klärung (Kattmann et al., 2015).

Das zweite Modell, aus dem Aspekte für die Didaktische Rekonstruktion herangezogen werden, ist das Strukturmomentenmodell. In diesem Modell stehen die Variablen Thematik, Methode, Medien und Intention in wechselseitiger Abhängigkeit (Kattmann et al., 2015). Dabei sollen Ziele die Frage nach dem „Warum?“, Inhalt die Frage nach dem „Was?“, Methode die Frage nach dem „Wie?“ und Medien die Frage nach dem „Womit?“ beantworten. Die Methodenwahl (z.B. Experiment, Frontal-, ...) und Medienwahl stehen in Wechselbeziehung mit den Zielen (z.B. das Einüben manueller Fähigkeiten). Die vier Variablen müssen also aufeinander abgestimmt sein. In diesem Modell werden außerdem auch kognitive und affektive Voraussetzungen, sowie soziokulturelle Voraussetzungen mitberücksichtigt (Duit, 2010). In der Didaktischen Rekonstruktion wird in Anlehnung an das Konzept vor allem das Zusammenspiel der Variablen berücksichtigt.

Die beiden genannten Theorien stehen primär in einem Widerspruch, da im Strukturmomentenmodell alle Variablen gleichwertig betrachtet werden und in der Didaktischen Analyse die Ziele den Ausgangspunkt bilden und den anderen Variablen übergeordnet sind. Dennoch gelingt es der Didaktischen Rekonstruktion, Anteile aus beiden Theorien zu vereinen, indem sie aus dem Strukturmomentenmodell die grundsätzliche Wechselwirkung und Abhängigkeit der Variablen entnimmt und den Zielen entsprechend der didaktischen Analyse nach Klafki eine übergeordnete Rolle zuschreibt (Kattmann et al., 2015).

Durch Frey kommt in der Didaktischen Rekonstruktion zu den beiden Modellen noch der Ansatz, die Didaktische Rekonstruktion als curricularen Prozess zu sehen, bei dem das Hauptanliegen darin besteht, die Unterrichtsinhalte den Schülerinnen und Schülern zugänglich zu machen (Kattmann et al., 2015).

Es wurden nun die Einflüsse, die das Modell der Didaktischen Rekonstruktion prägen aufgezeigt. In den folgenden Kapiteln (2.1-2.3) wird das Modell der Didaktischen Rekonstruktion selbst näher vorgestellt und die Funktion der drei Komponenten der Didaktischen Rekonstruktion, also der Fachlichen Klärung, der Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler und der Didaktischen Strukturierung, die gleichwertig zum Modell beitragen, erläutert.

2.1. Fachliche Klärung

Die erste Komponente der Didaktischen Rekonstruktion, die erläutert wird, ist die Fachliche Klärung. Die Fachliche Klärung ist eine Analyse der fachlichen Inhalte zu einem Thema. Dabei werden fachwissenschaftliche Perspektiven im Besonderen mit Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler „konfrontiert“ und daraus Schlüsse für die didaktische Strukturierung gezogen.

Die fundamentalen Inhalte eines Themas, die vermittelt werden sollen, stammen zum Teil aus der Fachwissenschaft. Quelle für den fachwissenschaftlichen Hintergrund sind häufig wissenschaftliche Schriften oder Lehrbücher. Die Vorstellungen, die diese enthalten, können jedoch nicht ohne weiteres als korrekt und deshalb für den Unterricht als akzeptabel angenommen werden (Kattmann et al., 2015). Denn die Sachstruktur aus der Fachwissenschaft ist geprägt durch Begriffe und Prinzipien, sowie durch Denk- und Arbeitsweisen der jeweiligen Fachwissenschaft oder auch vom Weg der Erkenntnisgewinnung (Duit, 2010). Fachliche Vorstellungen enthalten also implizit Bezüge, z.B. wie das Wissen gewonnen wurde. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler setzen das voraus. Es ist aber den Schülerinnen und Schülern nicht bekannt. Die fachwissenschaftliche Sachstruktur kann also für den Unterricht nicht direkt übernommen werden. Es ist nötig, dass die Inhalte aus der Fachwissenschaft zunächst analysiert und reflektiert werden. Die Darstellungen in den Lehrbüchern können persönliche Sichtweisen enthalten, die durch die Autoren, den Kontext, in dem diese geschrieben wurden, oder durch das jeweilige historische Verständnis geprägt sind. Außerdem kommen innerfachliche Beziehungen häufig zu kurz (Kattmann et al., 2015).

Das Thema soll für den Unterricht so aufbereitet werden, dass es für die Schülerinnen und Schüler verständlich und interessant ist. Die Sachstruktur für den Unterricht muss dazu pädagogisch und didaktisch konstruiert werden. Zu der Aufbereitung der Sachstruktur gehört das Bereiten einer methodischen Umsetzung und das Schaffen von Anreizen, die zu einer Auseinandersetzung mit dem Thema motivieren sollen. Die Sachstruktur für den Unterricht ist dementsprechend nicht schlichter, sondern komplexer als die Sachstruktur der Fachwissenschaft. Beispielsweise enthält die Sachstruktur für den Unterricht eine Erklärung von fachwissenschaftlichen Bezügen und außerdem wird die Bedeutung des fachlichen Inhaltes für die Gesellschaft, die Umwelt oder das Individuum herausgearbeitet, damit die Schülerinnen und Schüler angemessene Vorstellungen entwickeln können, die Bezug zu ihrem alltäglichen Erleben haben (Kattmann et al., 2015).

Die Aufgabe der Fachlichen Klärung ist es, die fachlichen Konzepte und Vorstellungen zu betrachten, im Hinblick darauf, wie diese für den Unterricht angemessen genutzt werden können. Die Fachliche Klärung beinhaltet deshalb den gegenwärtigen Stand der Theorien zu einem Thema, aber auch überholte und historische Theorien, wenn diese zu einem besseren Verständnis für

Schülerinnen und Schüler beitragen, sowie fachwissenschaftliche Vorstellungen und Methoden. Das Thema soll jedoch nicht nur innerfachlich geklärt werden, sondern auch aus metafachlicher Perspektive reflektiert werden. Deshalb werden Inhalte aus fachspezifischen Lehrbüchern unter Bezugnahme von fachdidaktischer Literatur über das entsprechende Thema untersucht und dargelegt (Kattmann et al., 2015) und somit die Bedeutung für die oder den Lernenden analysiert und reflektiert (Reinfried et al., 2009). In der Fachlichen Klärung wird aufgezeigt, welche für den Unterricht bedeutende fachwissenschaftliche Aussagen und Konzepte zu dem Thema existieren und welche Grenzen diese haben (Kattmann et al., 2015). Die fachlichen Vorstellungen werden auf Übereinstimmung mit Schülerinnen- und Schülervorstellungen, untersucht. Es wird festgestellt, welche Vorstellungen lernförderlich genutzt und weitergeführt werden können, damit fachwissenschaftliche Erkenntnisse angeeignet, strukturiert und auf adäquate Weise dargestellt werden können (Kattmann et al., 2015).

Die Fachliche Klärung beinhaltet auch die Untersuchung von Begriffen, die für das Thema essenziell sind. Dabei können deren Genese, Funktion und Bedeutung reflektiert werden, sowie der Kontext, in dem diese verwendet werden. Die Begriffe sollen außerdem auch auf ihre Wortbedeutung hin analysiert werden, im Hinblick darauf, ob der Wortsinn lernförderlich oder hinderlich ist (Reinfried et al., 2009). Dementsprechend können die Begriffe, die sich für den Unterricht eignen, ausgewählt werden.

Je nach Thema können auch spezifische Kontexte untersucht werden. Diese können Anwendungsbereiche betreffen, aber auch ethnische oder gesellschaftliche Implikationen (Kattmann et al., 2015).

Aus den Analysen der Fachlichen Klärung sollen schließlich Konsequenzen für die Didaktische Strukturierung formuliert werden, die dort dann weiter behandelt werden (Reinfried et al., 2009).

2.2. Schülerinnen- und Schülervorstellungen

Die zweite Komponente der Didaktischen Rekonstruktion befasst sich mit der Perspektive der Schülerinnen und Schüler.

Diese greift auf empirische Erforschung zurück, bei der innere Vorstellungen und Anschauungen der Lernenden zu einem Sachverhalt erhoben werden. Als „Vorstellungen“ gelten dabei sowohl Begriffe, Konzepte, Denkmuster als auch andere kognitive Konstrukte. „Vorstellungen“ können dabei verschiedene Komplexitätsebenen betreffen. Es sollen nicht nur Wissensbestände der Schülerinnen und Schüler erhoben werden, sondern jegliche Vorstellungen, die zu dem bestimmten Thema aufgefunden werden. Bei der empirischen Forschung ist wichtig, dass die

Forschungsfrage und die Methode dem Forschungsgegenstand entsprechen. Zur Erhebung der Daten können beispielsweise Interviews oder Fragebögen herangezogen werden. Bei der Interpretation von Äußerungen der Schülerinnen und Schüler müssen die entsprechenden Umstände, unter denen diese getätigt wurden, mitberücksichtigt werden. Es kann dabei davon ausgegangen werden, dass die Vorstellungen im jeweiligen Kontext stimmig sind. Wenn der oder dem Interpretierenden die Aussagen wirr oder widersprüchlich erscheinen, kann angenommen werden, dass der oder die Interpretierende nicht erfasst hat, was die Schülerin oder der Schüler ausdrücken wollte (Kattmann et al., 2015).

In der Didaktischen Rekonstruktion sollen für die Darstellung der Perspektive der Schülerinnen und Schüler entsprechende Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zum Thema aus empirischen Forschungen herangezogen und untersucht werden. Denn diese Vorstellungen sind Ausgangspunkt der oder des Lernenden, unabhängig davon, ob sie auf Alltagstheorien oder auf wissenschaftlichen Kenntnissen beruhen (Kattmann et al., 2015).

Beim Erfassen der Schülerinnen- und Schülervorstellungen für eine Didaktische Rekonstruktion wird nicht berücksichtigt wie häufig eine Sichtweise auftritt. Es geht viel eher darum, die möglichen Denkmuster und Vorstellungen, die unter den Schülerinnen und Schülern auftreten, aufzudecken, das heißt also, diese zu identifizieren. Dabei können gleiche oder vergleichbare Denkmuster zu Kategorien zusammengefasst werden. Die Vorstellungen werden im Zuge dessen herausgearbeitet und verallgemeinert (Kattmann et al., 2015).

In der Untersuchung der Perspektive der Schülerinnen und Schüler zu einem Thema wird also die Frage: „Welche Vorstellungen haben Lernende zu diesem Thema?“ behandelt (Reinfried et al., 2009). Dieser Fragestellung können noch weitere angeschlossen werden, wie die Frage: „Woher stammen diese Vorstellungen; aus der Lebenswelt oder aus fachorientiertem Kontext?“ (Kattmann et al., 2015). Die Vorstellungen können auch daraufhin analysiert werden, welche Metaphern oder Analogien für Erklärungen herangezogen werden (Reinfried et al., 2009).

Zur weiteren Untersuchung der Perspektive der Schülerinnen und Schüler können die vorgefundenen Vorstellungen dieser auf die wissenschaftlichen Konzepte bezogen werden, um Unterschiede und Übereinstimmungen festzustellen (Kattmann et al., 2015). Dazu kann die Frage gestellt werden: „Welche Merkmale der wissenschaftlichen Konzepte werden durch die Schülerinnen- und Schülervorstellungen angesprochen?“ (Reinfried et al., 2009).

Eine weitere Frage zur Untersuchung der Perspektive der Schülerinnen und Schüler zu einem Thema befasst sich damit, welche Bedeutung den zentralen Fachwörtern beigemessen wird (Kattmann et al., 2015).

Es können auch andere themenspezifische Fragen formuliert werden (Kattmann et al., 2015) um die Perspektive der Schülerinnen und Schüler zu konkreten Teilaspekten des Themas entsprechend zu beleuchten.

Nachdem die Perspektive der Schülerinnen und Schüler erhoben und analysiert wurde, sollen deren Bedeutung für die Fachliche Klärung und die Konsequenzen, die sich daraus für die Didaktische Strukturierung ergeben, zusammengefasst werden (Reinfried et al., 2009).

2.3. Didaktische Strukturierung

Die dritte Komponente der Didaktischen Rekonstruktion ist die Didaktische Strukturierung. In der Didaktischen Strukturierung werden die Ergebnisse der Fachlichen Klärung und der Perspektive der Schülerinnen und Schüler miteinander verknüpft (Kattmann et al., 2015). Die Ergebnisse der beiden Komponenten sollen dabei genutzt werden, um eine Lerngelegenheit zu entwerfen (Reinfried et al., 2009). Dafür werden Denkmuster und Konzepte, die aus den Fachwissenschaften stammen und solche, die von Schülerinnen und Schülern stammen, unter wechselseitigem Bezug beleuchtet und daraus resultierend Vermittlungsabsichten entschieden (Kattmann et al., 2015).

In der Didaktischen Strukturierung können durch den Vergleich von verallgemeinerten Vorstellungen aus den Fachwissenschaften und Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler (Kattmann et al., 2015) Übereinstimmungen sowie Abweichungen erfasst werden, die dementsprechend für den Unterricht genutzt werden können (Reinfried et al., 2009). Die Charakteristika der Denkweisen und Vorstellungen aus den beiden Perspektiven sollen dabei deutlich werden (Kattmann et al., 2015). Der Vergleich kann in Hinblick auf vier Kategorien geschehen. Diese Kategorien sind Eigenheiten, Gemeinsamkeiten, Verschiedenheiten und Begrenzungen.

Unter der Kategorie „Eigenheiten“ werden die beiden Perspektiven daraufhin untersucht, ob gewisse Vorstellungen jeweils nur für die fachwissenschaftliche Theorie oder für die Perspektive der Schülerinnen und Schüler typisch sind (Kattmann et al., 2015).

Unter der Kategorie „Gemeinsamkeiten“ werden Übereinstimmungen in den Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern und den Fachwissenschaften gesucht und festgehalten (Kattmann et al., 2015).

Unter der Kategorie „Verschiedenheiten“ werden solche Aspekte aufgedeckt, die sich in den Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern von den Vorstellungen der Fachwissenschaft unterscheiden. Die Unterschiede werden jedoch nur dann als widersprüchlich bezeichnet, wenn sie

beide im Rahmen desselben Konzeptes auftreten (Kattmann et al., 2015). Das bedeutet, dass Unterschiede, die sich nicht auf dasselbe Konzept beziehen, nebeneinander bestehen können.

Unter der Kategorie „Begrenztheiten“ können durch die Eigenheiten der fachwissenschaftlichen Theorie und der Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler, die Grenzen der jeweiligen Konzepte und Vorstellungen verdeutlicht werden (Reinfried et al., 2009).

Wenn die Charakteristika der beiden erfasst wurden, können daraus resultierende Lernmöglichkeiten und Schwierigkeiten abgeleitet werden, aber auch Ziel- und Aktionsmodelle für den Unterricht festgelegt werden (Reinfried et al., 2009).

In der Didaktischen Strukturierung werden auch zentrale Begrifflichkeiten im Hinblick auf die Schülerinnen- und Schülerperspektiven analysiert, um die Begriffe und deren Einsatz in der Vermittlung entsprechend auszuwählen (Kattmann et al., 2015). Dabei ist auch zu beachten welche Schülerinnen- und Schülerperspektiven für die Wahl der Begrifflichkeiten bedeutsam sind.

Den Unterricht zu strukturieren, kann durch Elementarisierung und anschließende Konstruktion der Sachstruktur für den Unterricht geschehen. Dabei werden zentrale Grundideen des Themas herausgearbeitet und für den Unterricht methodisch so eingebettet, dass diese auch für die Lernende oder den Lernenden lernenswert, relevant und interessant erscheinen (Duit, 2010). Dabei muss zwischen fachlicher Zulässigkeit und Erlernbarkeit abgewogen werden. Die Aufbereitung der Inhalte wird an die Zielgruppe angepasst. Das geschieht durch die Wahl des Niveaus und durch das Herstellen bedeutsamer Zusammenhänge. Es findet somit eine Didaktische Transformation und eine Didaktische Reduktion statt, mit der Intention, dass der Inhalt für die Lernenden einfacher zu erfassen wird. Didaktische Reduktion meint dabei nicht nur ein Vereinfachen der Inhalte aus der Fachwissenschaft, sondern auch ein gezieltes Auswählen aus der Fülle (Kattmann et al., 2015).

Es wurde nun erläutert welche Bedeutung die Didaktische Rekonstruktion hat und aus welchen Komponenten sie sich zusammensetzt. Die drei Komponenten werden in der Diplomarbeit für das Thema „Säuren und Basen in der Natur“ bearbeitet. Wobei die Fachliche Klärung und die Perspektive der Schülerinnen und Schüler im allgemeinen theoretischen Teil zu finden sind, weil diese auf Literaturarbeit beruhen, während die Didaktische Strukturierung im zweiten Teil steht, weil sie sich konkret auf den Lehrpfad bezieht. Bevor die Komponenten der Didaktischen Rekonstruktion für das Thema nun erläutert werden, werden noch die beiden Unterrichtsmethoden Outdoor Learning und Mobile Learning dargelegt.

3. Outdoor Learning

Da der Lehrpfad, der in dieser Arbeit entwickelt wird, sich der Methode des Outdoor Learnings bedient, soll Outdoor Learning definiert und vorgestellt werden. Es werden seine Charakteristika erläutert und aufgezeigt welcher Chancen sich der Lehrpfad durch Outdoor Learning bedient.

3.1. Einleitung und Ausgangslage

Bei der Recherche über Outdoor Learning fällt auf, dass es viele Projekte gibt, die Outdoor Learning zugeordnet werden, oder die einen Aspekt von Outdoor Learning behandeln. Einige Beispiele sind: psychologische Studien, die den Einfluss von Outdoor Learning auf die Motivation zu lernen, untersuchen (Dettweiler, Lauterbach, Becker & Simon, 2017) oder Untersuchungen über die persönlichen Werte und Zugänge der Schülerinnen und Schüler zum Lernen außerhalb des Klassenraumes (Waite, 2011). Es werden Konzepte entwickelt, wie Outdoor Learning in den Schulalltag integriert werden kann (MacQuarrie, 2016) und vieles mehr. Es findet sich aber kaum solche Literatur die Outdoor Learning selbst als allgemeine Methode oder Konzept behandelt, oder beschreibt was Outdoor Learning ausmacht oder welche Merkmale ein Unterricht aufweisen muss, damit er dem Outdoor Learning entspricht, wie etwa auch der in dieser Arbeit entwickelte Outdoor und Mobile Learning Lehrpfad. Es scheint auch keine einheitliche Definition dafür zu geben. Deswegen soll nun in diesem Kapitel abgesteckt werden was für diese Arbeit als Outdoor Learning bezeichnet wird.

Das Wort „outdoor“ wird im online Wörterbuch LEO Dictionary mit „Freiland“ und „learning“ mit „Lernen“, aber auch mit „Bildung“ übersetzt (Riethmayer & Bartel, 2020). Eine direkte Übersetzung wäre demnach „Freilandlernen“ oder die „Freilandbildung“. Rein aus der Wortbedeutung könnte jedes Lernen und jedes Bildungsangebot, das im Freiland stattfindet, als solches bezeichnet werden. Wie wird Outdoor Learning jedoch in der Fachliteratur aufgefasst?

3.2. Definition nach Rickson

Rickson (2004) bietet eine sehr allgemeine Definition für Outdoor Learning die der wörtlichen Übersetzung sehr nahekommt. Er definiert es als “learning that accures or is derived from activities undertaken in outdoor locations beyond the school classroom” (Rickinson et al., 2004, S.9).

Er bezeichnet Outdoor Learning als Lernen, das durch Aktivitäten im Freien und außerhalb des Klassenraumes, oder in davon abgeleiteten Lernprozessen stattfindet. Er leitet aus Outdoor Learning drei Schlüsselbereiche ab. „Feldforschung“, „Outdoor-Erziehung“ und

„Abenteuererziehung“. Diese können sowohl im Schulgelände stattfinden oder an lokale Projekte gekoppelt sein (Pleasants, 2009).

Heynoldt (2016) beschreibt in seiner Arbeit „Outdoor Education“, dass es Rickson gelang durch das Wort Outdoor Learning viele unterschiedliche spezifische Begriffe, zum Teil fachspezifische, zum Teil methodenspezifische Begriffe, für Lernaktivitäten, die im Freien oder im Gelände bzw. außerhalb der Schule stattfinden, zusammenzufassen. Die Bezeichnung „Outdoor Learning“ ist ein fächerübergreifender Überbegriff, der unterschiedliche Methoden umfasst. Darunter fallen Methoden wie „Outdoor Adventure Education“, „Nature Studies“, „Field Studies“, „Environmental Education“ oder „Outdoor Play“. Wesentlich sind bei dieser Aufzählung nicht die einzelnen Konzepte, die genannt wurden. Vielmehr soll die Vielfalt betont werden, die der Überbegriff Outdoor Learning nach Rickson umfasst.

Szczepanski definiert Outdoor Learning etwas spezifischer.

3.3. Definition nach Szczepanski

Szczepanski (2012) definiert Outdoor Learning als einen umweltorientierten Bildungsansatz, der durch handlungsorientierte und thematische Lernprozesse gekennzeichnet ist, wobei das Bildungsangebot häufig als eine Aktivität im Freien abgehalten wird.

Während unter Ricksons Definition von Bedeutung ist, dass Outdoor Learning außerhalb der Schule im Freien stattfindet, wird in der Definition von Szczepanski zudem die Selbsttätigkeit der Schülerinnen und Schüler, sowie die Auseinandersetzung mit einem umweltspezifischen Thema berücksichtigt.

Nachdem zwei Definitionen von Outdoor Learning betrachtet wurden, sollen nun auch andere Konzepte vorgestellt werden, die mit Outdoor Learning große Überlappungsbereiche haben. Denn Outdoor Learning ist zwar ein relativ moderner Begriff, doch das Lernen im Freien hat lange Tradition. Nachdem ein grober Einblick in die Vorgeschichte des Outdoor Learnings gegeben wurde soll die Arbeitsdefinition gefasst werden.

3.4. Vorgeschichte des Outdoor Learnings

Im folgenden Kapitel sollen die Entwicklung von Vorläuferkonzepten hin zu Outdoor Learning skizziert werden und Konzepte, die sich mit dem Lernen im Freien oder außerhalb der Schule befassen aufgegriffen werden. Durch das folgende Kapitel soll deutlich werden, dass die Idee direkt im Freien in und an der Natur zu lernen schon früher angestrebt und aufgegriffen wurde. Dabei wurden in Bezug auf die Ziele, Intentionen, aber auch in Bezug auf die Aktivitäten jeweils

verschiedene Aspekte betont. Durch Outdoor Learning wird der Gedanke neu aufgegriffen und in den heutigen Unterricht eingegliedert.

Im Unterrichtsfach Chemie ist Outdoor Learning noch nicht wirklich etabliert. In anderen Unterrichtsfächern wie Geografie und Biologie hat das Lernen außerhalb des Klassenzimmers jedoch eine lange Tradition. Die gängigste Methode dafür ist die Exkursion, wobei, je nach Fach, der Kenntniszuwachs und die Erarbeitung fachspezifischer Inhalte, die Einübung fachspezifischer Arbeitsweisen, sowie die Betrachtung von Phänomenen im Vordergrund stehen (Heynoldt, 2016).

Ende des 16. Jahrhunderts /Anfang des 17. Jahrhunderts wurden auch in der Reformpädagogik die Vorzüge der „Outdoor World“ und die selbstständige Auseinandersetzung der Schülerinnen und Schüler mit der Umwelt betont. Das Lernen soll auf eigenständigen Denkprozessen und nicht auf einem unreflektierten Übernehmen von Lehrinhalten aus Büchern oder von Gedanken, die durch Lehrende vorgegeben werden, aufbauen. Die Lernsituation soll zudem subjektiv bedeutsam sein (Heynoldt, 2016). Das forderte auch Comenius (1592-1671) Er vertat den Ansatz, dass die Originalbegegnung mit der sinnlich erfahrbaren Welt der Ausgangspunkt allen Lernens sein soll (Dziawas, 2007). „Die freie Entfaltung des Kindes, mit seinen lebendigen Interessen, Erfahrungen und Fragen sollte von grundlegender Bedeutung für den neuen Unterricht in den Schulen sein“ (Scheibe, 1971, S. 76). Das kindliche Lernen, das durch eigenständige Auseinandersetzung mit der Umgebung geprägt ist, gewann an Bedeutung. Auch die Unterrichtsmodelle wurden dementsprechend angepasst. Sogar der Kanon der Unterrichtsfächer wurde überarbeitet und neue Fächer, wie Naturwissenschaften und Gesellschaftswissenschaften, wurden zentraler. Vertreter, die diesen Paradigmenwechsel forderten, waren z.B. Comenius und Ratke. Mit der Hinwendung zur „Outdoor World“ verlor das Klassenzimmer seine Monopolstellung als Ort für den Unterricht (Heynoldt, 2016). Aspekte, die aus dieser Epoche mit Outdoor Learning übereinstimmen sind die Betonung der „Outdoor World“, das Lernen am Original und das Aufgreifen des lebendigen Interesses, sowie die Forderung nach einer eigenständigen Auseinandersetzung mit der Materie.

Franke (1663-1727) führte regelmäßigen Unterricht über Naturwissenschaften ein, bei dem in der Sommerzeit zweimal wöchentlich die Natur aufgesucht wurde. Einige weitere Vertreter des naturwissenschaftlichen Unterrichts forderten das Lernen in der Natur und das Entdecken derselben durch Lehrausgänge oder Freilandunterricht. Bis ins 19. Jahrhundert blieb die Bestrebung nach Lernen in der Natur unter dem Ziel der Beobachtung und Erforschung derselben. Zunehmend wurden auch das naturwissenschaftliche Arbeiten und Untersuchen der Umwelt (sehen, hören, forschen) eingesetzt, um die Natur zu verstehen und zu achten. Dem folgten Ansätze der Naturbegegnung zur Förderung des „Umweltgewissens“ und der Persönlichkeitsbildung (Dziawas, 2007). Die Charakteristika dieses Zugangs, in Bezug zu Outdoor Learning, sind

Naturbesuche, Freilandunterricht, Beobachten, Erforschen und Untersuchen. Ein Aspekt der neu hinzu kam war Persönlichkeits- und Umweltbildung.

Joseph Cowham schlug mit seinen „School Journeys“ eine Brücke zwischen dem Lernen an authentischen Lernorten, reformpädagogischen Impulsen und Erlebnisorientierung. Seine Lehrausgänge zeichneten sich dadurch aus, dass Impulse der Reformpädagogik und wissenschaftstheoretische Grundlagen aus naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern kombiniert wurden. Sowohl das Anwenden naturwissenschaftlicher Methoden, als auch das Lernen durch Erfahrung und Beobachtung, waren Teil der Lehrausgänge, die er gestaltete. Ähnlich setzen sich auch Konzepte wie „Field Work“ oder „Practical Work“ zusammen. Hier werden besonders handlungsorientierte Komponenten betont. Es stehen entdeckendes und erforschendes Lernen vor Ort im Vordergrund, wobei fachliche Kenntnisse gewonnen werden sollen. Durch die Selbsttätigkeit der Lernenden wird auch die Einübung von fachspezifischen Arbeitsweisen unter Verwendung fachspezifischer Instrumente ermöglicht. Die Durchführungen geschehen in diesen Arbeitsweisen durch Zusammenarbeit in Kleingruppen, wodurch auch die Entwicklung sozialer Kompetenzen erfolgt (Heynoldt, 2016).

Besonders an diesen Ansätzen sind die Handlungsorientierung und das erforschende Lernen bei dem Firsthand Erfahrungen beim Arbeiten in kleinen Gruppen gemacht werden und fachspezifische Instrumente erprobt werden können.

Ein weiteres Konzept, „Field Trip“, ermöglicht ebenfalls aktives Lernen, das explizit forschungsbasiert ist. Hinzukommt, dass es auch problemlösungsorientiert ist (Heynoldt, 2016).

Ein Konzept, das viele Vorgängerkonzepte vereint ist Outdoor Education. „Outdoor Education ist als Alternative zu kognitiv dominierten Lernformen zu verstehen und beinhaltet jede Form des organisierten Lernens im Freien“ (Au, 2013, S.3). Au (2013) definiert Outdoor Education zudem ausschließlich als eine Lernform, die regelmäßig in schulischem Rahmen und in nicht didaktisch gestalteter Natur stattfindet. Dem entspricht der Lehrpfad dieser Diplomarbeit nicht, da er eine didaktische Aufarbeitung von in der Natur vorkommenden Phänomenen bietet und für einen einmaligen Besuch vorgesehen ist. Deshalb ist der Lehrpfad dem Outdoor Learning zugeordnet, welches auch didaktisierte Lernangebote inkludiert.

Da nicht jede Definition von Outdoor Education auf Didaktisierung eingeht und daher auch gut auf diesen Lehrpfad zutreffen würde, wird auch Literatur über die Outdoor Education herangezogen, wenn es Aspekte betrifft, die beide Konzepte gemeinsam haben.

Für die Diplomarbeit wird unter Outdoor Learning das Lernen außerhalb des Klassenzimmers bezeichnet, bei dem eine Begegnung mit einem Phänomen vor Ort, etwa durch eine

Naturbegegnung erfolgt, an der exemplarisch gelernt werden kann. Zu diesem Zweck kann die Umgebung für ein besseres Verstehen didaktisiert werden. Das Lernen soll vorzugsweise durch Selbsttätigkeit gekennzeichnet sein, in eine eigenständige Auseinandersetzung mit den Inhalten führen und den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit bieten fachspezifische Methoden anzuwenden.

Nachdem geklärt wurde was Outdoor Learning bezeichnet, soll erläutert werden, weshalb es erstrebenswert ist Outdoor Learning zu nutzen, welche Möglichkeiten und positiven Lerneinflüsse Outdoor Learning bieten kann und wodurch es sich auszeichnet.

3.5. Chancen, Besonderheiten und Charakteristik des Outdoor Learnings

In diesem Kapitel werden jene Charakteristika des Outdoor Learnings und Chancen, die daraus hervorgehen, die in der Fachliteratur häufig genannt werden, aufgegriffen und erläutert.

Ein wesentliches Merkmal für Outdoor Learning ist der Ort an dem gelernt wird. Deshalb werden zunächst Gemeinsamkeiten und Unterschiede zum Konzept der „außerschulischen Lernorte“ geklärt. Szczepanski fand durch eine phänomenografische Analyse Hauptkategorien für die Bedeutung des Lernortes bei Outdoor Learning. Diese sind die Möglichkeit weite offene Flächen zu nutzen, die Verknüpfung von Theorie und Praxis, das Unterstützen der Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Lernumgebungen, die Möglichkeit von körperlichem und sinnesbetontem Lernen, die Begegnung mit Phänomenen der Umgebung, die freiere Zeiteinteilung und das Schaffen eines Outdoor Lernortes (Szczepanski, 2012).

Die Bezeichnung „außerschulische Lernorte“ fasst Formen des Lehrens und Lernens außerhalb des Klassenzimmers zusammen. Wie der Name sagt, beziehen sich diese auf alle Lerngelegenheiten, die außerhalb des Schulgebäudes stattfinden. Es handelt sich hierbei vor allem um Bildungsangebote, die durch das öffentliche Bildungswesen bereitgestellt werden, unabhängig davon ob die Lernorte in geschlossenen Räumen sind (Museen, Laboratorien, Science Centern, ...) oder das Lernen an der freien Luft (Zoos, botanische Gärten, Exkursionen, Lehrpfade, Dünenfelder, Bachläufe, ...) stattfindet. Auch der Grad der Didaktisierung wird nicht speziell festgelegt. Ebenso wenig ist definiert, ob dem Sachverhalt in einem natürlichen Umfeld oder in einem künstlichen Umfeld begegnet werden soll. Die Lerngelegenheit soll jedoch die unmittelbare Begegnung mit einem Sachverhalt oder Lerngegenstand ermöglichen, an dem exemplarisch und repräsentativ gelernt werden kann. Dabei soll die Möglichkeit zur selbstständigen Auseinandersetzung mit diesem geboten werden, z.B. durch Anregungen oder Möglichkeit zu beobachten, zu erkunden oder zu untersuchen (Heynoldt, 2016).

Nach der Definition von Klaes (2008) ist ein Lernort jeder Ort, der „im Rahmen von Unterricht genutzt wird“ und ein außerschulischer Lernort ist dementsprechend ein Ort außerhalb des Schulgebäudes, der für unterrichtliche Zwecke aufgesucht wird. Es gibt über den Begriff außerschulisches Lernen verschiedene Auffassungen. Rinschede (2007) versteht unter außerschulischem Lernen, ein Lernen, das von der Institution Schule unabhängig ist. Darunter fällt das Lernen in der Familie, in Vereinen, Jugendgruppen oder auf Reisen. Lernen, das außerhalb des Klassenzimmers stattfindet, aber im schulischen Kontext organisiert wird, bezeichnet er als „Unterricht außerhalb des Klassenzimmers“. Nach Anton (2008) ist ein außerschulischer Lernort jeder Ort, der die Möglichkeit bietet, sich außerhalb der Schule zu bilden. Laut Anton stehen für naturwissenschaftliche Fächer folgende typische außerschulische Lernorte und Lerngelegenheiten allgemein zur Verfügung: Es gibt naturwissenschaftliche Museen und Science Center, darunter zählen unter anderen auch Besucher- und Informationszentren, Aquarien und Botanische Gärten. Es gibt Field Trips, diese setzt Anton allgemein mit Exkursionen gleich. Unter außerschulische Lerngelegenheiten fallen auch Lerngelegenheiten mit Kooperationen zwischen Museen, Schule und Gemeinde, sowie Organisationen und Programme von Gemeinden und Staat oder Nicht-staatlichen Organisationen. Ein sehr bekanntes Beispiel aus der Kategorie NGOs (Non Governmental Organisationen) ist in Österreich die Chemieolympiade. Andere Angebote von NGOs bieten die Umweltspürnasen, Pfadfinder, oder Anbieter von Workshops und Feriencamps mit naturwissenschaftlichem Schwerpunkt. Anton zählt auch Medien wie Printmedien, Computer, Internet, Fernsehen und Industrie zu außerschulischen Lerngelegenheiten. An Bedeutsamkeit gewinnen auch Angebote von Universitäten wie Kinderuni, Schülerlabore oder „Tage der offenen Tür“.

Hale (2009) ergänzte die Liste außerschulischer Lernorte um den außerschulischen Lernort „Betriebe“. Sie schreibt, dass „die Chemie, was das Angebot an außerschulischen Lernorten betrifft, eindeutig gegenüber anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen wie Physik, Biologie, Geographie und Geologie, wo Exkursionen meist feste Bestandteile der didaktischen Lehre sind, im Nachteil ist“ (Hale, 2009, S.7). Sie betont aber, als besonderen Vorteil der Chemie, dass Betriebe mittels Betriebserkundung für den Chemieunterrichts genutzt werden können. Die Möglichkeit ergibt sich aus der engen Verbindung zwischen Chemie und Industriezweig, der seit dem 18. Jahrhundert besteht.

Gemeinsamkeiten zwischen den Orten bei Outdoor Learning und außerschulischen Lernorten sind, dass sie außerhalb der Schule liegen, eine unmittelbare Begegnung mit dem zu bearbeitenden Sachverhalt und so Verknüpfung zwischen Theorie und Praxis ermöglichen, dass sie Wechselbeziehung zwischen verschiedenen Lernorten und die Möglichkeit zu selbstständigem und

sinnesbetontem Lernen schaffen. Unterschiede zeigen sich besonders zur Definition von Rinschede, wo Lernen vom Schulwesen entkoppelt gesehen wird und bei den übrigen Definitionen überall da, wo am Phänomen, nicht vor Ort, oder im Freien gelernt wird.

Outdoor Learning ist auch gekennzeichnet durch drei Besonderheiten, die mit dem Ausbrechen aus dem Schulalltag und dem Nutzen von außerschulischen Lernorten im Freien einhergehen, aber nicht unmittelbar mit dem inhaltlichen Erarbeiten des Lernstoffes zusammenhängen. Diese sind „Bewegung“, „Freiheit“ und „Zeit in der Natur“.

Die erste Besonderheit von Outdoor Learning ist im Zusammenhang mit Bewegung und Gesundheit. Diese Werte sind im Lehrplan verankert, wie bereits in der Einleitung erwähnt wird. Im regulären Unterricht sind die Bewegungsmöglichkeiten oft schon wegen der Größe des Klassenraums beschränkt. Im Gegensatz dazu bietet Outdoor Learning eine bewegungsintensive Form des Lernens. Dabei kann die Möglichkeit von weiten und offenen Flächen genutzt werden (Szczepanski, 2012). Die heute verfügbaren Erkenntnisse über die psychischen Auswirkungen von körperlicher Aktivität in der Jugend deuten darauf hin, dass sich körperliche Aktivität positiv auf das Selbstwertgefühl auswirkt. Sie wirkt Depression und Angst entgegen (Malone & Waite, 2016). Zusätzlich zu positiven Auswirkungen von körperlicher Aktivität zeigt eine wachsende Anzahl von Studien, dass die natürliche Umgebung aufgrund ihrer größeren Plastizität tiefgreifende Auswirkungen auf das Wohlbefinden, insbesondere bei Kindern, hat (Wells & Evans, 2003).

Die zweite Besonderheit von Outdoor Learning scheint das Erleben eines Freiheitsgefühls zu sein. Das Erleben der Freiheit kann sowohl durch das Angebot im Freien als auch durch die außerschulische Umgebung ausgelöst werden. Die Freiheit wird einerseits im räumlichen Sinne aber auch in der Handlungsfreiheit empfunden. In einer Umfrage wurden Lehrpersonen auf ihre Erinnerungen mit Outdoor Learning angesprochen. Dabei kristallisierten sich Freiheit und damit einhergehend Spaß und Freude, sowie Eigenständigkeit und Autonomie, als prägnante Werte heraus. Einige Lehrpersonen die Outdoor Learning praktizieren berichteten von einer Erfahrung der „Freiheit“ außerhalb des Klassenzimmers und äußerten dabei ihre Freude über ihren Erinnerungen an das Lernen im Freien (Waite & Davis 2007). Um die Möglichkeiten für alternative Pädagogik und Freude am Lernen im Freien zu maximieren, kann ein Wiedererwecken der wertebasierten Pädagogik in der Praxis von grundlegender Bedeutung sein. Erwiesenermaßen führen Freude und Entscheidungsfreiheit zu besseren Lernerfolgen, da die Lernerfahrung positiv eingefärbt wird und sich daher besser einprägt (Waite, 2011).

Die dritte Besonderheit von Outdoor Learning bezieht sich auf das Erleben der Natur und die damit einhergehenden Vorzüge. Dazu gehört, dass die Anwesenheit von Pflanzen das Angst- und

Stresslevel senkt und, dass Zeit in der Natur inneren Frieden, Selbstbeherrschung und Selbstdisziplin begünstigt. Jugendliche, die Zugang zu Grünflächen nutzen, fühlen sich oft selbstbewusst und mit anderen verbunden, was wiederum zu einer höheren Resilienz beiträgt. Es wurde festgestellt, dass sich Kinder, die im Schulhof auf Grünflächen spielen, kooperativer verhalten und kreativere Spielformen wählen. Dies ist wiederum bedeutsam für eine Steigerung der Kreativität in anderen Bereichen, wie im Kontext der Problemlösung und in der allgemeinen intellektuellen Entwicklung. Bei regelmäßigem Verbringen von Zeit im Grünen können Konzentrationsfähigkeit und kognitive Fähigkeiten gesteigert werden. Es unterstützt zudem selbstbestimmtes Lernen und verbessert akademische Leistungen (Malone & Waite, 2016). Das vielfältige Angebot an Sinnesreizen in der Natur kann eine Verstärkung des Lernprozesses bewirken (Szczepanski, 2012).

Nach diesen drei allgemeinen Vorzügen, die das Outdoor Learning mit sich bringt, sollen jene Merkmale, Chancen und Besonderheiten genannt werden, die direkter mit dem Lernen zusammenhängen.

Eine Gelegenheit, die sich beim Outdoor Learning bietet, ist die unmittelbare Begegnung mit dem Phänomen. Diese ist möglich, wenn der Sachverhalt des Lerngegenstandes in seiner ursprünglichen Situation eingebettet ist (Heynoldt, 2016). Rinschede beschreibt, dass das Ziel einer Exkursion, eine reale Begegnung mit der räumlichen Wirklichkeit außerhalb des Klassenzimmers ist, wobei diese der Schülerin oder dem Schüler eine direkte Erfassung von Phänomenen, Strukturen, Funktionen und Prozessen vor Ort ermöglichen soll (Rinschede, 2007). Aus dieser Formulierung geht hervor, wie zentral die Begegnung mit dem Phänomen ist. Auch in der Vermittlung der Chemie ist es von besonderem didaktischem Wert, wenn Lernende direkt mit Naturphänomenen konfrontiert werden und nicht nur darüber hören oder lesen. Doch in der Chemie sind Phänomene weniger offensichtlich (Borrows, 2006) und können deswegen weniger direkt erfasst werden, als beispielsweise in der Geographie. Wenn aber die Phänomene aufgezeigt werden und zugehörige chemische Prozesse mit ihnen in Verbindung gesetzt werden, können auch die in der Natur verankerten chemischen Phänomene vor Ort entdeckt werden. Borrows stellte verschiedene Varianten vor, wie die Schülerinnen und Schüler zu einer direkten Begegnung mit Phänomen am Ort ihres Vorkommens geführt werden können. Eine Anregung ist es, den Schülerinnen und Schülern die Aufgabe zu geben, ihren Schulweg auf konkrete chemische Aspekte zu untersuchen. Dafür könnte die Lehrperson ein Beispiel vorstellen. Die Schülerinnen und Schüler könnten dann aufgefordert werden das Phänomen an anderen Orten zu entdecken. Eine andere Variante ist es auf umliegende Örtlichkeiten zurückzugreifen, etwa auf Parkhäuser, Friedhöfe oder Bücken, wie es in Borrows Rundwanderwegen getan wurde. Die augenscheinlichen Phänomene der Umgebungen

wurden als Aufhänger genutzt, um die chemischen Hintergründe zu erarbeiten. An diesen Beispielen kann exemplarisch gelernt werden. Es kann ein wackelndes Brückengeländer als Anstoß dazu dienen, einen rostigen Eisenträger als Untersuchungsobjekt zu nehmen. Daran kann dann der Vorgang des Rostens genauer betrachtet werden, wobei die einzelnen Reaktionsschritte ausgehend von der elektrolytischen Zelle aufgedeckt werden (Borrows, 2006). Es werden also alltägliche Phänomene der Umgebung zur Erarbeitung von chemischen Prozessen aufgegriffen. Das oben genannte Beispiel zeigt, dass Outdoor Learning durch repräsentative, exemplarische Beispiele sinnvoll zum Unterricht beiträgt.

Ein weiteres Merkmal des Outdoor Learnings ist die Möglichkeit durch direkte Begegnung mit den Phänomenen, aber auch durch aktive Lernerfahrungen in der Natur Vernetzungen und Querverbindungen zu schaffen. Das bezieht sich sowohl auf den Inhalt, bei dem Theorie und Praxis verbunden werden können, aber auch darauf, dass bei Outdoor Learning an die Alltagswelt und die Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler angeknüpft werden kann. Außerdem kann die Outdoor Learning Aktivität durch eine Wechselwirkung zwischen unterschiedlichen Lernumgebungen gekennzeichnet sein. Im Gegensatz zum Lernen im Klassenzimmer, das häufig theorielastig ist, bietet Outdoor Learning Lerngelegenheiten, bei denen auch Wechselwirkungen zwischen Emotionen, Handlungen und Gedanken mehr betont werden können. Szczepanski sieht deshalb im Outdoor Learning ein großes Potential, eine fortschrittliche und pädagogische Tradition zu werden, die sich durch seine komplementäre und integrative Bildungsform auszeichnet. Als Grundlage für das Lernen sollen dabei Beobachtungen und Erfahrungen in authentischen Situationen dienen (Szczepanski, 2012).

Authentisches Lernen ist ein weiteres Merkmal von Outdoor Learning, denn bei Outdoor Learning können Wissensbestände aus Büchern oder Unterricht mit in der „Realität“ gewonnenem Wissen verglichen werden. Generell ermöglicht das Lernen im Freien authentisches Lernen und Sammeln von Erfahrungen, die durch Bücher nicht in der Weise vermittelt werden können. Davon berichten auch die Schüler aus einem Outdoor-Projekt, dem (EULER)-Projekt, aus Taiwan (Liu, Tan, & Chu, 2009). Auch Lehrpersonen die Outdoor Learning einsetzen, betonen die vielfältigen Erfahrungseigenschaften von Outdoor-Kontexten und dass Schülerinnen und Schüler als explorative Lernende die Authentizität und Liebe zur Vielfalt der Sinneseindrücke in der Umwelt, sowie Körperlichkeit genießen (Waite & Davis 2007).

Outdoor Learning bietet auch die Chance Motivation zu wecken und Forscherdrang und den Wunsch zu entdecken zu fördern. Im Kontext der Grundschule sind der innere Drang Neues zu erfahren und zu erfassen und Lebensräume zu entdecken weithin bekannt. Outdoor Learning beansprucht nun für sich, die Motivation und den Forscherdrang neu entfachen zu können. Ein

Ansatz die intrinsische Motivation zu fördern, ist es, den Alltag und die Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler (Substanzen oder Reaktionen, die sie aus Haushalt, Hobby, Schule oder Sport kennen) in den Chemieunterricht zu integrieren (Barke, Harsch, Marohn & Kröger, 2018). Den Anspruch durch Outdoor Learning die Lernmotivation zu steigern bestätigt eine Studie. Diese befasste sich mit dem Zusammenhang von der Befriedigung psychologischer Bedürfnisse durch Outdoor Learning und seinen Einfluss auf Lernmotivation in naturwissenschaftlichen Fächern (Dettweiler et al., 2017). Nach Deci und Ryan (1993) sind die drei psychologischen Grundbedürfnisse erstens Kompetenz, zweitens soziale Eingebundenheit und drittens Autonomie. In der Studie von Dettweiler wurden in einem Nationalpark einerseits und andererseits in gewöhnlichen Klassenzimmern dieselben Lernmethoden angewandt. Die Gruppe im Nationalpark zeigte eine wesentlich höhere Selbstbestimmung, gemessen am SDI (Self-Determination-Index) (Dettweiler et al., 2017). Auch die Untersuchungen von Wait und Davis (2007) zeigen Eigenständigkeit und Autonomie als kennzeichnende Werte von Outdoor Learning. Die bessere Befriedigung psychologischer Grundbedürfnisse und eine erhöhte Kompetenzerfahrung der Lernenden führt zu einer gesteigerten persönlichen Motivation. Diese wiederum führt zu einem besseren Lernverhalten und zu Leistungssteigerung (Dettweiler et al., 2017).

Outdoor Learning trägt zu psychologischer Gesundheit bei und ermöglicht dadurch Leistungssteigerung. Das Verbringen von Zeit in der Natur trägt zu einer gesunden intellektuellen, emotionalen, sozialen, spirituellen und physischen Entwicklung bei. Abwechslungsreiche natürliche Umgebung führt zu einem aktiveren Verhalten, bewusstem Essverhalten, gutem Umgang im Miteinander, Kreativität, Anpassungsfähigkeit, Kooperationsfähigkeit, Gesundheit und einem höheren Glücksempfinden. Auch nichtkognitive Fähigkeiten wie Teamfähigkeit und ein besserer Umgang mit Stress werden gefördert (Malone & Waite, 2006). In Bezug auf die Beziehungen zwischen der psychischen Gesundheit einerseits und den akademischen und sozialen Erfolgen und Misserfolgen der einzelnen Schülerinnen und Schüler andererseits gibt es viele Forschungen. Diese besagen, dass akademische Leistungen und psychische Gesundheit in wechselseitigem Zusammenhang stehen; dass Schulversagen und insbesondere Leseschwierigkeiten zu einer Internalisierung und Externalisierung von psychischen Gesundheitsproblemen führen; dass Probleme akademischer Leistungen und psychischer Gesundheit im Laufe der Zeit tendenziell stabil sind; die Investition von Zeit und Mühe in die Schularbeit, ohne die erwarteten Ergebnisse zu erzielen, kann zur Entwicklung von Depressionen führen. Somit besteht offensichtlich das Potenzial, dass pädagogische Maßnahmen das psychische Wohlbefinden von Schülerinnen und Schülern beeinflussen können (Gustafsson, Szczepanski, Nelson & Gustafsson, 2012). Noch deutlicher wird die Korrelation zwischen Outdoor Learning und der Lernwilligkeit und Erreichbarkeit der

Schülerinnen und Schülern bei der Betrachtung von zwei Studien. Die eine Studie über 10 Schulen und ein landesweites Programm der National Environmental Education & Training Foundation ergab, dass sich die schulische Leistung in den Bereichen Lesen, Mathematik und Naturwissenschaften verbessert, wenn Schulen den Kontext lokaler Gebiete und eingebürgerter Schulhöfe in ihren Unterrichtspraktiken nutzen (Lieberman & Hoody, 2000). Die zweite, eine US-amerikanische Studie zeigt, dass Schulen durch Unterricht im Freien und andere Formen der naturbasierten Bildung bemerkenswerte Leistungssteigerungen der Schülerinnen und Schüler im sozialen Bereich, in der Naturwissenschaft, in Sprachen, in der Kunst und in der Mathematik erzielten. Schülerinnen und Schüler, die an derartigen Outdoor Science Programmen teilgenommen hatten, schnitten in ihren naturwissenschaftlichen Prüfungen um 27% besser ab (Malone & Waite, 2016).

Outdoor Learning bietet die Chance Kooperationsfähigkeit und andere soziale Kompetenzen zu stärken. Einerseits durch die oben genannten Effekte, andererseits, weil sich bei Outdoor Learning das Arbeiten in kleinen Gruppen eignet. Wie auch bei anderen Gruppenarbeiten, die etwa in Klassenräumen stattfinden, kann durch die Instruktionen ein freies selbstständiges Arbeiten innerhalb der Vorgaben ermöglicht werden. Die Weitläufigkeit des Geländes bedingt, dass auch durch die örtliche Entfernung zur Lehrperson die Autonomie der Lernenden deutlicher zum Tragen kommt. Der Gruppe kann hierbei auch Eigenverantwortlichkeit in Bezug auf freiere Zeiteinteilung gegeben werden (Szczepanski, 2012). Auch Waite (2011) betont die Werte Eigenständigkeit und Autonomie, die bei Outdoor Learning durch das Arbeiten in kleinen Gruppen gegeben sind.

Eine weitere Chance die Outdoor Learning bietet ist eine vorbereitete Umgebung. Diese ist für den Chemieunterricht wichtig, da chemische Prozesse nicht offensichtlich sind. Borrows (2006) betont, dass man nur die Folgen der chemischen Prozesse sieht, wenn man Chemie vereinfacht als Änderungsprozess beschreibt. Chemie geschieht nicht in dem Augenblick, in dem man die Veränderung sieht. Das Schaffen eines geeigneten Outdoor Lernortes ist daher essenziell, um die allgegenwärtige Chemie sichtbar zu machen (Szczepanski, 2012). Um die Bedeutung der didaktischen Aufarbeitung von Phänomen zu verdeutlichen werden zwei konkrete Beispiele herangezogen.

Hale (2009) beschreibt in ihrer Diplomarbeit den Betriebsbesuch als außerschulische Lerngelegenheit. Dabei tritt eine ähnliche Notwendigkeit auf, wie in der Natur, etwa wie bei dem Lehrpfad im Augarten. Sowohl in einem Betrieb als auch in der Natur finden Prozesse statt, die sich durch die Änderung der Stoffe und deren Eigenschaften auszeichnen. Im Gegensatz zu bereits didaktisch aufbereiteten Lernorten, wie Museen oder Science Centern, die sogar teilweise speziell an schulische Bedürfnisse angepasst sind, sind Betriebe nicht von sich aus pädagogisch, oder für

Lernvorgänge strukturiert und müssen erst didaktisch aufbereitet werden. Bei den Betriebsbesichtigungen ist der Ansatz, dass die Schülerinnen und Schüler mit „im Vorhinein erarbeiteten Fragestellungen in einen Betrieb gehen, um vor Ort, im direkten Kontakt mit der betrieblichen Realität, Informationen zu sammeln, um diese dann in der Schule aufzubereiten“ (Hale, 2009, S.16).

Die Aufbereitung der Lerngelegenheit besteht in diesem Beispiel in einer Vorbereitung auf die Begegnung mit dem Phänomen, konkret durch das Erarbeiten von Fragestellungen. Dann findet die Auseinandersetzung vor Ort statt, aus der Erfahrungen und Informationen gesammelt werden, welche im Schulischen Rahmen aufgearbeitet und gefestigt werden. Ein anderes Beispiel für didaktische Aufbereitung von Chemieunterricht, diesmal in der freien Natur bietet das Konzept „CHEMIE PUR“. Dabei werden fünf Kriterien beachtet. Diese lauten:

- (1) Experimente außerhalb des Klassenzimmers („Die Natur ist mein Labor“), (2) Reaktionen von Naturstoffen mit möglichst wenig Laborgeräten und -chemikalien, (3) Umweltprozesse, die am konkreten Anschauungsobjekt erklärt werden, (4) Inhaltliche Orientierung an den Basiskonzepten und (5) Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht (Engl, Schmelzer & Risch, 2018 S.8).

Bei CHEMIE PUR wurde für das Projekt „ätherischen Ölen auf der Spur“ eine Apparatur aus Alltagsgegenständen gebaut, alternativ zu den Gerätschaften aus dem Labor. Mit diesen wurden Proben bearbeitet, die direkt aus der Natur entnommen wurden. Die Versuchsvorschriften und zugehörige GPS-Koordinaten der Standorte wurden über den PC abgerufen (Engl, et al. 2018). Um den „ätherischen Ölen auf die Spur“ zu kommen wurden also Synthesen betrieben, wofür Instruktionen elektronisch bereitgestellt wurden, genauso wie Anleitungen für den Aufbau der Apparaturen. Die Lerngelegenheit wurde also im Freien abgehalten, jedoch „inszeniert“.

Outdoor Learning bietet noch eine besondere Chance für den Chemieunterricht in Hinblick auf das „Image“ von Chemie. Eine Untersuchung von Kirscher, Spitzer und Gröger (2016) zeigt, dass Chemie „schlechter“ als Biologie empfunden wird, aber eher „neutral“ als „schlecht“. Dennoch erkennen die meisten Schülerinnen und Schüler keine Verbindung zwischen Chemie und Natur. Wenn nun Wissen genutzt wird, um eine Verbindung zwischen Chemie und Natur herzustellen, dann können auch positive Emotionen zur Natur auf das Unterrichtsfach Chemie übertragen werden. Eine weitere Untersuchung bestätigt diese Theorie. Dabei diente in einem Outdoor Lab die Natur als „Labor“. In diesem Labor wurden Pflanzenstoffe, Farbstoffe und Ton in einem „realistischen“ Umfeld untersucht. Die Begegnung mit natürlichen Stoffen in ihrer natürlichen Umgebung sollte den Unterricht interessant machen und motivierend wirken. Bei diesem Lernangebot des Chemieunterrichtes sollte der Vorstellung über die antagonistische Wirkung von Chemie und Natur entgegengewirkt werden. Das Konzept bekam den Namen „natürlich Chemie!“. Nach dem Besuch

des Outdoor Labs wurden die Lernenden hinsichtlich ihrer vorsätzlichen Handlungsänderungen befragt. Diese berichteten, dass sie vorhätten sorgsamer mit der Umwelt umzugehen, doch sie nahmen sich nicht vor öfters in die Natur zu gehen. Sie gaben an, dass sie viel über Chemie gelernt hätten, was jedoch nicht zwingend bedeutet, dass es zu einem tieferen Verständnis führte. Generell wurde das Outdoor Lab sehr positiv wahrgenommen, ganz besonders das besondere Lernumfeld und die Realitätsnähe des Lerninhaltes (Eilks, Markic & Ralle, 2014).

Outdoor Learning hält, wie in diesem Kapitel erläutert wurde, einige wertvolle Möglichkeiten bereit. Weshalb aber ist es im deutschsprachigen Raum im Chemieunterricht, noch nicht etabliert? Ein entscheidendes Hindernis für einen breiteren Einsatz von Outdoor Learning stellt die mangelnde Begeisterung seitens des Lehrkörpers dar. In den Vereinigten Staaten wurde deshalb ein Versuch unternommen bei dem Lehrende auf die Wirksamkeit von Outdoor Learning sensibilisiert werden sollten. Das Projekt wurde dabei so organisiert, dass die Lehrenden in ihrer üblichen Rolle der Begleiterinnen und Begleiter waren. Durch die Reaktionen der Schülerinnen und Schüler und die Erfahrungen des Begleitens der Outdoor-Situationen sollten diese zu einem positiven Bild von Outdoor Learning gelangen (MacQuarrie, 2016).

MacQuarrie (2016) betont außerdem die Notwendigkeit Lehrenden Unterstützung für das Outdoor Learning anzubieten, da es andere Ressourcen erfordert als der gewohnte Unterricht im Klassenraum. Outdoor Learning soll nicht nur isolierte Lernerlebnisse bieten, sondern in den Regelunterricht integriert werden. In einem Projekt in Schweden, bei dem Lehrende, die Outdoor Learning betrieben, über neun Monate hinweg beobachtet wurden, zeigte sich, dass Outdoor Learning so eingesetzt werden kann, dass es den Lehrplan unterstützt und das Vernetzen mit Erfahrungen ermöglicht.

Weil Outdoor Learning für die Lernenden so viele Chancen bieten kann, soll der Lehrpfad so gestaltet sein, dass Lehrende ihn gerne in Anspruch nehmen. Was das konkret bedeutet wird im Kapitel 9.2 (Allgemeine Intentionen des Lehrpfades) behandelt.

3.6. Schlussfolgerungen

Outdoor Learning hat das Potential Motivation zu fördern, Entdeckungs- und Forscherdrang zu entfachen, zu psychologischer Gesundheit beizutragen und leistungsfördernd zu wirken. Zudem trägt es zur Förderung von sozialen Kompetenzen bei. Es ermöglicht das Einüben von Naturwissenschaftlichen Methoden und kann zu einer positiven Erfahrung mit Chemie-Erleben führen und so die persönliche Einstellung zu Chemie ändern. Es ist also ein vielversprechendes Konzept für den Chemieunterricht.

Für die Entwicklung des Lehrpfades ergeben sich folgende Konsequenzen:

- ➔ Der Lehrpfad soll durch eine Begegnung mit Phänomenen aus der Natur zu einem authentischen Lernen chemischer Inhalte führen.
- ➔ Zur Förderung der Motivation sollen Querverbindungen mit dem Alltag gezogen werden. Das kann sowohl durch das Aufzeigen analoger Prozesse, aber auch durch das Verwenden von aus dem Alltag bekannten sauren und basischen Lösungen stattfinden.
- ➔ Der Lehrpfad soll zu autonomem, selbstbestimmtem Lernen führen. Dafür können die Instruktionen, die durch Mobile Learning gegeben werden in auswählbarem Ausmaß Anleitung und Hintergrundwissen bereitstellen, um zur individuellen Auseinandersetzung zu führen. Dazu soll das Arbeiten in kleinen Gruppen autonomes Handeln fördern.
- ➔ Die Begegnung mit dem Phänomen soll durch eine didaktische Aufbereitung erleichtert bzw. ermöglicht werden.

Nun wurden die für den Lehrpfad wichtigsten Aspekte des Outdoor Learnings dargestellt. Wie in der Einleitung erwähnt, bedient sich das Konzept Chem-Tracking auch der Methode des Mobile Learnings, welche als nächstes beleuchtet wird.

4. Mobile Learning

Die zweite Methode, die für den Lehrpfad genutzt wird, ist Mobile Learning. Eine deutsche Entsprechung des Wortes wäre „Mobiles Lernen“. Das Wort „mobile“ lässt sich laut LEO Dictionary mit vielen verschiedenen Wörtern übersetzen. Darunter fallen die Übersetzungen mobil, beweglich, schnell, nicht ortsgebunden, transportabel, lebhaft, wendig und viele weitere. (Riethmayer, H. & Bartel, E., 2020). Diese Beschreibungen decken sich Großteils mit denen aus der Fachliteratur. Das Hauptmerkmal ist jedoch der Einsatz mobiler technologischer Geräte. Tóth (2009) betont, dass Personen, die den Unterricht planen bewusst sein muss, dass die neuen Technologien nicht nur Zeitverschwendung verursachen, sondern im selben Maße auch zum Fortschritt beitragen. Deshalb ruft er dazu auf, im Kontext der Bildung nicht zu verabsäumen, die Chancen der neuen Technologien zu nutzen. Durch den Einsatz von Mobile Learning, soll dies im Lehrpfad erfolgen.

In diesem Kapitel wird der Begriff diskutiert und definiert. Dann werden die Merkmale und Charakteristika von Mobile Learning aus fachlichem Blick betrachtet. Im Anschluss wird die Bedeutung des Mobile Learnings für den Outdoor Lehrpfad erläutert.

4.1. Begriffsdiskussion und Definition von Mobile Learning

Eine gängige Definition für Mobile Learning beschreibt es als jene Bildungsangebote, bei denen vorrangig oder ausschließlich technologische Geräte verwendet werden, die in der Hand gehalten werden können. (Quinn, 2000; Traxler, 2005). Neben handflächengroßen Geräten wie Smartphones, zählen inzwischen auch große Geräte wie Netbooks oder Tablets dazu (de Witt, 2013). Eine Schwierigkeit ergibt sich bei dieser Definition in der Abgrenzung zu E-Learning, weil sich diese Definition auf die genutzten Geräte bezieht und manche der Geräte nicht eindeutig zu Mobile Learning oder E-Learning zuzuordnen sind. Wenn jedoch die Art des Einsatzes der Geräte berücksichtigt wird fällt die Unterscheidung zwischen E-Learning und Mobile Learning leichter. Mobile Learning hat sich aus dem E-Learning (Electronic-Learning) entwickelt. Dieses umfasst ein Lernen, bei dem mit Multimediageräten gearbeitet wird. Dabei treten Schülerinnen und Schüler in Interaktion mit digitalisierten Lerneinheiten, die nach einer typischen Modulfolge ablaufen. Schon das E-Learning ist von einer zeitlichen und örtlichen Flexibilität gekennzeichnet, so auch Mobile Learning. Die Mobilität, also die örtliche Flexibilität ist beim Mobile Learning jedoch noch stärker ausgeprägt, weil sie auch während des Lernens vorhanden ist. Bei E-Learning ist nur der Lernort für sich flexibel. Das Lernen geschieht jedoch dann an einem gewählten Ort. Die zeitliche Flexibilität ermöglicht ein Lernen im eigenen Tempo. So kann das Lernen den individuellen Bedürfnissen

entsprechen. Mobile Learning definiert sich ebenfalls über elektronische Geräte, aber mit der Einschränkung auf solche, die in der Hand getragen werden können. Mobile Learning könnte zwar als eine tragbare Variante des E-Learnings aufgefasst werden, wenn jedoch die Merkmale des Lernens bei Mobile Learning berücksichtigt werden, kann es auch als eine eigenständige Lernmethode aufgefasst werden (Traxler, 2005). Denn wesentlich ist nicht die Form oder das Format des elektronischen Gerätes, sondern die Art und Weise der Handhabung, also der mobile Einsatz. Im Gegensatz zu E-Learning, bei welchem vorrangig Plattformen genutzt werden, setzt man bei Mobile Learning auch Apps ein, bei denen das Lernen auch offline stattfinden kann (de Witt, 2013). Wenn nun dem Aspekt des ortsungebundenen mobilen Lernens im Gegensatz zu dem ortsgebundenen E-Learning betont wird, könnten auch traditionelle Lernformen, die ortsungebunden sind als Mobile Learning betrachtet werden (Traxler, 2005). „Mobiles“ Lernen im Sinne von ortsungebundenem Lernen gibt es schon seit dem Buchdruck, da Bücher ebenso wie die heute modernen Geräte wie Tablets, Handys und andere Endgeräte transportierbar sind. Der Ort und die Zeit des Lernens sind dabei variierbar (de Witt, 2013).

In der Kombination der beiden Aspekte, des ortsungebundenen Lernens und der Nutzung technologischer Geräte wie Handys wird Mobile Learning deutlicher abgegrenzt (Traxler, 2005).

Sharples, Arnedillo-Sanchez, Milrad, & Vavoula (2009) ergänzten die Definition von Mobile Learning durch die Betonung von Erfahrungen vor Ort. Für sie ist Mobile Learning gekennzeichnet durch eine Kombination aus einer direkten Erfahrung eines Phänomens und dem Beitrag durch das mobile Gerät. Deshalb formulierten sie die Definition von Mobile Learning als „the processes (personal and public) of coming to know through exploration and conversation across multiple contexts, amongst people and interactive technologies“ (Sharples, Arnedillo-Sanchez, Milrad, & Vavoula, 2009, S.5).

In dieser Arbeit wird Mobile Learning ebenso als ein Bildungsangebot verstanden, für das zum Entdecken von Phänomenen, mobile Endgeräte, die in der Hand gehalten werden können, für ein Lernen im Kontext, mit möglichem Ortswechsel, herangezogen werden.

4.2. Charakteristik des Lernens bei Mobile Learning

Ein wesentliches Merkmal des Mobile Learnings ergibt sich aus der Möglichkeit, mittels elektronischer Endgeräte, auf digitale Medien und Daten, an einem beliebigen Ort, zuzugreifen. Es eröffnet neue Lernmöglichkeiten, die durch Mobilität und Flexibilität gekennzeichnet sind (Jones & Jo, 2004). Bei Mobile Learning werden Lernorte und Lerngelegenheiten flexibel gehalten. Die Lernprozesse sind dabei dynamisch und fordern eine hohe Interaktion der Lernenden (de Witt, 2013). Traxler (2005) beschreibt „Mobile Learning“ als spontan, persönlich, ortsunabhängig, situativ, informell, kontextbezogen und „portioniert“.

Die Charakteristik des Mobile Learnings wird noch deutlicher, wenn die Form des Einsatzes betrachtet wird. Mobile Geräte können für Mobile Learning zu unterschiedlichen Zwecken herangezogen werden. Sie können bei Mobile Learning als Informationsquelle dienen. Mobile Learning bietet den Schülerinnen und Schülern mittels elektronischer mobiler Geräte Zugang zu Wissen und Inhalten (de Witt, 2013). Naismith und Corlett (2006) erinnern daran die mobilen Geräte nicht nur zu nutzen um Lehrinhalte zu „vermitteln“, sondern um das Lernen zu erleichtern. Das kann, wie bei dem in der Diplomarbeit entwickelten Lehrpfad, auch durch didaktisch gestaltete Lehrinhalte in Form von virtuellen Stationen sein. Der Zugang zu den verschiedenen Inhalten soll dem Ziel dienen, gesammeltes Wissen offenzulegen und somit nachvollziehbar zu machen (de Witt, 2013). Die Inhalte sollen dann durch eine individuelle Auseinandersetzung gelernt werden. Mobile Learning steht also auch für authentisches Lernen über kreative, individuelle Wege. Das Lernen kann dadurch spielerische Züge bekommen. Durch Mobile Learning kann schulisches Lernen zu einem personalisierten Lernen werden (Spitzer, & Lembens, 2017). Dabei kann die Lerngelegenheit, durch den Einsatz der Geräte, auf die jeweilige Personengruppe abgestimmt werden (de Witt, 2013). Milheim und Martin (1991) beschreiben drei Bereiche, in denen den Lernenden Kontrolle übergeben werden kann: Lerntempo, Lernsequenz, und Lerninhalte. Beim Lerntempo ist gemeint, dass die Geschwindigkeit, in der Lehrinhalte bearbeitet werden, selbst gesteuert werden kann. Lernsequenz meint die Wahl der Reihenfolge, Inhalte zu bearbeiten und Kontrolle über Lerninhalte meint, die Möglichkeit bereits bekannte Inhalte wegzulassen (Milheim & Martin, 1991). Diese drei Bereiche der Kontrolle können auch im Mobile Learning in die Verantwortung der Schülerinnen und Schüler gelegt werden.

Mobile Geräte können bei Mobile Learning auch als Kommunikationsmedium genutzt werden. Über die mobilen Geräte kann kommuniziert oder interagiert werden. Das Mobile Learning bietet somit Lernbegegnungen, die z.B. über Chats im Moment erfolgen, aber eben über die elektronischen Geräte. Dadurch kann auch die Interaktion mit Forscherinnen und Forschern und Expertinnen und Experten an anderen Orten erfolgen (de Witt, 2013). Mobile Learning ermöglicht aber auch schnelle und einfache Interaktionen. Dabei sollen die Lernenden zu einem kollaborativen Wissensaufbau geführt werden und durch Austausch zu einem persönlichen Verständnis kommen (Naismith & Corlett, 2006).

Mobile Geräte können bei Mobile Learning als kognitives Werkzeug zu Produktion und Austausch von Medien, Bild- oder Datenmaterialien, aber auch zu Dokumentationszwecken dienen (de Witt, 2013).

Sharples et al. (2009) unterscheiden zwischen fünf verschiedenen Mobilitäten. Die erste Mobilität, „Mobility of physical space“, die räumliche Mobilität, ermöglicht es an beliebigen Orten zu Lernen.

Dadurch können Lücken im Tagesablauf genutzt werden. Ein Beispiel dafür wäre das Lernen an einer Bushaltestelle. Die zweite Mobilität, „Mobility of technology“, technologische Mobilität, erlaubt Freiheiten durch die Tragbarkeit der technischen Geräte, bietet die Möglichkeit von schneller Datenübertragung und von Medienaustausch durch Tools, sowie Vorteile durch Synchronisieren des Lernkontextes. Die dritte Mobilität „Mobility in conceptual space“, konzeptionelle Mobilität ermöglicht einen schnellen und häufigen Wechsel zwischen Lehrinhalten oder außerschulischen Interessengebieten. Die vierte Mobilität „Mobility in social space“, Mobilität im Sozialraum erlaubt den Austausch mit unterschiedlichen sozialen Kontexten, wie Schulklasse, Freundeskreis, Familie oder anderen Gruppierungen (Sharples et al., 2006). Hier werden mediengestützt die Lernenden zu ihren gegenseitigen Coaches (de Witt, 2013). Die fünfte Mobilität „Learning dispersed over time“, kontinuierliches Lernen über die Zeit, erlaubt ein stetiges, aufbauendes Lernen, Festigen und Vertiefen von Lehrinhalten, sowie ein Vernetzen verschiedener Lernerfahrungen (Sharples et al., 2006). Eine ähnliche Einteilung verwendet de Witt (2013) mit Kategorien, die sich auf den Kontext des Lernens beziehen. Die Kategorien heißen „irrelevanter Kontext“, „formalisierter Kontext“, „physischer Kontext“ und „sozialisierender Kontext“. Für den Lehrpfad trifft zu, dass durch das Mobile Learning ein ortsungebundenes Lernen ermöglicht wird, bei dem mobile, technologische Geräte für Informative Zwecke und zur Organisation der Lerngelegenheit genutzt werden. Damit entspricht es der Einteilung „Mobility of technology“ bzw. da auch Informationen aus der Umgebung genommen werden dem „physischem Kontext“.

Es wurde nun erläutert, welche Merkmale das Lernen im Kontext von Mobile Learning kennzeichnen. Als Nächstes sollen konkrete Varianten vorgestellt werden, wie Mobile Learning für einen Lehrpfad genutzt werden kann.

Naismith und Corlett (2006) fanden bei der Untersuchung von Pilotprojekten fünf Faktoren, die zu erfolgreichem Mobile Learning verhelfen. Der erste Faktor ist die Bereitstellung entsprechender Geräte und das Schaffen von Zugang zur Technologie. Zweitens kann durch das Einbeziehen eigener Geräte, die allgemeine Nutzung des Geräts um Lernzwecke erweitert werden. Der dritte Punkt ist die Konnektivität. Sie ermöglicht einen einfachen Zugang zu Lernressourcen, sowie die Weiterleitung dieser über private Kontakte. Der vierte Punkt ist die Integration von Mobile Learning Projekten in den Unterricht. Der fünfte Faktor für erfolgreiches Mobile Learning ist Institutionelle Unterstützung. Das betrifft die Gestaltung der Inhalte im mobilen Format, Schulung der Lehrpersonen und Bereitstellung technischer Unterstützung.

In Bezug auf die Aufbereitung der Inhalte wird im folgenden Unterkapitel erläutert, welche Apps und Programme sich für die Erstellung eines Mobile Learning Lehrpfades eignen.

4.3. Apps und Programme die für Mobile Learning Lehrpfade genutzt werden können

Es gibt für Chemie einige bekannte Apps, mit denen spielerisch gelernt werden kann. Diese beinhalten sehr viele und verschiedenartige Tools zum Üben von chemischen Inhalten, Grübeln über Problemstellungen, Suchen von Informationen und spielerischem Lernen. Für den Lehrpfad sollen jedoch die Inhalte vom Ersteller selbst definiert werden können. Deshalb eignen sich für den Lehrpfad allgemeinere Apps.

Eine sehr beliebte App ist Kahoot. Bei dieser können die Schülerinnen und Schüler Fragen online beantworten, die auf einem Gerät für die gesamte Klasse angezeigt werden. Jede Frage ist eine Single Choice Frage. Die Antwortbuttons zu den Antwortmöglichkeiten erscheinen am Handy der Einzelnen. Je eine davon kann gewählt werden. Durch die Ortsgebundenheit des Quiz ist diese App für einen Lehrpfad nicht geeignet. „Action Bound“ ist ebenso eine App, bei welcher die oder der Lehrende ein Quiz erstellen kann. Dieses kann von jeder bzw. jedem Lernenden per Handy abgerufen und im eigenen Tempo bearbeitet werden. In dieser App können die Quizfragen als Multiple Choice oder offene Fragen gestellt werden. Bei zweitem, werden kurze Antworten in Textfelder eingegeben. Bei richtiger Beantwortung, wird automatisch die nächste Frage oder Aufgabe eingespielt. Auch das Scannen von QR- Codes kann eingebaut werden (Zwick & Rauprich, 2020). Diese App wäre für einen Lehrpfad interessant. Dagegen spricht allerdings die Begrenzung der Zeichenanzahl, die für Texte und Fragen gesetzt werden kann. Eine andere komfortable App zur Erstellung von Lehrpfaden wäre Locatify. Mit dieser App können sowohl virtuelle Lehrpfade, als auch Geo-Caching-Lehrpfade erstellt werden, die in der realen Welt aktiv genutzt werden (Spitzer & Lembens, 2017). Eine weitere Variante, einen Lehrrundpfad per Handy in Kombination mit Outdoor Learning zu gestalten, wäre es, diesen per Geo-Caching zu entwickeln. Geo-Caching ist eine Schatzsuche, die über GPS-fähige Geräte geleitet wird. Dabei werden von einer Person (Geo-Cacher) ein Cache, das ist ein Behälter mit Notizbuch, versteckt und die Koordinaten des Ortes veröffentlicht. Mit GPS-fähigem Gerät kann dann der genaue Ort aufgespürt werden. Dort gibt es die Möglichkeit, sich einzutragen. Der Cache muss danach an den gleichen Ort zurückgelegt werden. Der Fund kann auch im Internet „geloggt“ werden (UNI Media Services Ltd). Für einen Lehrpfad ist eine ausgebautere Variante des „Rätselcaches“ interessant. Dabei muss im Voraus ein Rätsel gelöst werden, damit die Koordinaten für das Versteck klar werden. Diese Variante wählte auch Spitzer für die Organisation des Chem-Tracks in Deutschland, und zwar in Kombination mit einer Webseite, in der die entsprechenden Lehrinhalte vermittelt wurden, dem „Chem-Tracking“. Durch den Geo-Cache bekommt der Lehrpfad eine spielerische Note. Durch die Nutzung von Webseiten eröffnet sich eine große Freiheit in der Gestaltungsart. Für die Erstellung der Webseite

wurde der Anbieter www.one.com gewählt. Dieser ist kostengünstig und beinhaltet responsive designe Optimierung für verschiedene Endgeräte (Spitzer & Lembens, 2017).

4.4. Bedeutung von Mobile Learning für den Chem-Track im Augarten

Für den Lehrpfad im Augarten wurde, wie bei Spitzers Lehrpfad, ebenfalls die Variante der Webseite gewählt. Der Hauptvorteil dieser ist, dass Text- und Bildmaterial in größerem Ausmaß als etwa bei „Action Bound“ genutzt werden kann. Dennoch wurde darauf geachtet die Texte kurz zu halten, damit ein rasches Erfassen ermöglicht wird und die Lernenden sich unmittelbar der Auseinandersetzung mit dem Phänomen widmen können. Für die Erstellung der Webseite wurde ein Programm verwendet, bei dem sich das Layout der Texte automatisch auf die Größe des Endgerätes anpasst. Es kann also am Computer erstellt und am Handy automatisch genutzt werden. Zudem gab es die Funktion, das Layout für das Handy bereits am Computer zu überprüfen.

Aus der Theorie des Mobile Learnings ergibt sich für den Lehrpfad folgendes:

- ➔ Primär soll das Handy oder technische Gerät als Informationsquelle dienen. Dabei bereitgestellte Informationen sollen ein Lernen im eigenen Lerntempo, mit eigener Kontrolle über Lernsequenz und Inhalt ermöglichen. Das bedeutet für die Erstellung der Webseiten der Stationen, dass die einzelnen Seiten kurz und prägnant gehalten werden sollen und wahlweise Hilfestellungen bereithalten sollen. Dadurch kann auch die Personalisierung stattfinden.
- ➔ Zur Erleichterung des Lernens sollen die Inhalte didaktisch aufgearbeitet sein.
- ➔ Mobile Learning soll genutzt werden, um Lehrinhalte offenzulegen und nachvollziehbar zu machen. Die Texte und Instruktionen sollen so formuliert werden, dass sie zu einer eigenständigen Auseinandersetzung der Lernenden mit dem Phänomen hinleiten.
- ➔ Mobile Geräte sollen auch als kognitives Werkzeug dienen. Der Lehrpfad soll so gestaltet werden, dass die Schülerinnen und Schüler angeregt werden Tools (Kamera, Memo, WhatsApp, etc.), des Gerätes für die Lerngelegenheit und den gemeinsamen Wissensaufbau zu nutzen.

Aus den Faktoren, die zum Erfolg von Mobile Learning Projekten führen kann durch den Lehrpfad auf drei Einfluss genommen werden.

- ➔ Der Lehrpfad soll so gestaltet werden, dass die Schülerinnen und Schüler ihr eigenes Handy nutzen.
- ➔ Er soll so gestaltet sein, dass die Technologie, in diesem Fall die Webseite bereitgestellt wird.

➔ Der Lehrpfad soll so aufbereitet werden, dass er in den Unterricht integriert werden kann.

In den bisherigen Kapiteln wurden bereits die Grundzüge des Outdoor Learning und des Mobile Learning dargelegt, auf die sich der methodische Aufbau des Lehrpfads stützt. Um den Inhalt des Chemie-Lehrpfades zu erläutern, wird im folgenden Kapitel (Kapitel 5) die Theorie des Themas der „Säuren und Basen“ fachlich geklärt. Dann wird die Perspektive der Schülerinnen und Schüler auf die Thematik erläutert (Kapitel 7). Dabei werden auch besonders gängige Fehlvorstellungen in Bezug auf „Säuren und Basen“ aufgezeigt. Im Anschluss werden die fachdidaktische Bedeutung der Perspektiven diskutiert und Schlüsse für den Lehrpfad daraus gezogen.

5. Fachliche Klärung zum Thema „Säuren und Basen“

Der Chem-Tracking-Lehrpfad dieser Diplomarbeit befasst sich mit Inhalten aus der Thematik der „Säuren und Basen“. Die Säure-Basentheorie unterliegt, wie naturwissenschaftliche Themen im Allgemeinen, einer geschichtlichen Entwicklung. Hierbei entstanden verschiedene Definitionen von „Säuren und Basen“, verbunden mit einem jeweils entsprechenden Konzept. Im Laufe der Geschichte wurden verschiedene Konzepte über „Säuren und Basen“ entwickelt, jeweils mit dem Ziel, das Phänomen besser zu beschreiben. In Schulbüchern sind häufig drei Modelle vertreten, „Frühere Modelle“, Arrhenius-Konzept und Brønsted-Konzept (Drechsler & Van Driel, 2007). Das Lewis-Konzept kommt in den Unterstufenbüchern kaum vor. In alle vier Säure-Basen Modelle soll Einblick gegeben werden, wobei das Arrhenius-Konzept und das Brønsted-Konzept genauer betrachtet werden, da diese beiden Konzepte im Unterricht häufiger genutzt werden. Historisch gesehen geht die Entwicklung der Säure-Basenvorstellung von der phänomenologischen Ebene, in den frühen Modellen, hin zur abstrakten Teilchenebene, wie im Brønsted- und im Lewis-Konzept (Drechsler & Van Driel, 2007).

5.1. Frühere Modelle

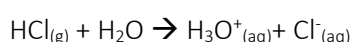
Zu frühen Modellen finden sich häufig Beschreibungen über die Eigenschaften, etwa saurer Geschmack, dass wässrige Lösungen von „Säuren“ Lackmus rot färben, dass sie „Basen“ neutralisieren und mit unedlen Metallen und Carbonaten reagieren. Alkalische Lösungen werden ebenfalls über ihre Eigenschaften beschrieben. Dazu zählt ein seifiges Gefühl, die Fähigkeit „Säuren“ zu neutralisieren und die Eigenschaft Lackmus blau zu färben (Drechsler & Van Driel, 2007). Diese Eigenschaften werden häufig zur erstmaligen Beschreibung von Säuren und Basen genutzt. Es sind Phänomene, die auf der Substanzebene beobachtet werden können. Boyle beschreibt, dass die blaue Farbe vieler Pflanzen durch Säuren in Rot übergeht, während durch Alkalien die blaue Farbe von Pflanzen in Grün umschlägt. Weiters beobachtet er, dass der Farbumschlag der Reaktionen mit Säuren bzw. Alkalien bei Reaktion mit jeweils dem anderen Reaktionspartner zurück zur ursprünglichen Farbe führt (Schanze, 2001).

Die Schülerinnen und Schüler kennen solche Phänomene aus dem Alltag. Die frühen Modelle bieten jedoch nur eine Einstufung in sauer oder basisch, jedoch kein Erklärungsmodell auf der Teilchenebene. Das Arrhenius-Konzept bietet eine Erklärung, durch die die Eigenschaften der sauren und basischen Lösungen erläutert werden.

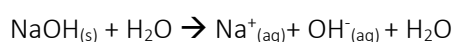
5.2. Das Arrhenius Konzept

Das Arrhenius-Konzept stammt von Svante Arrhenius. Er veröffentlichte 1887 seine „chemische Theorie der Elektrolyte“. Das Konzept beruht auf der Dissoziation von Elektrolyten in wässriger Lösung. Dabei sind Säuren definiert als Stoffe, die in wässriger Lösung H^+ -Ionen bilden und Basen als Stoffe die OH^- -Ionen bilden. Die Eigenschaften einer sauren Lösung werden auf die H^+ -Ionen und die Eigenschaften von basischen Lösungen auf die OH^- -Ionen zurückgeführt. Der Grad der Dissoziation korreliert mit der Stärke der Säure bzw. der Base. Starke Säuren und Basen dissoziieren vollständig.

Ein Beispiel für eine Dissoziationsreaktion einer Arrhenius-Säure ist:



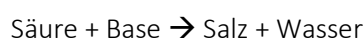
Arrhenius-Säuren bilden in wässrigen Lösungen H^+ -Ionen. Es liegen jedoch keine freien H^+ -Ionen vor. Sobald ein Proton von einer Arrhenius-Säure abgegeben wird, entsteht, durch die Vereinigung mit einem Wassermolekül, ein Oxonium-Ion (H_3O^+ -Ion), auch Hydronium-Ion genannt. Da der Prozess in wässriger Lösung abläuft, liegen alle Spezies hydratisiert vor. Auch das Oxonium-Ion ist über Wasserstoffbrückenbildung mit weiteren Wassermolekülen verbunden und ergibt somit weitere Spezies. Die Definition der Säure kann in diesem Konzept auch so formuliert werden: „Eine Säure ist eine Substanz, die unter Bildung von H_3O^+ -Ionen dissoziiert, wenn sie in Wasser gelöst wird.“ (Mortimer & Müller, 2010, S.246). Um das hydratisierte Proton zweckmäßig zu bezeichnen wird häufig $\text{H}^+_{(\text{aq})}$ geschrieben. Analog zur Dissoziationsreaktion der Arrhenius-Säure kann auch die Dissoziationsreaktion für eine Arrhenius-Base formuliert werden. Ein Beispiel für eine Dissoziationsreaktion einer Arrhenius-Base ist:



Arrhenius-Basen bilden in wässrigen Lösungen OH^- -Ionen (Mortimer & Müller, 2010). Sowohl die Definition der Arrhenius-Base als auch der Arrhenius-Säure ist bezogen auf Wasser. Somit ist der Säure- und Basenbegriff dieses Konzepts auf wässrige Lösungen beschränkt. Konsequenterweise wäre es in diesem Fall, nicht von Säuren und Basen, sondern von sauren und basischen Lösungen zu sprechen (Barke, 2015).

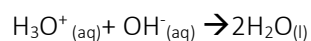
Eine Grenze des Arrhenius Konzepts ergibt sich damit bei Basen, die keine OH-Gruppe beinhalten. Beispielsweise kann die Reaktion zwischen NH_3 und HCl zu NH_4Cl in Abwesenheit von Wasser, im Arrhenius Konzept nicht ohne weiteres als Säure-Basenreaktion erklärt werden. Es kann lediglich darauf hingewiesen werden, dass es sich bei Abwesenheit von Wasser um eine Salzbildungsreaktion handelt, denn nach Arrhenius-Konzept, kann eine Säure-Basen-Reaktion nur

bei Anwesenheit von Wasser stattfinden. Dennoch kann die Bedeutung und Anwesenheit der OH⁻-Ionen, bei der entsprechenden Reaktion in wässriger Lösung zu Verwirrung führen. Es wird nicht deutlich, dass Arrhenius-Säure und Arrhenius-Base in der Säure-Basen-Reaktion direkt reagieren (Hawkes, 1992). Eine klassische Säure-Basen-Reaktion wird im Arrhenius-Konzept folgendermaßen erklärt: Bei der Reaktion einer Arrhenius-Säure und einer Arrhenius-Base z.B. von 1mol HCl und 1mol NaOH entsteht eine Kochsalzlösung die neutral ist. Häufig wird die Reaktion dargestellt als:

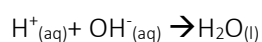


(Riedel & Janiak, 2007).

Die eigentliche Neutralisationsreaktion ist jedoch die Reaktion von H⁺-Ionen mit OH⁻-Ionen zu H₂O-Molekülen. Die zugehörige Reaktionsgleichung ist:



Das ist gleichbedeutend mit:



(Mortimer & Müller, 2010).

Die zuvor genannte Formulierung der Reaktion von Säure und Base zu Wasser und Salz ist irreführend, da sie suggeriert, dass kristallines Salz gebildet würde. Außerdem lenkt sie von der eigentlichen Neutralisationsreaktion ab, und verschleiert dabei die treibende Kraft der Reaktion. Dennoch sind solche Formulierungen in Schulbüchern zu finden. Auch in Form von Merksätzen. Lembens (2017) betont, dass der gängige Merksatz vieler Schulbücher bezüglich der Neutralisationsreaktion irreführend ist, weil er die Bildung von Salzen beinhaltet. Sie bemängelt, dass das Wort „Salz“ falsch eingesetzt wird, da in der Chemie ein Salz als kristalline Form der Ionenverbindung definiert ist. Zu allermeist handelt es sich jedoch bei den Neutralisationsprodukten um aquatisierte Ionen, die in Lösung bleiben und nicht um Salze (Lembens, 2017). Um die Neutralisationsreaktion im Unterricht richtig zu vermitteln, schlägt Barke (2006) vor, schon bei den Ausgangslösungen die enthaltenen Ionen zu betonen, damit die eigentliche Neutralisationsreaktion, die Bildung von Wasser durch die Reaktion von Baseteilchen (OH⁻) und Säureteilchen (H₃O⁺), deutlich wird. Ebenso soll verdeutlicht werden, dass die übrigen Ionen in aquatisierter Form in Lösung bleiben (Lembens & Becker, 2017).

Lembens (2017) zeigt zu Neutralisationsreaktionen eine weitere Schwierigkeit auf, und zwar, dass das Wort „Neutralisation“ häufig falsch genutzt wird. Manche Schülerinnen und Schüler glauben, dass jede Neutralisationsreaktion zu einer neutralen Lösung führt. Doch nur bei solchen Neutralisationsreaktionen, bei denen die Hydronium-Ionen und Hydroxid-Ionen in äquimolaren

Mengen vorliegen, ist die resultierende Lösung neutral. Nur in diesen Fällen handelt es sich nur um eine Neutralisation.

Wie in der Definition bereits erwähnt, werden im Arrhenius-Konzept „Säuren und Basen“ als Substanzen betrachtet (Barke, 2015).

Beim Arrhenius Modell kann dabei jedoch die Substanzebene und die Teilchenebene betrachtet werden. Säuren sind als Substanzen definiert. Diese bilden in wässriger Lösung H^+ -Ionen. Die Eigenschaften von „Säuren“, werden auf die H^+ -Ionen zurückgeführt. Die Menge der H^+ -Ionen in saurer Lösung bestimmen, wie sauer eine saure Lösung ist. Basen wiederum bilden in Wasser OH^- -Ionen. Bei der Reaktion zwischen Säuren und Basen, der Neutralisationsreaktion, wird Wasser gebildet (Drechsler, Van Driel, 2007). Das Konzept erlaubt also, die Eigenschaften von sauren und basischen Lösungen zu erklären, sowie den pH-Wert und die Neutralisation. Doch das Konzept hat auch Grenzen und reicht deshalb nicht aus, um das Thema der „Säuren und Basen“ vollständig zu erklären.

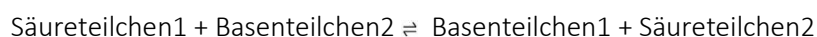
Dieses Konzept wird häufig in der Sekundarstufe I unterrichtet. Es beruht darauf, dass Säuren in wässriger Lösung H^+ -Ionen und Basen in wässriger Lösung OH^- -Ionen bilden. Die sauren und basischen Eigenschaften werden auf diese Ionen zurückgeführt. Da diese Ionen nur in wässriger Lösung gebildet werden ist auch das Konzept auf wässrige Lösungen beschränkt. Es können nur Säure-Basen Reaktionen in wässrigen Lösungen erklärt werden. Basen wie Ammoniak, die keine Sauerstoff-Wasserstoffgruppe besitzen, können nur indirekt erklärt werden. (Ammoniak bildet in Wasser zwar Hydroxid-Ionen, diese werden jedoch nicht von Ammoniak freigesetzt, sondern von Wasser-Molekülen). Eine weitere Schwäche des Konzeptes ist folgende: Durch das Arrhenius-Konzept können die Neutralisation und der pH-Wert erklärt werden, Puffersysteme jedoch nicht. Für die Erklärung des Puffersystems und zur Erklärung von Basen, die keine Sauerstoff-Wasserstoff Gruppe besitzen, oder für Säure-Basen-Reaktionen, die nicht in wässriger Lösung stattfinden, muss das Säure-Basen Konzept erweitert werden.

Das Brønsted-Konzept ermöglicht die Vorhersage und Erklärung fast aller Säure-Basen Reaktionen (Lembens & Becker, 2017).

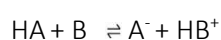
5.3. Das Brønsted-Lowry Konzept

Das Brønsted-Lowry Konzept bietet eine allgemeinere Formulierung des Säure- und Basenbegriffes. Johannes Brønsted und Thomas Lowry fanden unabhängig voneinander eine neue Definition des Säuren- und des Basenbegriffes, die eine Erweiterung des Anwendungsbereiches ermöglichte (Mortimer & Müller, 2010). Dabei ist die Definition der Säuren und Basen im Gegensatz zur

Definition im Arrhenius-Konzept nicht von Wasser abhängig (Drechsler & Schmidt, 2005). Die Definition von Säure und Base bezieht sich im Brønsted-Konzept auf deren Funktion in einer Säure-Basen-Reaktion. Brønsted-Säuren sind demnach Protonen-Donatoren, das bedeutet sie spenden Protonen. Brønsted-Basen sind analog dazu Protonen-Akzeptoren. Sie nehmen die gespendeten Protonen auf. Die Säure-Basen-Reaktion ist eine Protonenübertragungsreaktion, wobei die Brønsted-Säure ein Proton an die Brønsted-Base abgibt. Die Protonenübertragungsreaktion heißt Protolyse. Das allgemeine Schema für eine Brønsted Säure-Basen-Reaktionen ist:



oder auch:



(Mortimer & Müller, 2010).

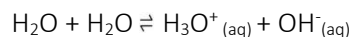
Hawkes (1992) kritisiert an der Bezeichnung „Protonendonatoren“, auf Deutsch „Protonenspender“, dass die Protonen in der Reaktion nicht ohne weiteres abgegeben werden, sondern es muss die Bindungsenergie von der Bindung zwischen Wasserstoff und dem Säurerest, sowie die Ionisierungsenergie, aufgewendet werden. Diese wird durch die freiwerdende Bindungsenergie bei der Bindung des Protons an die Brønsted-Base aufgebracht. Somit wird das Proton der Säure eher entrissen als von ihr gespendet.

Lembens schlägt deshalb die Definition der Säuren und Basen folgendermaßen vor: „Säuren sind Teilchen, von denen Wasserstoffionen abgespalten werden können“ (Lembens & Becker, 2017, S.14) und „Basen sind Teilchen, die von Säuren Wasserstoffionen abspalten können“ (Lembens & Becker, 2017, S.14). Aus der Formulierung geht hervor, dass die Abspaltung des Protons von der Säure durch die Base hervorgerufen wird und das Proton in der Säure-Basen-Reaktion an die Base gebunden wird. Diese Formulierung betont aber auch den Teilchencharakter von Brønsted-Säuren und Brønsted-Basen (Lembens & Becker, 2017). Denn Brønsted-Säuren und Brønsted-Basen sind keine Stoffklassen, sondern es sind Teilchen, die über ihre Eigenschaft gegenüber dem H^+ -Ion in der Säure-Basen-Reaktion definiert sind (Mortimer & Müller, 2010). Damit ein Teilchen als Brønsted-Säure reagieren kann, muss es ein Proton enthalten, das es abgeben kann. Damit ein Teilchen als Brønsted-Base reagieren kann, muss es mindestens ein freies Elektronenpaar aufweisen, damit es ein Proton aufnehmen kann. Bei den Teilchen kann es sich sowohl um Moleküle als auch um Ionen handeln. Durch Protonenübergänge wird je ein Proton von einem Ion oder Molekül auf ein anderes übertragen (Barke, 2015). Dabei ändert sich die Ladung des Teilchens. Weil die Reaktionen reversibel sind, kann allgemein gesagt werden, dass der Säurerest der Brønsted-Säure nach Abgabe des Protons aus der Hinreaktion für die Rückreaktion als Brønsted-Base wirkt und umgekehrt. Ein

solches Säure-Basen-Paar, das sich lediglich um ein Proton voneinander unterscheidet, wird als konjugiertes Säure-Basen-Paar bezeichnet. Im System sind je zwei solcher konjugierter Säure-Basen-Paare. Im Einstellen des Gleichgewichtes konkurrieren die beiden Basen um das Proton (Mortimer & Müller, 2010). Die starke Base kann das Proton aufnehmen. Basenstärke bzw. Säurestärke ist in diesem Konzept die Tendenz Protonen aufzunehmen bzw. abzugeben. Eine starke Säure hat eine große Tendenz Protonen abzugeben, dem zufolge muss die konjugierte Base eine schwache Base sein. Im Allgemeinen gilt, ist ein Partner aus einem konjugierten Säure-Basen-Paar stark, so ist der andere entsprechend schwach (Mortimer & Müller, 2010).

Im Konzept nach Brønsted gibt es, weil Brønsted-Säuren und Brønsted-Basen keine Stoffklassen sind, auch Teilchen, die je nach Reaktionspartner sowohl als Brønsted-Säuren als auch als Brønsted-Basen reagieren können. Solche Teilchen werden als Ampholyt bezeichnet. Ein Beispiel dafür sind HSO_4^- -Ionen, die als Brønsted-Basen ein Proton annehmen und zu H_2SO_4 werden. Ein HSO_4^- -Ion kann aber auch, als Brønsted-Säure, ein Proton abgeben und zum SO_4^{2-} -Ion reagieren. Andere typische Ampholyte sind H_2O -Moleküle.

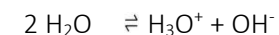
Das wird auch an der Autoprotolyse von H_2O -Molekülen deutlich. Dabei reagieren zwei H_2O -Moleküle zu einem H_3O^+ -Ion und einem OH^- -Ion. In der Autoprotolyse von H_2O -Molekülen ergibt sich somit das Gleichgewicht:



Ausgehend vom Protolyse-Gleichgewicht der Wasser-Moleküle kann deren Ionenprodukt und in weiterer Folge der pH-Wert von Wasser hergeleitet werden.

5.3.1. pH-Wert

Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus der H_3O^+ -Ionenkonzentration oder genauer der H_3O^+ -Ionenaktivität. Er gibt an, wie sauer oder basisch eine saure oder basische wässrige Lösung ist. Der pH-Wert destillierten Wassers, der neutrale Lösungen definiert, kann über das Ionenprodukt des Wassers hergeleitet werden. Zunächst wird an der Autoprotolyse Reaktion von H_2O -Molekülen das Massenwirkungsgesetz angewendet.



$$K = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+) c(\text{OH}^-)}{c^2(\text{H}_2\text{O})}$$

In reinem Wasser darf die Konzentration der Wasser-Moleküle als konstant angesehen werden. Die Konzentration der Wasser-Moleküle beträgt $55,51 \text{ mol/L}$.

$$c^2(H_2O) = \frac{\frac{1000g}{L}}{\frac{18,015g}{mol}} = \frac{55,51mol}{L}$$

Dadurch kann die Konzentration der Wasser-Moleküle in die Gleichgewichtskonstante einbezogen werden. $c(H_3O^+) c(OH^-) = Kc^2(H_2O)$ oder auch $K_w = c(H_3O^+) c(OH^-)$

Bei 25 °C hat das Ionenprodukt von Wasser, K_w , den Zahlenwert $1,0 \cdot 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$. Für die Hydronium-Ionen ergibt sich somit eine Konzentration von $c(H_3O^+) = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$.

Wird eine Brønsted-Säure in Wasser gelöst, dann steigt die Konzentration der Hydronium-Ionen, sodass die Konzentration der Hydronium-Ionen größer ist als die der Hydroxid-Ionen. Es gilt hier: $c(H_3O^+) > 1,0 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ und $c(OH^-) < 1,0 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$. Die Lösung wird dann als saure Lösung bezeichnet. Umgekehrt hat eine basische Lösung eine höhere Konzentration an Hydroxid-Ionen als an Hydronium-Ionen. Es gilt dann: $c(H_3O^+) < 1,0 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ und $c(OH^-) > 1,0 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$.

Der pH-Wert, der negative dekadische Logarithmus der Hydronium-Ionen, erlaubt durch das Umrechnen der Potenzen in ganze Zahlen eine Vereinfachung. Neutrale Lösungen haben einen pH-Wert von sieben. Saure Lösungen haben ein pH-Wert, der kleiner als sieben ist und basische Lösungen haben einen pH-Wert, der größer als sieben ist. Es muss jedoch beachtet werden: Als Konsequenz daraus, dass der pH-Wert auf dem dekadischen Logarithmus beruht, ergibt sich bei der Änderung eines pH-Wertes um eine Einheit eine Änderung um das zehnfache in der Konzentration (Mortimer & Müller, 2010).

Analog zum pH-Wert kann auch der pOH-Wert als negativer dekadischer Logarithmus der Hydroxid-Ionen-Konzentration formuliert werden. Das Ionenprodukt des Wassers kann dann auch folgendermaßen geschrieben werden: $pOH + pH = pK_w = 14$. Der pH-Wert und der pOH-Wert ergänzen sich also auf 14 (Mortimer & Müller, 2010). Analog zum K_w kann auch der K_s -Wert ermittelt werden.

5.3.2. K_s -Werte und Säurestärke

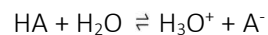
Bei der Reaktion einer Brønsted-Säure mit Wasser ergibt sich ein entsprechendes Protolysegleichgewicht. Liegt das Protolysegleichgewicht auf der rechten Seite, dann handelt es sich um eine starke Säure. In diesem Fall haben fast alle Säure-Teilchen mit Wasser zu Hydronium-Ionen reagiert. Liegt das Protolysegleichgewicht auf der linken Seite, dann handelt es sich um eine schwache Säure. In diesem Fall hat nur ein geringer Teil der Säure-Teilchen mit H_2O -Molekülen zu H_3O^+ -Ionen reagiert. Die Massenwirkungskonstante einer Protolysereaktion gibt quantitatives Maß für die Stärke der entsprechenden Säure. In verdünnten Lösungen darf die Konzentration von

Wasser als konstant gesehen werden und in die Gleichgewichtskonstante mit einbezogen werden. Damit ergibt sich die Säurekonstante K_s . Zur einfacheren Handhabung kann auch bei ihr der negative dekadische Logarithmus genommen werden und so der pK_s -Wert gebildet werden. Analog kann auch die Basenkonstante K_b und ihr negativer dekadischer Logarithmus pK_b gebildet werden (Riedel & Janiak, 2007). Über den gleichen Weg können auch Puffersysteme über das Massenwirkungsgesetz der Protolysereaktion erklärt werden.

5.3.3. Puffersysteme

„Pufferlösungen sind Lösungen, die auch bei Zugabe erheblicher Mengen Säure oder Base ihren pH-Wert nur wenig ändern. Sie bestehen aus einer schwachen Säure (Base) und einem Salz dieser schwachen Säure (Base)“ (Riedel, 2007, S.334).

Für eine Protolysereaktion



kann das Massenwirkungsgesetz aufgestellt werden. Dabei kann die Konzentration der Wassermoleküle als konstant angesehen und deshalb in die Gleichgewichtskonstante einbezogen werden. Damit ergibt sich:

$$K_s = \frac{c(H_3O^+) c(A^-)}{c(HA)}$$

Um zum pH-Wert zu gelangen, wird die Gleichung zunächst umgeformt, so dass die Konzentration der Hydroniumionen ausgedrückt wird.

$$c(H_3O^+) = K_s \frac{c(HA)}{c(A^-)}$$

Davon wird der negative dekadische Logarithmus genommen

$$pH = pK_s + \lg \frac{c(A^-)}{c(HA)}$$

(Riedel, 2007).

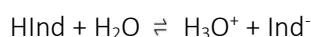
Liegen in einer Lösung eine schwache Säure und ihre konjugierte Base in einem Stoffmengenverhältnis von 1:1 vor, dann gilt also $pH = pK_s$. Werden in einer Lösung kleine Mengen Hydronium-Ionen zugegeben, so reagieren diese mit Base-Teilchen zur konjugierten Säure. Werden der Lösung Hydroxid-Ionen zugesetzt, dann nehmen diese je ein Proton eines Säure-Teilchens auf. Die Gleichgewichtslage des Puffersystems wird dabei nur geringfügig geändert und der pH-Wert bleibt annähernd konstant (Mortimer & Müller, 2010). Der pH-Wert steigt um eine Einheit, wenn

zehnmal soviel Teilchen der konjugierten Base vorliegen, als von der konjugierten Säure. Umgekehrt sinkt der pH-Wert um eine Einheit, wenn zehnmal soviel Teilchen der konjugierten Säure vorliegen, als von der konjugierten Base. Nur, wenn das Verhältnis der Konzentrationen von Anionen (konjugierte Base) zur schwachen Säure von 10:1 überschritten wird, bzw. 1:10 unterschritten wird, ändert sich der pH-Wert drastisch. Je konzentrierter eine Pufferlösung ist, desto besser wirkt sie. Am besten ist eine Pufferlösung, wenn ihre Komponenten in äquimolaren Mengen vorliegen (Riedel, 2007).

Auch das Prinzip der Indikatoren kann aufgrund der gleichen Verhältnismäßigkeiten erklärt werden.

5.3.4. Indikatoren

„Säure-Base-Indikatoren sind organische Farbstoffe, deren Lösungen bei Änderung des pH-Wertes ihre Farbe wechseln.“ (Riedel & Janiak, 2007). Sie können als Anzeiger verwendet werden, weil die Farbänderung bei einem für sie charakteristischen pH-Wert verläuft. Bei Säure-Basenindikatoren weisen die Indikatorsäure und ihre konjugierte Base eine andere Farbe auf. In wässrigen Lösungen gibt es ein pH-Wert abhängiges Gleichgewicht.



HInd steht dabei für ein undissoziiertes Indikator-Molekül und hat eine andere Farbe als das Teilchen der konjugierten Base Ind^- . Je nach Lage des Gleichgewichtes scheint die Farbe von HInd oder von Ind^- auf. Durch die Anwendung des Massenwirkungsgesetzes ergibt sich die Säurekonstante K_s und über diese eine Formel für den pH-Wert:

$$\text{pH} = \text{p}K_s(\text{HInd}) + \lg \frac{c(\text{Ind}^-)}{c(\text{HInd})}$$

Bei dem Verhältnis $\frac{c(\text{Ind}^-)}{c(\text{HInd})} = 10$ wird praktisch nur die Farbe von Ind^- wahrgenommen und bei $\frac{c(\text{Ind}^-)}{c(\text{HInd})} = 0,1$ die von HInd. Die Spanne, bei der die Konzentrationsverhältnisse dazwischen liegen, nennt man Umschlagsbereich. Der Umschlagsbereich ist indikatorspezifisch. In diesem Bereich kommen auch Mischfarben der beiden Farben vor. Außerhalb des Umschlagbereiches liegt nur eine der Farben vor. Für Thymolblau liegt der erste von zwei Umschlagpunkten zwischen den pH-Werten 1,2 und 2,8. Die Farbe der Indikatorsäure ist rot, die der Indikatorbase ist gelb. Bei Lackmus liegt der Umschlagpunkt zwischen den pH-Werten 5,0 und 8,0. Die Farbe seiner Indikatorsäure ist rot und die der Indikatorbase ist blau. Ein weiterer typischer Indikator ist Phenolphthalein. Sein Umschlagbereich liegt zwischen den pH-Werten 8,0 und 9,8. Seine Indikatorsäure ist farblos und seine Indikatorbase rot-violett. Säure-Basen-Indikatoren können bei Säure-Basen-Titrationen verwendet werden, um den Äquivalenzpunkt anzuzeigen (Riedel & Janiak, 2007).

Ein Universalindikator ist eine Mischung aus mehreren Indikatoren. Er nimmt je nach pH-Wert eine bestimmte Farbe an. Ein klassischer Universalindikator aus dem Alltag ist der Rotkrautsaft. Dieser ist jedoch ein Farbstoff, der abhängig von der H^+ Ionen Konzentration der Lösung unterschiedlich stark protoniert vorliegt.

Die Farbänderung, die durch die Indikatorwirksamkeit stattfindet, beruht auf dem Phänomen der Farbigkeit, bei dem die Änderung der konjugierten Doppelbindungssysteme eine Rolle spielt. Wird aus weißem Licht (es ist ein Gemisch aller möglichen Wellenlängen) eine Wellenlänge herausgefiltert, so bleibt ein Gemisch an Wellenlängen, die einen Farbton ergeben, zurück. Dasselbe geschieht, wenn eine chemische Verbindung eine Wellenlänge absorbiert. Die Farbe des Stoffes ist abhängig von der absorbierten Wellenlänge. Die nicht absorbierten Teilchen gelangen ins Auge des Betrachters. Auf der Netzhaut werden sie durch Zapfen (Fotorezeptoren für Farbsehen) registriert. Dabei werden Signale ausgelöst, die über den Sehnerv an das Gehirn weitergeleitet werden. Dort werden die Signale als Sinneseindruck verarbeitet (Campell, 2010).

Wenn das absorbierte Licht eine Wellenlänge von 300-460nm (blau-violett) hat, dann ist, entsprechend der reflektierten Wellenlängen des Lichtes, der Farbeindruck, der vom Gehirn konstruiert wird, orange. Bei der Absorption des Lichtes mit einer Wellenlänge von 480-610nm (grün) ist die beobachtete Farbe purpur.

Je größer ein konjugiertes Doppelbindungssystem ist, also umso mehr konjugierte Doppelbindungen ein Molekül besitzt, desto längere Wellenlängen werden absorbiert. Es reicht eine niedrigere Energie, um die elektronischen Übergänge anzuregen (Bruice, 2011).

Durch das Brønsted-Konzept können also weit mehr Phänomene im Zusammenhang mit „Säuren und Basen“ erklärt werden als im Arrhenius-Konzept oder früheren Modellen.

5.3.5. Vorteile und Besonderheiten des Brønsted-Konzepts

Das Brønsted-Konzept wurde unter dem Argument vorgestellt, dass es allgemeiner formuliert ist und somit fast alle Säure-Basen-Reaktionen erklären kann und nicht auf wässrige Lösungen beschränkt ist. Zudem kann es außerdem auch Basen wie NH_3 erklären, die keine Gruppe mit Sauerstoff und Wasserstoff beinhalten, weil die Definition über die Funktion der Säure-Basen-Reaktion und die Eigenschaft gegenüber Protonen, die sie aufnehmen oder abgeben, definiert ist. Das Konzept ermöglicht sowohl die Erklärung des pH-Wertes, der Neutralisationsreaktionen, als auch die Funktion von Pufferlösung und die Säurestärke. Es ist ein einfaches Konzept, das laut Hawkes (1992) zu keinen Fehlvorstellungen führt. Das Säure-Basen-Konzept nach Brønsted bietet

einen weiteren Vorteil. Es kann in späterer Folge problemlos auf das Konzept nach Lewis erweitert werden.

5.4. Das Lewis Konzept

1923 wurde ein weiteres Konzept zur Säure-Basen-Theorie hinzugefügt. Gilbert N. Lewis setzte an der Voraussetzung der Brønsted-Base an, dass sie über ein freies Elektronenpaar verfügt, an welches ein Proton angelagert werden kann, das von der Säure stammt. Der erweiterte Blick gilt nun dem Elektronenpaar, welches ebenso geteilt werden kann. Dabei entsteht jeweils eine kovalente Bindung, wobei das Elektronenpaar jeweils von der Lewis-Base ausgeht. Eine Lewis-Säure ist ein Elektronenpaar-Akzeptor, während eine Lewis-Base ein Elektronenpaar-Donator ist. Substanzen, die laut Brønsted-Konzept Basen sind, sind es auch im Lewis-Konzept. Säuren hingegen sind im Lewis-Konzept weiter gefasst, sodass Teilchen darunterfallen, die es im Brønsted-Konzept nicht wären. Eine Säure im Lewis-Konzept muss ein unbesetztes Orbital für das freie Elektronenpaar der Lewis-Base bereitstellen können (Mortimer & Müller, 2010).

Typische Lewis-Säuren sind beispielsweise: SnCl_4 , SO_2 , BF_3 , H^+ , Al^{3+} , Cu^{2+}

Typische Lewis-Basen sind beispielsweise: H_2O , F^- , Cl^- , CN^- , CO , NO , N_2

Wenn eine Lewis-Säure mit einer Lewis-Base reagiert, so entsteht eine neue kovalente Bindung. Im Lewis-Konzept werden Säuren und Basen in Abhängigkeit zu Ihrer Größe, Polarisierbarkeit und Ladung in „harte“ und „weiche“ Säuren und Basen eingeteilt. Je kleiner ein Teilchen, je kleiner seine Polarisierbarkeit und je größer seine Ladung ist, desto härter ist die Lewis-Säure. Auch die Lewis-Basen sind bei kleinen Teilchen und geringer Polarisierbarkeit härter. Außerdem sind sie härter, wenn sie schwer oxidierbar sind. Die Verbindungen aus Reaktionen von „harter Säure“ und „harter Base“, sowie die von „weicher Säure und „weicher Base“ sind stabiler, als die Verbindungen aus der Reaktion von einer „harten Säure“ mit einer „weichen Base“ oder von „weicher Säure“ mit „harter Base“. Diese Theorie wurde weiter ausgebaut zum „HSAB-Prinzip (hard-soft acide-base) und die Säuren und Basen nach ihrer chemischen Härte geordnet. Die chemische Härte ist ein Maß dafür, wie leicht die Anzahl der Elektronen eines Teilchens verändert werden kann. Sie ergibt sich aus der Hälfte der Summe von Ionisierungsenergie und Elektronenaffinität. Harte Teilchen haben große Ionisierungsenergie und kleine Elektronenaffinität. Bei den weichen Teilchen ist es entsprechend umgekehrt. Hat ein Teilchen die Härte null, dann haben die Ionisierungsenergie und die Elektronenaffinität den gleichen Betrag, aber das entgegengesetzte Vorzeichen (Riedel & Janiak, 2007).

Weitere Begriffe, die sich aus diesem Konzept ableiten, sind Nucleophile (= Kernliebende) und Elektrophile (=Elektronenliebende). Dieses Konzept wird gerne in der organischen Chemie genutzt, um Reaktionsmechanismen zu formulieren und zu erklären (Mortimer & Müller, 2010).

Es wurden nun Säure-Basen-Konzepte, die am weitesten verbreitet sind, in ihren Grundzügen erklärt. Es soll nur erläutert werden wie „Säuren und Basen“ im Unterricht gehandhabt werden und welche Konsequenzen der jeweilige Einsatz der Konzepte mit sich bringt.

5.5. Schwierigkeiten beim Einsatz von Säure-Basen-Konzepten im Unterricht

Häufig wird in Österreich zuerst das Konzept von Arrhenius gelehrt und in der Oberstufe das Konzept von Brønsted, denn im Lehrplan der Oberstufe ist die Thematik der „Säuren und Basen“ nach der Definition von Brønsted im Kontext „Donor-Akzeptor-Konzepte“ und „Übertragungen“ verankert (Lembens & Becker, 2017). Doch es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Konzepte streng voneinander getrennt unterrichtet werden oder, dass die Konzepte als diese genannt werden. In den Schulen werden die „Säuren und Basen“ nicht einheitlich gehandhabt. Drechsler und Van Driel machten Untersuchungen über den Unterricht zum Thema der „Säuren und Basen“. Dabei zeigten sich zwei Kategorien von Lehrenden dahingehend, worauf diese beim Vorbereiten des Themas der „Säure-Basen“ wertlegen. Die erste Gruppe legte den Fokus auf das Lehren der verschiedenen Konzepte. Dabei reflektierten die Lehrerinnen und Lehrer über die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler und versuchten die Erklärungen möglichst klar zu gestalten. Die zweite Gruppe von Lehrerinnen und Lehrern fokussierte sich darauf zwischen makroskopischer (Substanzebene) und mikroskopischer Ebene (Teilchenebene) zu unterscheiden. Diese Gruppe war bei ihren Planungen auf der Suche nach möglichst einfachen Beispielen, sie behandelte die Thematik der unterschiedlichen Konzepte nicht explizit (Drechsler & Van Driel, 2007).

Tatsächlich scheinen die beiden Aspekte für das Verständnis des Themas der „Säuren und Basen“ eine bedeutende Rolle zu spielen, denn es treten Verwirrungen in Bezug auf die verschiedenen Konzepte, aber auch in Bezug auf die Betrachtungsebenen auf. In beiden Fällen ist das Problem das „Mischen“, im einen Fall das Mischen der Konzepte, im anderen Fall das Mischen der Ebenen.

5.5.1. Konzepte werden gemischt

Schülerinnen und Schüler vermischen die Säure-Basen-Konzepte (Drechsler und Van Driel, 2007). Sumfleth meint, dass Schülerinnen und Schüler etwa das Prinzip vom Donator und Akzeptor und der Protonenübertragung aus dem Brønsted-Konzept verstehen, es aber in konkreten Situationen nicht anwenden können. Hier betont sie, dass zwar die Definitionen nach Brønsted zunehmen, dass

die Erklärungen aber weiterhin auf dem Arrhenius-Konzept basieren. Damit deutet sie auch auf den Hang hin, Konzepte zu mischen (Barke, 2006).

Carr deutet die Situation so, dass die Verwirrung über die Konzepte durch die Unterrichtsweise ausgelöst wird, also durch die Art, wie Modelle im Unterricht eingesetzt werden (Drechsler und Van Driel, 2007).

Lembens und Becker (2017) befassten sich mit den Vorstellungen von Lehramtsstudierenden zum Thema „Säuren und Basen“. Sie deckten auf, dass auch Lehramtsstudierende die verschiedenen „Säure-Basen“ Konzepte häufig vermischen, ohne dies zu bemerken. Beispielsweise, wenn im Rahmen des Arrhenius-Konzeptes mit dem Protonenübergang argumentiert wird (Barke, 2015). Diese Tendenz könnte ausgelöst sein durch die Art und Weise, wie die Studierenden selbst unterrichtet wurden. Wenn in der Unterstufe das Arrhenius-Konzept gelehrt wird und in der Oberstufe das Brønsted-Konzept, ist ein Konzeptwechsel notwendig, der nicht immer vollständig stattfindet. Die Studierenden greifen teilweise noch auf die zuerst gelernten Theorien zurück (Lembens & Becker, 2017).

Die Konzepte werden jedoch nicht nur vermischt, sondern Konzepte werden auch nicht immer klar deklariert, das bedeutet, es wird nicht immer aufgezeigt, welches Konzept gerade genutzt wird.

Die Forschung zeigt, dass bei Schulbüchern das Thema der „Säuren und Basen“ Unklarheiten aufweist. Es gibt drei Aspekte in der Darstellung der Konzepte, die zu Problemen führen können. Der erste Aspekt ist, dass nicht immer aufgezeigt wird, welches Säure-Basen-Konzept gerade herangezogen wird. Der zweite Aspekt ist, wenn nicht angegeben wird, dass verschiedene Konzepte parallel behandelt werden. Der dritte Aspekt ist, wenn Informationen aus den verschiedenen Konzepten beliebig gemischt werden (Drechsler & Van Driel, 2007). Es wäre außerdem sinnvoll zu klären weshalb ein Konzept zu dem gewählten Zeitpunkt bzw. im gegebenen Kontext genutzt wird (Drechsler & Van Driel, 2009). In vielen Schulbüchern wird nicht erklärt, weshalb die Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler verschiedene Konzepte nutzen. Wenn ein neues Konzept eingeführt wird, sollte deutlich gemacht werden, welche Vorzüge dieses mit sich bringt (Drechsler & Schmidt, 2005). Manche Lehrenden erklären die Grenzen der einzelnen Konzepte und in welchen Fällen ein anderes Konzept benötigt wird (Drechsler & Van Driel, 2007). Um sowohl den Inhalt eines Konzeptes als auch die Natur der Wissenschaft zu begreifen, wäre es wichtig die Inhalte von Modellen, aber auch deren Grenzen aufzuzeigen (Boulter & Gilbert, 2000).

Auch durch den Umgang der Lehrerinnen und Lehrer mit den Konzepten kann Verwirrung hervorgerufen werden. Beispielsweise wenn Lehrende für Erklärungen verschiedener Phänomene verschiedene Konzepte heranziehen. Lehrerinnen und Lehrer beachten nicht, dass es die

Schülerinnen und Schüler verwirren könnte, wenn zur Erklärung der Neutralisationsreaktion das Arrhenius-Konzept und zur Erklärung von Puffersystemen das Brønsted-Konzept verwendet wird (Drechsler & Van Driel, 2007). Die Lehrenden argumentieren, dass die Konzepte in verschiedenen Kontexten genutzt werden und übersehen, dass es dennoch zu Verwirrungen führen kann, wenn nicht aufgezeigt wird, weshalb ein gewisses Konzept für die Erklärung eines Phänomens herangezogen wird.

Drechsler und Van Driel (2019) schlagen vor, die verschiedenen Konzepte im Hinblick auf die historische Entwicklung, entsprechend der Natur der Wissenschaft, vorzustellen. Durch diesen Zugang soll deutlich werden, dass nicht das Phänomen direkt beschrieben wird, sondern das Konzept, das dieses repräsentiert. Hawkes (1992) und Lembens (2019) schlagen vor das Arrhenius-Konzept nur im geschichtlichen Kontext vorzustellen und von Beginn an das Brønsted-Konzept zu lehren.

Eine weitere Quelle für Verwirrung ist das Mischen von Betrachtungsebenen. Schülerinnen und Schüler vermischen die Teilchenebene und die Substanzebene (Drechsler und Van Driel, 2007). Lehrerinnen und Lehrer berichteten davon, dass die Schülerinnen und Schüler verwirrt sind, wenn sie auf der Phänomenebene etwas beobachten, die Erklärung aber auf der Teilchenebene stattfindet. Diesbezüglich betonten entsprechende Lehrerinnen und Lehrer die Wichtigkeit zu verdeutlichen welche Ebene gerade behandelt wird (Drechsler & Van Driel, 2007).

Im Thema der „Säuren und Basen“ kommt hinzu, dass sich die Begriffe „Säure und Base“ im Arrhenius- und im Brønsted-Konzept auf verschiedene Ebenen beziehen. Während Arrhenius-Säure und -Base als Substanzen betrachtet werden, handelt es sich bei Brønsted-Säuren und -Basen um Teilchen.

Da Arrhenius-Säuren und -Basen auf wässrige Lösungen bezogen sind, können diese auch als saure und basische Lösungen benannt werden.

Im Brønsted-Konzept gibt es ebenfalls saure und basischen Lösungen. In sauren Lösungen beruht die Säurewirkung im Brønsted-Konzept darauf, dass ein Proton einer Brønsted-Säure auf ein Wasser-Molekül übertragen wird, womit ein Oxonium-Ion entsteht. Basische Lösungen beruhen darauf, dass Brønsted-Basen in wässrigen Lösungen ein Proton eines Wassermoleküls aufnehmen. Jedes Wasser-Molekül, das ein Proton an eine Brønsted-Base abgibt, bleibt als hydratisiertes Hydroxid-Ion zurück (Ötsch, 2017).

Es muss dementsprechend genau formuliert werden, was gerade gemeint ist. Eine Quelle der Verwirrung ist, dass Säuren und saure Lösungen bzw. Basen und basische Lösungen synonym verwendet werden. Barke beschreibt ein Beispiel, an dem deutlich wird, dass manche Schülerinnen

und Schüler nicht zwischen Säuren und sauren Lösungen differenzieren. Im Rahmen einer Prüfung meinte eine Schülerin oder ein Schüler, dass die Schwefelsäure zwei Protonen abgibt. Durch eine Impulsfrage der oder des Lehrenden korrigierte sich die Schülerin oder der Schüler auf, „H₂SO₄-Moleküle“ geben zwei Protonen ab (Barke, 2006).

Auch von vielen Lehramtsstudentinnen und Lehramtsstudenten werden „Säure“ und saure Lösung, sowie „Base“ und basische Lösung synonym verwendet. Damit Schülerinnen und Schüler Brønsted-Säuren als Teilchen begreifen können, von denen Wasserstoffionen durch eine Brønsted-Base abgespalten werden können, muss zwischen einer „Säure“ (etwa das Chlor-Wasserstoffgas, HCl) und ihrer sauren Lösung (z.B. die Salzsäure, H₃O⁺_(aq) + Cl⁻_(aq)) unterschieden werden (Lembens & Becker, 2017).

Doch auch in Schulbüchern werden diese beiden Begriffe nicht klar gehandhabt. Beispielsweise wird zunächst nur die Säure definiert, im Weiteren werden aber nur saure Lösungen behandelt (Drechsler & Van Driel, 2007).

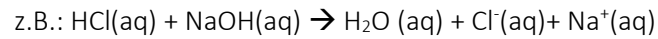
5.5.2. Klare Sprache zur Prävention von Vermischungen

Um Verwirrungen zu vermeiden und den Schülerinnen und Schülern das Thema der „Säuren und Basen“ verständlich zu vermitteln betont Lembens die Wichtigkeit der klaren Sprache (Lembens & Becker, 2017). Auch Barke fordert, dass Lehrerinnen und Lehrer genau formulieren, was sie ausdrücken möchten. Dabei soll darauf geachtet werden, dass die Konzepte sauber voneinander getrennt werden. Für das Brønsted-Konzept kann das bedeuten, dass der Teilchencharakter der Säuren und Basen betont wird und auch sonst die Fachsprache konsequent eingehalten wird. Das betrifft das Gesprochene, aber auch das an der Tafel Geschriebene (Barke, 2006).

Häufig schleicht sich der Fehler ein, dass Wörter aus einem Säure-Basen-Konzept in der Erklärung eines anderen Konzeptes genutzt werden. Beispielsweise, wenn im Rahmen des Brønsted-Konzeptes von Dissoziation statt von Protolyse gesprochen wird. Eindeutige Formulierungen in diesen Lehrinhalten sollen erfolgreiches Lernen begünstigen (Barke, 2018).

Um auch in schriftlicher Form die Betrachtungsebenen zu unterscheiden, kann für die Repräsentation von Reaktionen zwischen Substanzen die Formelgleichung genutzt werden, während die Ioneschreibweise genutzt wird um die Prozesse auf der Teilchenebene darzustellen, etwa die Protonenübertragung im Brønsted-Konzept (Drechsler & Van Driel, 2007).

Wichtig ist auch, dass innerhalb einer Reaktionsgleichung die Ebenen nicht vermischt werden. Das bedeutet, in einer Reaktionsgleichung sollten nicht sowohl Ionen als auch Summensymbole verwendet werden.



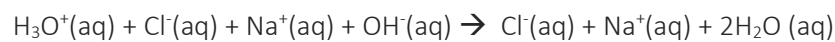
Um eine Reaktion konsequent in einer Ebene zu formulieren können die Substanzen z.B. in einer Wortformel niedergeschrieben werden und zum besseren Verständnis durch eine Reaktionsgleichung in Ionenschreibweise ergänzt werden.

Das wäre für dieses Beispiel:



Diese Gleichung hebt hervor, dass Substanzen betrachtet werden.

Durch die Ionenschreibweise:



wird betont, welche Spezies an der Reaktion beteiligt sind. In der Ionenschreibweise können die Gegenionen auch weggelassen werden (Barke, 2015).

Durch eindeutige Formulierungen, sowohl in der gesprochen als auch in der geschriebenen Form, soll Klarheit darüber geschaffen werden, welche Ebene besprochen, aber auch welches Konzept im jeweiligen Kontext herangezogen wird.

5.5.3. Vermeiden der Vermischung von Konzepten durch Fokus auf das Brønsted-Konzept

Ein weiter Ansatz, um Vermischungen und Verwirrungen über die Konzepte zu vermeiden ist, dass der Umweg über das Arrhenius-Konzept weggelassen wird und von Beginn an das Brønsted-Konzept gelehrt wird (Lembens, 2017).

Dadurch sollen Verwirrungen erspart bleiben, die durch einen unvollständigen Konzeptwechsel entstehen könnten. Wenn Schülerinnen und Schüler bei einem Wechsel vom Arrhenius-Konzept zum Brønsted-Konzept, das Arrhenius-Konzept nicht verwerfen, dann können sie Schwierigkeiten haben das Prinzip der konjugierten Säure-Basen-Paare zu verstehen. Beispielsweise, wenn es durch das Arrhenius-Konzept den Schülerinnen und Schülern schwerfällt, andere Anionen, als OH⁻-Ionen, als Brønsted-Basen zu verstehen. Dabei haben Anionen im Brønsted-Konzept aufgrund ihrer negativen Ladung (freies Elektronenpaar) die Möglichkeit als Brønsted-Basen zu reagieren (Hawkes, 1992).

Im Brønsted-Modell können Säure- oder Basenteilchen sowohl Moleküle als auch Ionen sein. Ross und Munby (1991) berichten, dass Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten haben „Säuren und Basen“ als Ionen zu verstehen und führen das auf fehlende Hinweise auf die Bedeutung und Vorteile des Brønsted-Konzepts, sowie die konjugierten Säure-Basen-Paare zurück.

Eine andere Lernschwierigkeit deckte Volke (2003) auf, und zwar, dass Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten haben Wasser als Base zu akzeptieren. Auch in diesem Fall konnten die betreffenden Schülerinnen und Schüler die Konzepte nicht voneinander trennen.

Wenn zuerst das Arrhenius- und danach das Brønsted-Konzept eingeführt wird, kann es auch zu Verwirrungen kommen, wenn es um Säure-Basen-Reaktionen geht, die nicht in wässrigen Lösungen stattfinden oder wenn es darum geht, weshalb nicht alle Teilchen, die eine Gruppe aus Sauerstoff und Wasserstoff enthalten, Basen sind. Diese Verwirrungen können erspart bleiben, wenn direkt das Brønsted-Konzept eingeführt wird und das Arrhenius-Konzept nur im historischen Kontext vorgestellt wird, (Lembens & Becker, 2017).

5.5.4. Einsatz von Konzepten

In einer Untersuchung zum Unterricht über das Thema der „Säuren und Basen“ zeigte sich, dass eine Gruppe von Lehrerinnen und Lehrern, aus oben genannten Gründen, nur das Brønsted-Konzept lehrt. Die Studie zeigte auch, dass der Großteil der Lehrerinnen und Lehrer das Brønsted-Konzept bevorzugen. Diese Lehrenden haben auch den Eindruck, dass es für die Schülerinnen und Schüler eindeutig und klar ist (Drechsler & Van Driel, 2009).

Die besagte Untersuchung wurde in Schweden von Drechsler und Van Driel (2009) durchgeführt, dabei wurden 281 Lehrende mittels Fragebogen befragt. Die Untersuchung zeigte, dass für die Art und Weise, wie verschiedenen Konzepte gehandhabt werden, der Einsatz der Schulbücher eine Rolle spielt und dementsprechend, welchen Blick Lehrerinnen und Lehrer auf Schulbücher haben, wenn sie diese für ihre Unterricht verwenden. Diesbezüglich wurden drei Gruppen von Lehrerinnen und Lehrern festgestellt.

Die erste Gruppe, 47% der Befragten, lehren weder explizit verschiedene Konzepte noch geben sie Einblick in den historischen Verlauf der Vorstellungen über „Säuren und Basen“. Sie verwenden Schulbücher durchschnittlich viel. Die zweite Gruppe, 38% der Befragten, haben viel Hintergrundwissen über die verschiedenen Säure-Basen-Konzepte, aber lehren diese nicht, um die Schüler nicht zu verwirren. Stattdessen halten sie sich stark an das jeweilige Schulbuch. Es zeigte sich, dass Lehrerinnen und Lehrer, die vom Brønsted-Konzept sehr überzeugt sind, die Schulbücher für sehr eindeutig halten. Sie erkennen nicht, dass die verschiedenen Konzepte, die im Buch vorkommen nicht deklariert oder differenziert werden. Sie stoßen sich auch nicht daran, dass Konflikte, Grenzen, Unterschiede und Fortschritte der verschiedenen Konzepte nicht aufgezeigt werden. Die dritte Gruppe, 15% der Befragten, legen großen Wert auf die Betonung der unterschiedlichen Konzepte und orientieren sich weniger am Brønsted-Konzept und auch weniger an Schulbüchern als die Lehrerinnen und Lehrer der anderen Gruppen. Lehrerinnen und Lehrer

dieser Gruppe sind mit den Schulbüchern weniger zufrieden als Lehrerinnen und Lehrer, die die verschiedenen Konzepte nicht lehren. Es wurde in der Untersuchung kein Zusammenhang zwischen dem Ausmaß an Hintergrundwissen über das Thema und der Wahl der Unterrichtsmethode gefunden. (Drechsler & Van Driel, 2009).

5.6. Fazit für die Strukturierung

- ➔ Im Lauf der Fachlichen Klärung wurde deutlich, dass „Säuren und Basen“ im historischen Verlauf durch verschiedene Konzepte beschrieben wurden. Diese beziehen sich zum Teil auf verschiedene Betrachtungsebenen und können auch Phänomene der „Säuren und Basen“ in verschiedenem Ausmaß beschreiben oder erklären.
- ➔ Um ein möglichst klares Bild über „Säuren und Basen“ zu vermitteln, ohne die Schülerinnen und Schüler unnötig zu verwirren, scheinen zwei Aspekte wesentlich zu sein. Zum einen, dass das jeweilige Konzept, das im Moment verwendet wird, als solches deklariert wird und dass für die Erklärungen innerhalb des Konzeptes eine klare Sprache verwendet wird.
- ➔ Zum andern scheint die Fokussierung auf das Brønsted-Modell Verwirrungen zu umgehen, besonders, wenn die anderen Konzepte im Blick auf die historische Entwicklung vorgestellt und abgegrenzt werden. Für den Lehrpfad soll als Konsequenz in diesem Sinne nur das Brønsted-Konzept herangezogen werden. Säuren werden als Protonendonatoren und Basen als Protonenakzeptoren vermittelt und der Teilchencharakter der Säuren und Basen betont.
- ➔ Um „Säuren und Basen“ klar zu vermitteln ist eine klare Formulierung in gesprochener aber auch in der geschriebenen Form notwendig. Besonders Klarheit in der geschriebenen Form ist für die Didaktische Strukturierung von Bedeutung, da im Lehrpfad die Instruktionen und Erklärungen in schriftlicher Form stattfinden. Dabei soll bei der Schreibweise der Reaktionsgleichungen darauf geachtet werden, dass die Betrachtungsebenen nicht gemischt werden.
- ➔ Für die Strukturierung muss auch berücksichtigt werden, welche Phänomene beim Lehrpfad zur Bearbeitung herangezogen werden können. Diese Phänomene werden im Kapitel 10 (Schritte der Erstellung des Lehrpfades) vorgestellt. Die Aufbereitung dieser wird in den Didaktischen Strukturierungen der Stationen im Kapitel 16 (Didaktische Strukturierung der Stationen) dargelegt.
- ➔ Inhaltlich wird die Protonenübertragungsreaktion behandelt. Diese wird insbesondere auf die organischen Säuren übertragen. Es werden saure und basische Lösungen auf ihren pH-

Wert untersucht, somit werden saure und basische Lösungen behandelt. Der pH-Wert wird nur qualitativ, aber nicht quantitativ behandelt.

Es wurde nun die theoretische Grundlage der naturwissenschaftlichen Perspektive dargelegt. Um in späterer Folge die Strukturierung des Lehrpfads behandeln zu können, müssen der Lehrplan und das Kompetenzmodell vorgestellt werden (Kapitel 6), damit der Lehrpfad darauf begründet und darin eingeordnet werden kann.

6. Lehrplan und Kompetenzmodell

Zunächst wird der aktuelle österreichische Lehrplan für die Unterstufe dargelegt. Dazu wird der Lehrplan für das Unterrichtsfach Chemie an Gymnasium und Realgymnasium (AHS) herangezogen. Da in spezifischen Schultypen die Lehrpläne in gewisser Weise abweichen wird beispielhaft der Lehrplan für wirtschaftliche Gymnasien in Bezug auf den Lehrstoff als Referenz herangezogen. Im Anschluss wird das Kompetenzmodell vorgestellt, welches ebenfalls bei der Entwicklung des Lehrpfades herangezogen wurde.

6.1. Der Lehrplan für das Unterrichtsfach Chemie am Gymnasium und Realgymnasium

Der Lehrplan für Chemie an Gymnasium und Realgymnasium stellt an Lehrerinnen und Lehrer die Bildungs- und Lehraufgabe, Schülerinnen und Schüler im Rahmen des Chemieunterrichts durch Wissen und Grundfertigkeiten zu befähigen auf Phänomene aus dem Alltag, der Freizeit, aus dem Leben und dem Beruf zu reagieren. Ein weiterer Auftrag an die Lehrerinnen und Lehrer ist es, die Schülerinnen und Schüler im Bereich der fachlichen Materie und der Gesundheit zu erziehen. Ausgehend vom Erfahrungsbereich der Schülerinnen und Schüler sollen diese durch,

bewusstes Beobachten chemischer Vorgänge;

Kennenlernen chemischer Prinzipien und Arbeitstechniken auch anhand selbst durchgeführter Experimente;

Schulung des einfachen Modelldenkens unter Einbeziehung vorhandener Schülervorstellungen;

Erfassung der Zusammenhänge zwischen Mikrokosmos und alltäglichem Erfahrungsbereich;

Verstehen der Bedeutung der Chemie für alle Lebensformen und Lebensvorgänge (BFBWF, 2019, S.76),

zu einem chemisch-naturwissenschaftlichen Denken geführt werden.

Weitere Aufgaben des Chemieunterrichts sind es die Schülerinnen und Schüler durch die Bedeutung von Chemie und Technik in Volkswirtschaft und Gesellschaft auf die Berufs- und Arbeitswelt vorzubereiten, aber auch die Förderung der Persönlichkeitsentwicklung zu eigenverantwortlichem und mündigen Freizeit- und Konsumverhalten, zu unterstützen. Dabei sollen Gesundheitserziehung und sicherheitsbewusstes Handeln betont werden. Zudem sollen die Grundlagen gelegt werden, dass Schülerinnen und Schüler Gefahren für die Umwelt, sowie entsprechende Umweltschutzmaßnahmen, beurteilen können (BFBWF, 2019).

Außerdem soll auch ein Beitrag zu den Bildungsbereichen: Natur und Technik, durchgängige Gültigkeit materieller Aufbauprinzipien für sämtliche Bereiche der Natur, Mensch und Gesellschaft, Kreativität und Gestaltung, ästhetische und emotionale Bezüge zur stofflichen Um- und Mitwelt, Gesundheit und Bewegung, sowie zu Sprache und Kommunikation geleistet werden. In Bezug auf Sprache und Kommunikation sollen im Chemieunterricht Unterschiede zwischen Alltags- und Fachsprache bzw. Symbolsprache verdeutlicht werden. Der Sprachgebrauch bei Planung, Beobachtung, Beschreibung und Protokollierung chemischer Vorgänge soll präzise sein (BFBWF, 2019).

6.1.1. Didaktische Grundsätze

In den didaktischen Grundsätzen ist zudem festgehalten, wie der Unterricht gestaltet werden soll. Es soll ausgehend von Schülerinnen- bzw. Schülerexperimenten oder Lehrerinnen- bzw. Lehrerexperimenten gearbeitet werden. Ausgehend von den Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler soll die Erkenntnisgewinnung angestrebt werden. Dabei soll den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit zu Selbsttätigkeit geboten werden. Durch moderne Lern- und Sozialformen sollen soziale und emotionale Bereiche mitgefördert werden. Zudem soll die Verwendung von neuen Technologien, und elektronischen Informationssystemen zu einem lebensnahen Lernen führen. In der Gestaltung des Unterrichtes soll außerdem darauf geachtet werden, dass durch Projektunterricht oder Lehrausgänge ein ausgewogenes Verhältnis von exemplarischer Vertiefung und Bereitstellen neuer Informationen geschaffen wird. Für den Chemieunterricht ist auch die Sicherheitserziehung im weitesten Sinne zu vermitteln (BFBWF, 2019).

Die Inhalte, die den Schülerinnen und Schülern vermittelt werden sollen, werden im Lehrstoff der jeweiligen Klassen aufgezeigt.

6.1.2. Lehrstoff: Kernbereich: 4. Klasse und Bezug zum Chem-Tracking Lehrpfad

Der Lehrstoff der 4. Klasse beinhaltet fünf Kernbereiche. Der erste Kernbereich ist „Einteilung und Eigenschaften der Stoffe“, der zweite „Aufbauprinzipien der Materie“, der dritte „Grundmuster chemischer Reaktionen“, der vierte „Rohstoffquellen und ihre verantwortungsbewusste Nutzung“ und der fünfte Kernbereich ist „Biochemie und Gesundheitserziehung“. Diese sind jeweils wieder in Unterbereiche aufgesplittet (BFBWF, 2019). Welche Bereiche im Lehrpfad behandelt werden steht im Kapitel 12.1 (Lehrplaninhalte zum Thema Säuren und Basen).

Bisher wurde der Lehrplan für Gymnasium und Realgymnasium betrachtet. Die Inhalte, die in der Sekundarstufe 1 in den verschiedenen AHSs behandelt werden, sind annähernd gleich. Es gibt jedoch Unterschiede in Bezug auf die Zuordnung der Inhalte zu verschiedenen Schulstufen. Zudem

sind ausgewählte Inhalte für den Typ des Gymnasiums spezifisch. Am Lehrstoff des wirtschaftlichen Gymnasiums werden diese Unterschiede beispielhaft aufgezeigt.

6.1.3. Lehrstoff für wirtschaftskundliche Realgymnasien und Bezug zum Chem-Tracking-Lehrpfad

Im Lehrplan für wirtschaftskundliche Realgymnasien ist der Lehrstoff bereits für die 3. Klasse vorgesehen. Klassen aus solchen Schulen können, diesen Lehrpfad dementsprechend bereits in der 3. Klasse besuchen. Dieser Schultyp hat zusätzlich zu den oben angeführten Kernbereichen drei weitere Kernbereiche. Einer davon ist „Grundlagen der Ernährung“ und beinhaltet den Bereich „Erkennen der besonderen Bedeutung organischer Sauerstoff- und Stickstoffverbindungen wie Alkohole, Carbonsäuren und Aminosäuren für Ernährung und Stoffwechsel“. Somit ist für Klassen aus wirtschaftlichen Realgymnasien die Behandlung von organischen Säuren Teil des regulären Lehrstoffes und nicht Teil der Erweiterung, was es für den Schultyp Gymnasium und Realgymnasium ist (BFBWF, 2019).

Aktuell gilt für den Chemieunterricht in Gymnasien und Realgymnasien der bereits vorgestellte Lehrplan. Da jedoch die Zentralmatura kompetenzorientiert ist, wird bereits angestrebt die Kompetenzorientierung in den naturwissenschaftlichen Fächern zu verankern. Auch der Lehrpfad soll in diesem Sinne bereits an dem Kompetenzmodell der Naturwissenschaften orientiert werden. Deshalb wird der Lehrpfad auch im Kompetenzmodell eingeordnet. Dafür soll zunächst das Kompetenzmodell kurz vorgestellt werden.

6.2. Das Kompetenzmodell

Das Kompetenzmodell ist auf der Grundlage der Bildungsstandards formuliert. Bildungsstandards bieten „Könnensbeschreibungen“ an, die aus der Perspektive der Lernenden formuliert sind. Die Bildungsstandards richten sich jedoch an die Lehrerinnen und Lehrer. Sie beschreiben welche „Kompetenzen“ Schülerinnen und Schüler in einem Unterrichtsfach im Laufe eines Schuljahres erwerben sollen. Dadurch soll Einheitlichkeit und Qualität in der Bildungsarbeit sichergestellt werden (Wiesner et al., 2017). Für die österreichischen Bildungsstandards wird der Kompetenzbegriff nach Weinert herangezogen. Dieser definiert Kompetenzen als kognitive Fähigkeiten und Fertigkeiten, die den Lernenden längerfristig verfügbar sind. Diese Fähigkeiten und Fertigkeiten sollen die Schülerinnen und Schüler dazu befähigen „Aufgaben in variablen Situationen

erfolgreich und verantwortungsbewusst zu lösen und die damit verbundene motivationale und soziale Bereitschaft zu zeigen“ (BGBI.II Nr.1,2009, S.1).

Das Kompetenzmodell für Naturwissenschaften bezieht sich auf die 8. Schulstufe also auf die 4. Klasse. Es ist ein dreidimensionales Modell mit den Dimensionen der „Inhaltsdimension“, der „Handlungsdimension“ und der „Anforderungsdimension“ (Siehe Abbildung 3).

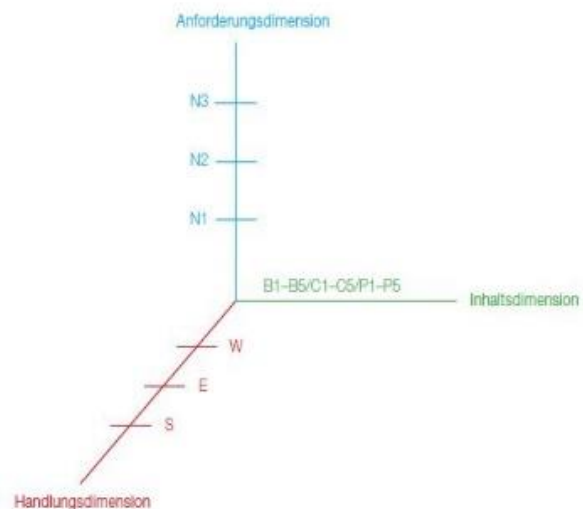


Abbildung 3: Kompetenzmodell der Naturwissenschaften (bifie,2011, S.1)

6.2.1. Die Handlungsdimension

Die Handlungsdimension beinhaltet drei Bereiche „Wissen organisieren“ (W), „Erkenntnisse gewinnen“ (E) und „Schlüsse ziehen“ (S). Diese beinhalten jeweils entsprechende Kompetenzen.

Die Handlungsdimension „Wissen organisieren“ umfasst die Kompetenzen:

Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen (W1)

aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen (W2)

Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik in verschiedenen Formen (Grafik, Tabelle, Bild, Diagramm ...) darstellen, erklären und adressatengerecht kommunizieren (W3)

die Auswirkungen von Vorgängen in Natur, Umwelt und Technik auf die Umwelt und Lebenswelt erfassen und beschreiben (W4) (bifie, 2011, S. 2).

Die Handlungsdimension „Erkenntnisse gewinnen“ beinhaltet die Kompetenzen:

zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben (E1)

zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen (E2)

zu Fragestellungen eine passende Untersuchung oder ein Experiment planen, durchführen und protokollieren (E3)

Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren (E4) (bifie, 2011, S. 2).

Schließlich finden sich in der Handlungsdimension „Schlüsse ziehen“ folgende Kompetenzen:

Daten, Fakten und Ergebnisse aus verschiedenen Quellen aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten und Schlüsse daraus ziehen (S1)

Bedeutung, Chancen und Risiken der Anwendungen von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für mich persönlich und für die Gesellschaft erkennen, um verantwortungsbewusst zu handeln (S2)

die Bedeutung von Naturwissenschaft und Technik für verschiedene Berufsfelder erfassen, um diese Kenntnis bei der Wahl meines weiteren Bildungsweges zu verwenden (S3)

fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren und naturwissenschaftliche von nicht-naturwissenschaftlichen Argumentationen und Fragestellungen unterscheiden (S4) (bifie, 2011, S. 2).

6.2.2. Die Anforderungsdimension

Die zweite Dimension ist die Anforderungsdimension. Sie beinhaltet drei Anforderungsniveaus, die jeweils aufzeigen wie selbstständig die Schülerinnen und Schüler agieren, wie komplex die zu bearbeitenden Inhalte sind und wie weit Fachsprache berücksichtigt und herangezogen wird.

Das „Anforderungsniveau I (N1)“ bezieht sich auf stark angeleitetes Arbeiten. In diesem Niveau genügt eine einfache Sprache. Die Handlungen sind geprägt durch reproduzierende Tätigkeiten, wie Beschreiben von Sachverhalten, Durchführen einfacher Untersuchungen und alltagsweltliche Bewertungen. Das „Anforderungsniveau II (N2)“ umfasst bereits das Beschreiben, Untersuchen und Bewerten von einfachen Zusammenhängen unter Verwendung von Begriffen, Formeln oder anderen Elementen aus der Fachsprache. Zum reproduzierenden Handeln kommt bereits selbstständiges Handeln hinzu. Das „Anforderungsniveau III (N3)“ beschreibt weitgehend selbstständiges Handeln. Es werden Verbindungen zwischen komplexeren Zusammenhängen hergestellt. Dabei werden zudem naturwissenschaftliche Konzepte genutzt und komplexere Fachsprache herangezogen (bifie, 2011).

6.2.3. Die Inhaltsdimension

Die dritte Dimension, die Inhaltsdimension, beinhaltet die Themen des Fachwissens, das erworben werden soll. Das Kompetenzmodell für Naturwissenschaften behandelt dabei die Unterrichtsfächer Biologie, Chemie und Physik. Entsprechend des Faches sind Inhaltsdimensionen für Biologie (B1 – B5), für Chemie (C1 – C5) und für Physik (P1 – P5) formuliert.

Die Inhaltsdimensionen der Chemie sind: „Aufbauprinzipien der Materie (C1), Einteilung und Eigenschaften der Stoffe (C2), Grundmuster chemischer Reaktion (C3), Rohstoffquellen und ihre verantwortungsbewusste Nutzung (C4), Biochemie und Gesundheitserziehung (C5)“ (bifie, 2011, S.4)

Das Kompetenzmodell kann Lehrerinnen und Lehrern als Orientierung dienen um den Unterricht kompetenzorientiert zu planen. Es kann auch konkret beim Ausformulieren von Zielen herangezogen werden. Wie diese Dimensionen im Lehrpfad aufgegriffen werden wird in Kapitel 13 (Einordnung des Lehrpfades in das Kompetenzmodell) tabellarisch aufgezeigt.

Nun wurden alle theoretischen Grundlagen, die herangezogen werden sollen, grob dargelegt. Somit ist die Betrachtung des ersten Teils der Didaktischen Rekonstruktion, der Fachlichen Klärung, abgeschlossen. Als nächstes folgt die Betrachtung der Schülerinnen- und Schülerperspektive zum Thema „Säuren und Basen“ (Kapitel 7).

7. Perspektive von Schülerinnen und Schülern zum Thema der „Säuren und Basen“

In diesem Teil der Didaktischen Rekonstruktion soll im ersten Punkt zusammengetragen werden, welche Vorstellungen Lernende zum Thema der Säuren und Basen haben und im zweiten Punkt woher die Vorstellungen stammen. Also z.B. aus der Lebenswelt oder aus fachorientiertem Kontext, wie aus der Schule oder aus Schulbüchern. Im dritten Punkt soll festgestellt werden, ob die vorgefundenen Vorstellungen mit wissenschaftlichen Konzepten vereinbar sind, bzw. welche Merkmale die Vorstellungen beschreiben sollen. Im vierten Punkt soll herausgearbeitet werden welche Metaphern oder Analogien in den Vorstellungen für Erklärungen herangezogen werden. Im fünften Punkt wird betrachtet welche Bedeutung den Fachbegriffen beigemessen wird. Da „Säuren und Basen“ durch verschiedene Konzepte beschrieben bzw. erklärt werden können, soll im sechsten Punkt betrachtet werden wie die verschiedenen Konzepte für den Unterricht genutzt werden. Schließlich sollen im siebten Punkt Konsequenzen für die Didaktische Strukturierung formuliert werden.

7.1. Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern

Zunächst werden die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern genannt, die in Bezug auf Säuren und Basen in der Literatur zu finden sind.

Eine gängige Vorstellung ist, dass „Säuren“ Substanzen mit besonderen Eigenschaften oder „Fähigkeiten“ sind (Kind, 2004).

Eine andere Vorstellung ist, dass „Säuren“ Material zerfressen und durchlöchern können. „Säuren“ werden demnach mit der potenziellen Fähigkeit zu zerstören in Verbindung gebracht, beispielsweise mit dem Zerstören von Haut (Kind, 2004). Die Vorstellung umfasst nicht nur die Zerstörung der Haut, die Vorstellung, dass Chemikalien Stoffe angreifen beinhaltet auch den Gedanken, dass Säuren Metalle zerfressen (Barke, H.D., 2018). „Säuren“ werden mit ätzend und gefährlich assoziiert, wobei „Säuren“ gefährlicher eingestuft werden als „Basen“, denen die aggressive Wirkungsweise nicht zugeschrieben wird (Barke, 2006).

Eine weitere Vorstellung besteht darin, dass „Säuren“ in Zusammenhang mit Wissenschaftlerinnen, Wissenschaftlern und Labor gebracht werden (Kind, 2004). Barke zeigt auf, dass saure Lösungen im Laborkontext und im Alltagskontext verschieden gefährlich eingestuft werden. Saure Lösungen im chemischen Kontext (Chemieunterricht, Labor, ...) wurden als gefährlicher eingestuft als die

gleichen sauren Lösungen in Haushalt und Alltag. Dort wurden sie als ungefährlich beurteilt (Barke, 2006).

Weitere Vorstellungen über „Säuren und Basen“ werden deutlich, wenn Schülerinnen und Schüler „Säuren und Basen“ erklären sollen. Häufig werden dabei einfache, aber falsch verstandene Phänomene beschrieben, die aus dem Kontext gerissen sind. z.B. „Säuren“ sind rot oder „Säuren“ sind gelb (Barke, 2006). Bei einer Befragung von 127 Schülerinnen und Schülern im Rahmen eines Projekts über das Thema „Neutralisation“ wurden zur Erklärung von „Säuren und Basen“ folgende Ansätze genutzt. 80% der Schülerinnen und Schüler nutzten den pH-Wert oder die pH-Wert-Skala. 77,5% argumentierten mit Eigenschaften. Dabei wurden typische Färbung des Indikators, ätzende Eigenschaften oder saure beziehungsweise alkalische Eigenschaften genannt. In der Kontrollgruppe, die „traditionell“ unterrichtet wurden, zeigten sich zudem die Vorstellungen, dass „Säuren“ ätzen und Laugen alkalisch sind oder dass „Säuren“ sauer sind und Laugen süß. Die Schülerinnen und Schüler durften auch mehr als ein Argument zur Erklärung nutzen, weshalb die Summe der Prozentzahlen der genutzten Erklärungen 100% überschreitet (Dörfler & Barke, 2009).

Eine spezifischere Vorstellung zu „Säuren und Basen“ besteht darin, dass Säure-Moleküle und Basen-Moleküle für die charakteristischen Teilchen von sauren und basischen Lösungen gehalten werden (Barke, 2018). Die Vorstellung ist also, dass „Säuren“ in sauren Lösungen und „Basen“ in basischen Lösungen als Moleküle vorliegen also, z.B. dass die Spezies der Salzsäure HCl-Moleküle bzw. der Natronlauge NaOH-Moleküle sind. Die jeweiligen Ionen, die es tatsächlich sind, werden nicht erkannt (Dörfler, 2009) Auch Barke schreibt, dass die Schülerinnen und Schüler bei der Frage um die charakteristischen Teilchen in sauren und basischen Lösungen statt den gewünschten Hydronium- oder Hydroxid-Ionen verschiedene Säuren- und Basen-Moleküle nennen, obwohl die Schülerinnen und Schüler den Ionenbegriff bereits in vorherigen Schulstufen gelernt und Ionen auch explizit als Teilchen von Salzen, sowie sauren und basischen Lösungen kennengelernt haben (Barke et al., 2018). Kind bestätigt diese Vorstellung. Sie schreibt, dass Schülerinnen und Schüler wissen, dass „Säuren“ H^+ -Ionen enthalten und, dass diese für die sauren Eigenschaften verantwortlich sind. Dennoch nehmen sie an, dass „Säuren“ in sauren Lösungen molekular vorliegen (Kind, 2004). Diese Vorstellung tritt auch im Zusammenhang mit Indikatoren auf. Schülerinnen und Schüler nehmen an, dass ein Indikator-Molekül mit einem Säure-Molekül etwa einem HCl-Molekül bzw. einem Basen-Molekül, wie dem NaOH-Molekül reagiert und deshalb rot oder blau wird (Dörfler, 2009).

Dörfler untersuchte ebenso die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern darüber welche Teilchen in sauren und basischen Lösungen vorliegen. Er wollte herausfinden, ob Schülerinnen und Schüler die charakteristischen Teilchen in sauren und basischen Lösungen kennen. Dazu sollten die

Schülerinnen und Schüler die Unterschiede von „Säuren“ und „Basen“ erklären. Ein Drittel von 127 Befragten versuchte die Unterschiede zwischen Säuren und Basen durch die charakteristischen Teilchen zu geben und 5% der Schülerinnen und Schülern gelang es die Unterschiede zwischen sauren und basischen Lösungen über Protonen und Hydroxid-Ionen zu erklären. Ein weiterer Ansatz zur Erklärung der Unterschiede zwischen „Säuren und Basen“ war es verschiedene Beispiele zu nennen. Nach einer Intervention mit der Methode des „Becherglasmodells“ zogen 60% der Testgruppe die gewünschten Teilchen als Argumente zur Erklärung heran, aus der Kontrollgruppe, die „traditionell“ ohne Becherglasmethode unterrichtet wurde argumentieren 36% mit Teilchen (Dörfler & Barke 2009). Bei der Intervention wurden die beteiligten Spezies in jedem Schritt der Reaktion in gezeichnete Bechergläser eingetragen. Zur Erarbeitung der Reaktionen wurde das Arrhenius-Konzept herangezogen, da dieses in Niedersachsen, vom Kulturstifter für die 10. Schulstufe, empfohlen wird. Das Brønstedmodell wurde explizit nicht verwendet, um Vermischungen der beiden Theorien zu vermeiden (Dörfler & Barke 2009).

Hand und Treagust (1988) fanden in ihren Erhebungen zu den Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern über das Thema „Säuren und Basen“ fünf „Fehlvorstellungen“ vor. Eine davon ist „A base is something which makes up an acid“ (Hand & Treagust, 1988, S.55). In diesen Vorstellungen wird eine Base als Ausgleich für eine Säure verstanden.

Eine weitere Vorstellung ist „Neutralisation is the breakdown of an acid or something changing from an acid“ (Hand & Treagust, 1988, S.55). Neutralisation wird als Vernichtung von Säuren betrachtet. Eine ähnliche Vorstellung zu Neutralisationsreaktionen ist die Vorstellung, dass Basen die Wirkung von Säuren blockieren (Kind, 2004). Wenn Neutralisationsreaktionen betrachtet werden, wird von Schülerinnen und Schülern auch fälschlicherweise angenommen, dass sich die Wirkung von H^+ -Ionen und OH^- -Ionen auslöschen, wenn sie in gleichen Mengen vorliegen. Dabei wird angenommen, dass diese weiterhin als Ionen vorliegen, was wiederum bedeutet, dass die eigentliche Neutralisationsreaktion also die Reaktion der H^+ -Ionen und OH^- -Ionen zu H_2O -Molekülen vernachlässigt wird (Dörfler, 2009). Eine andere gängige Vorstellung ist, dass bei der Neutralisationsreaktion Wasser und kristallines Salz entstehen (Lembens & Becker, 2017).

Eine weitere Vorstellung laut Hand und Treagust ist: „The difference between a strong and a weak acid is that strong acids eat material away faster than a weak acid“ (Hand & Treagust, 1988, S.55). Die Vorstellung beinhaltet, dass eine starke und eine schwache Säure sich darin unterscheiden, wie schnell sie Material „wegfressen“, wobei eine starke Säure Material schneller „wegfrisst“ als eine schwache Säure (Hand & Treagust, 1988). Diese Vorstellung findet sich auch bei den Untersuchungen von Barke. Auch hier wird Säurestärke und Basenstärke von Schülerinnen und Schülern davon abgeleitet, wie schnell Material „weggefressen“ wird (Barke, 2006).

Eine andere Vorstellung über Säure- und Basenstärke ist, dass starke Säuren einen besonders niedrigen, und starke Basen einen besonders hohen pH-Wert haben, bzw. dass die Säure- und Basenstärke mittels pH-Wert gemessen werden kann. Diese Vorstellung ist selbst bei Lehramtsstudierenden für das Fach Chemie noch zu finden. Das zeigt sich, wenn Studierende versuchen die Säurestärke mittels Indikatorpapiers zu demonstrieren (Lembens & Becker, 2017).

Auch die Vorstellung wie sich reine Säure und verdünnte Säure oder analog auch reine Base und verdünnte Base voneinander unterscheiden gibt Aufschluss über das Bild, das Schülerinnen und Schüler von Säuren und Basen haben. Es wird vor allem angenommen, dass es sich um einen reinen Mischeffekt handelt, wobei sich verschiedene Dichte, pH-Werte, Konzentration aber auch eine veränderte Reaktionsfreudigkeit ergeben (Barke, 2006).

7.2. Ursprung der Vorstellungen

Nachdem klassische Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern über „Säuren und Basen“ zusammengetragen wurden, soll beurteilt werden, wodurch diese Vorstellungen ausgelöst wurden. Wesentlich ist ob der Ursprung aus dem Alltag der Schülerinnen und Schüler ist oder ob die Vorstellungen durch den Unterricht, also aus dem fachlichen Kontext stammen. Als Referenz dafür ob Vorstellungen schulischen Ursprungs sein können, werden drei Schulbücher für die Unterstufe („Stoffe“, „Treffpunkt Chemie“ und „Expedition Chemie“) herangezogen.

Zunächst wird betrachtet welche Vorstellungen aus dem alltäglichen Kontext stammen können. Schülerinnen und Schüler sind aus dem Alltag mit der Phänomenebene der „Säuren und Basen“ vertraut. Sie werden beispielsweise im Zusammenhang mit Gesundheitsbewusstsein, Umweltschutz, Lebensmittelindustrie bzw. Drogen damit konfrontiert (Drechsler & Van Driel, 2009). Weil die Phänomenebene den Schülerinnen und Schülern aus dem Alltag vertraut ist, setzen auch manche Schulbücher an beobachtbaren Phänomenen aus dem Alltag an und führen darüber die „Säuren und Basen“ ein. Beispielsweise im Schulbuch „Treffpunkt Chemie“ werden „Säuren und Basen“ entsprechend der frühen Modelle über die Eigenschaften von Säuren und Basen definiert. Dabei werden „Säuren und Basen“ als Substanzen betrachtet (Frühauf, Tegen, 2008). Zudem werden in Schulbüchern selbst bei der Definition der Säuren und Basen nach dem Brønsted-Konzept nicht korrekt auf der Teilchenebene beschrieben, sondern Säuren und Basen als Stoffe behandelt. Es wird beispielsweise formuliert: „Säuren sind Stoffe die Protonen abgeben können“, statt dass formuliert wird: „Säuren sind Teilchen, die Protonen aufnehmen können“. Gleiches gilt für die Definition der Basen (Lembens & Becker, 2017). Zu der Vorstellung von „Säuren und Basen“ als Substanzen trägt also teilweise auch der Unterricht bei.

„Im Alltag gelten Säuren als etwas Gefährliches und Ätzendes“ (Schanze, 2001, S.44). Auch durch Medien und Comic werden diese Vorstellungen über „Säuren und Basen“ vermittelt (Drechsler & Van Driel, 2009). Durch Comic und Filme wird das Bild vermittelt, Säuren seien gefährliche Stoffe mit besonderen Eigenschaften. Es kann ausgelöst werden durch Szenen, in denen eine Wissenschaftlerin oder ein Wissenschaftler dargestellt wird, die oder der mit „Säuren“ Gegenstände durchlöchert. Das ruft die Vorstellung hervor, dass „Säuren“ Materialien z.B. auch die Haut zerstören (Kind, 2004). Diese Vermittlung, durch Comic beinhaltet vier Vorstellungen. Zum einen die Vorstellung des „Wegfressens“, zum anderen die Verallgemeinerung, dass alle „Säuren und Basen“ gefährlich und zerstörerisch sind. Zudem werden „Säuren und Basen“ als Stoffe oder Substanzen betrachtet. Außerdem wird ein Laborkontext hergestellt und „Säuren und Basen“ dabei als nicht alltäglich dargestellt.

Andere Vorstellungen deren Inhalte und Termini dem Thema fachlich entsprechen scheinen aus dem Unterricht oder generell aus dem fachlichen Kontext zu stammen, beispielsweise, wenn „Säuren und Basen“ über einen pH-Wert oder über eine Färbung des Indikators beschrieben werden, beziehungsweise wenn „Säuren“ oder „Basen“ eine Farbe zugewiesen wird (Barke, 2006).

In Schulbüchern werden Säure-Basen-Indikatoren und pH-Werte bzw. pH-Wert-Skalen im Zusammenhang mit „Säuren und Basen“ vorgestellt. Dabei wird dargestellt, dass der pH-Wert angibt, wie sauer bzw. wie basisch eine Lösung ist und, dass das wiederum davon abhängig ist wie viele H^+ -Ionen und OH^- -Ionen in der Lösung sind. Auch eine pH-Wert-Skala von null bis vierzehn ist in den Büchern angegeben. Dabei sind zu verschiedenen pH-Werten Beispiele für Substanzen aus dem Alltag (Essig, Kaffee, Cola, Milch, Meerwasser, Zitronensaft, Blut, Kalkwasser, Waschmittellösung, Seifenlösung, ...) gegeben. Es wird auch thematisiert, dass eine Lösung bei dem pH-Wert sieben neutral ist, dass Lösungen mit kleinerem pH-Wert sauer und Lösungen mit größerem pH-Wert basisch sind. Die Bücher geben auch an, dass der pH-Wert mittels pH-Meter oder Universalindikator gemessen werden kann (Magyar et al., 2014; Frühauf & Tegen, 2008). Säure-Basen-Indikatoren können auch als Nachweis oder zur Identifizierung von „Säureteilchen“ oder „Basenteilchen“ genutzt worden sein (Dörfler & Barke 2009). In den Schulbüchern wird thematisiert, dass ein Indikator je nach pH-Wert eine andere Farbe aufweist. Teilweise wird darauf hingewiesen, dass Säure-Basen-Indikatoren häufig nur zwei Farben aufweisen. Es werden auch Beispiele für Indikatoren und deren Umschlagbereiche, sowie die auftretenden Farben angegeben, oder der Umschlagsbereich auf einer pH-Skala graphisch dargestellt. Z.B. ist für Methylorange die pH-Skala von null bis 3,5 orange gefärbt und von 3,5 bis 14 gelb, oder für Phenolphthalein ist die pH-Skala von null bis etwa neun farblos (in der Abbildung weiß) und von neun bis 14 pink (Magyar, 2014) in einem weiteren Schulbuch werden Beispiele für Indikatoren in einer Tabelle (siehe

Abbildung 4) vorgestellt und angegeben welche Farbe dieser im sauren, im neutralen und im basischen Bereich anzeigt (Haim & Müller, 2016).

Indikator	sauer	neutral	basisch
Bromthymolblau	gelb	grün	blau
Phenolphthalein:	farblos	farblos	pink
Methylorange:	rot	orange	orange

Abbildung 4: Indikatoren in Anlehnung an die Tabelle aus Expedition Chemie (Haim & Müller, 2016)

In allen drei Büchern wird als Beispiel für Universalindikatoren Rotkraut herangezogen.

Auch wenn „Säuren und Basen“ über ihre Eigenschaften erklärt werden, können die Vorstellungen aus dem schulischen Kontext kommen, denn in einigen Schulbüchern finden sich Beschreibungen von Eigenschaften von sauren und basischen Lösungen. In den betrachteten Schulbüchern wird zuerst die zentrale Aussage vermittelt, dass „Säuren“ H^+ -Ionen abgeben und ein Säurerest-Ion zurückbleibt. Jedes der drei betrachteten Schulbücher beinhaltet auch die Reaktion einer „Säure“ mit Wasser und die dabei resultierende saure Lösung. Bei der sauren Lösung werden die Eigenschaften des sauren Geschmacks, ätzender Wirkung und Ionenleitfähigkeit auf die Menge der Wasserstoffionen bezogen. Jedes der Schulbücher thematisiert auch die Eigenschaften der elektrischen-Leitfähigkeit von „Säuren“, sowie die Fähigkeit unedle Metalle und Kalk zu lösen (Magyar et al., 2014; Frühauf & Tegen, 2008; Haim, Müller, 2016).

Auch die Vorstellung „Säuren“ ätzen und Laugen sind alkalisch (Dörfler & Barke 2009), kann aus dem schulischen Kontext kommen, wenn durch die Beschreibung von „Säuren und Basen“ anhand der frühen Modelle diese Eigenschaften betont werden.

Dafür, dass „Säuren“ eine korrosivere Wirkung als „Basen“ zugeschrieben wird sieht Kind (2014) die Ursache darin, dass die Schülerinnen und Schüler im Unterricht „Säuren“ früher kennenlernen als „Basen“. Das führt ihrer Meinung nach auch zu einer Unterentwicklung der Vorstellungen zu „Basen“ relativ zu denen der „Säuren“. Um zu zeigen, dass basische Lösungen stärker ätzend/korrosiv wirken schlägt Kind vor, dass vergleichsweise saure Lösungen und basische Lösungen auf Baumwolle, Papier, Alufolie oder Nylon getropft und die Ergebnisse verglichen werden (Kind, 2004).

Die Vorstellung, dass „Säuren“ sauer sind und „Basen“ süß, wiederum scheint aus dem Alltag zu kommen, wo süß und sauer im Zusammenhang mit Geschmäckern gegenübergestellt werden (Müller, 2005). Es scheint als hätten die Schülerinnen und Schüler diesen Zusammenhang auf „Säuren und Basen“ übertragen. Doch auch in Schulbüchern wird der saure Geschmack als Eigenschaft von Säuren angeführt (Magyar et al., 2014; Frühauf & Tegen, 2008).

Auch die Vorstellung, dass der pH-Wert etwas über die Säurestärke bzw. Basenstärke aussagt, kann in der Schule initiiert werden, wenn versucht wird Säurestärke mittels Indikators nachzuweisen oder aber auch durch entsprechende Aussagen in Schulbüchern (Lembens & Becker, 2017).

Die Vorstellung, dass bei der Neutralisation kristallines Salz entsteht, scheint aus dem schulischen Kontext zu stammen. In einigen Schulbüchern wird auch formuliert, dass Wasser und Salz entstehen (Lembens & Becker, 2017).

Weitere Verständnisschwierigkeiten, die durch den Unterricht verursacht werden, können auf eine Unschärfe in der Sprache zurückgeführt werden. Beispielsweise werden die Worte Säure und saure Lösung auch von Lehramtsstudentinnen und -studenten häufig synonym eingesetzt (Lembens & Becker, 2017).

7.3. Kompatibilität mit naturwissenschaftlichen Vorstellungen zu „Säuren und Basen“

Nachdem die Hintergründe oder Ursachen für die angetroffenen Vorstellungen betrachtet wurden, sollen sie in Bezug zu den naturwissenschaftlichen Vorstellungen gesetzt werden. Es wird nun hinterfragt, ob die Vorstellungen für den Unterricht aufgegriffen werden können oder, ob sie mit den naturwissenschaftlichen Konzepten nicht vereinbar sind.

Die Vorstellung von „Säuren“ als Substanzen mit besonderen Eigenschaften oder „Fähigkeiten“ (Kind, 2004) lässt sich mit den frühen Modellen und mit dem Arrhenius-Konzept vereinen. Denn die frühen Modelle beschreiben die Phänomene auf der Substanzebene und beim Arrhenius-Konzept sind Säuren und Basen als Substanzen definiert. Während im Arrhenius-Konzept bereits die Erklärung auf der „Teilchenebene“ gegeben werden kann, ist im Brønsted-Konzept sogar die Definition auf den Teilchencharakter ausgelegt (Drechsler, Van Driel, 2007). Lembens und Becker formulierten die Definitionen dementsprechend folgendermaßen: „Säuren sind Teilchen, von denen Wasserstoffionen abgespalten werden können. Basen sind Teilchen, die von Säuren Wasserstoffionen abspalten können“ (Lembens & Becker, 2017, S.14) Mit dieser Definition stehen die Vorstellung von „Säuren als Substanzen“ im Konflikt. Aus den Überlegungen von Brønsted lässt sich erkennen, dass tatsächlich Teilchen und nicht Substanzen gemeint sind. Bei dem Brønsted-Konzept basiert die Säure- bzw. Basenreaktion auf der Protolyse und einer damit verbundenen Protonenübertragung zwischen zwei konjugierten Säure-Basenpaaren. Säuren und Basen werden hierbei nicht als Substanzen, sondern als Teilchen betrachtet (Barke, 2015). Dennoch werden häufig die Substanzen als „Säuren und Basen“ bezeichnet anstatt deren Teilchen, die es im Sinne der Brønsted-Theorie sind. Beispielsweise sind die Säure-Teilchen bei reiner Schwefelsäure H_2SO_4 -

Moleküle, in verdünnter Schwefelsäure sind es $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ -Ionen (Barke, 2006). Damit die Schülerinnen und Schüler Säuren und Basen im Sinne des Brønsted-Konzepts als Teilchen begreifen können betont Lembens die Wichtigkeit vom Laborjargon abzusehen und für Säuren und saure Lösung bzw. Basen und basische Lösung die entsprechenden Begriffe zu nutzen. Die präzise Verwendung der Begriffe soll Verwirrungen vermeiden (Lembens & Becker, 2017).

Es soll nun erläutert werden welche Vorstellungen bezüglich der beteiligten Spezies oder der charakteristischen Teilchen bei Brønsted-Säuren und -Basen, bei Arrhenius-Säuren und -Basen, sowie bei sauren und basischen Lösungen vorgefunden werden und ob sie mit den Konzepten der Naturwissenschaften übereinstimmen. Aus der bereits genannten Untersuchung von Dörfler und Barke (2009) geht hervor, dass ein Drittel der Befragten davon ausgeht, dass Säuren und Basen über charakteristische Teilchen unterschieden werden können. Diese Vorstellung stimmt mit dem Konzept von Arrhenius überein. Bei dem Konzept nach Brønsted hingegen werden Säuren und Basen über ihre Funktion in der Protolysereaktion definiert. Es kann lediglich genannt werden ob eine Teilchen-Spezies als Säure oder Base reagieren kann (Schanze, 2001). 5% bezeichneten die H^+ -Ionen und OH^- -Ionen als charakteristische Teilchen für Säuren bzw. Basen. Dies entspricht dem Konzept nach Arrhenius, wo Säuren als Stoffe definiert sind, die in wässrigen Lösungen, die eben genannten Ionen bilden. Um H^+ -Ionen, als Säure-Teilchen und OH^- -Ionen als Base-Teilchen zu erkennen müssen Schülerinnen und Schüler die Ionisierung von „Säuren“ und „Basen“ berücksichtigen. Doch es besteht wiederum die Vorstellung, dass „Säuren und Basen“ in sauren und basischen Lösungen als Moleküle vorliegen. Die jeweiligen Ionen, die es tatsächlich sind, werden nicht erkannt (Dörfler & Barke 2009). Für die Lösungen von starken Säuren und Basen ist die Vorstellung, dass Säuren und Basen molekular vorliegen nicht entsprechend, da diese vollständig oder annähernd vollständig protolysieren. Bei schwachen Säuren und Basen, ist es zwar richtig, dass in wässriger Lösung Säuren protoniert und Basen deprotoniert vorliegen, dennoch darf nicht vernachlässigt werden, dass entsprechend dem Protolysegrad auch ein entsprechender Anteil der Säure- und Basenteilchen reagiert hat (Riedel & Janiak, 2007).

Diese Vorstellung, dass Säuren und Basen in der Lösung molekular vorliegen, tritt auch im Zusammenhang mit Indikatoren auf. Schülerinnen und Schüler nehmen an, dass Säuren und Basen in Lösungen molekular vorliegen und dass ein Indikator-Molekül mit einem Säure-Molekül etwa einem HCl -Molekül bzw. einem Basenmolekül, wie dem NaOH -Molekül reagiert und deshalb rot oder blau wird (Dörfler, 2009). Die Schülerinnen und Schüler berücksichtigen also nicht die von der Säure- bzw. Basenstärke abhängige Ionisation der „Säuren und Basen“. Es wird nicht genannt, dass das Indikatormolekül protoniert bzw. deprotoniert wird. Der Zusammenhang zwischen der H_3O^+ -

Ionen-Konzentration und der Protonierung bzw. Deprotonierung der Indikator-Moleküle wird also nicht hergestellt.

Welche Teilchen-Spezies in einer Lösung vorliegen wird auch bei der Neutralisationsreaktion häufig nicht berücksichtigt. Wenn Neutralisationsreaktionen betrachtet werden, wird fälschlicherweise angenommen, dass sich die Wirkung von H^+ -Ionen und OH^- -Ionen auslöschen, wenn sie in gleichen Mengen vorliegen. Dabei wird angenommen, dass diese weiterhin als Ionen vorliegen, was wiederum bedeutet, dass die eigentliche Neutralisationsreaktion, also die Reaktion der H^+ -Ionen und OH^- -Ionen zu H_2O -Molekülen, vernachlässigt wird (Dörfler, 2009).

Lembens und Becker (2017) sehen eine mangelnde Achtsamkeit in der Wortwahl als Ursache für das hier genannte Fehlkonzept bezüglich der Neutralisationsreaktion. Wenn die verschiedenen Ebenen (Substanz-Ebene, Teilchen-Ebene, Repräsentations-Ebene), die betrachtet werden, nicht korrekt bezeichnet werden, haben die Schülerinnen und Schüler es schwer, die Hydroxid-Ionen und die Oxonium-Ionen als kleinste Teilchen der sauren und basischen Lösungen zu erkennen, wodurch wiederum die treibende Kraft der Neutralisationsreaktion nicht deutlich werden kann.

Die Vorstellung der Schülerinnen und Schüler zu vorliegenden Teilchen in Säuren, Basen und sauren und basischen Lösungen sind nicht der naturwissenschaftlichen Betrachtung entsprechend, dennoch scheint es, als könnten, durch das Aufzeigen der jeweils tatsächlich vorliegenden Spezies und durch achtsame Wortwahl, Vorstellungen adaptiert und gefestigt werden. Ten Voorde (1987) plädiert, um die Kluft des Nichtverstehenkönnens zu überbrücken, ebenfalls für eine eindeutige Sprache, wobei die oder der Lehrende darauf zu achten hat, dass ein Begriff für den jeweiligen Kontext geeignet ist und der Fachstruktur entspricht.

Bei Untersuchungen von Barke ergaben sich dieselben Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern. In seiner Befragung wurde die Aufgabe gestellt die Reaktion von Salzsäure und Natronlauge als Reaktionsgleichung zu formulieren und die an der Reaktion beteiligten Teilchenarten anzugeben. Es waren etwa 80% der Schülerinnen und Schüler in der Lage die Reaktionsgleichung aufzustellen. 50% der Schülerinnen und Schüler formulierten die Reaktion in Ionenschreibweise. 40% schrieben die Bildung von „NaCl“ anstatt der Ionenschreibweise. Einige betonten sogar das „feste NaCl“. Bei der Art der Formulierungen betonte Barke, dass aus der Ionenschreibweise die Reaktion von OH^- -Ionen und H^+ -Ionen zu H_2O deutlich wird. Wenn statt der Ionenschreibweise „NaCl“ geschrieben wird, geht nicht klar hervor, dass es sich um die gelöste Form handelt. Er schließt aus den Formulierungen der Reaktionsgleichungen, dass die Schülerinnen und Schüler, die Ionenschreibweise benutzen, den gelösten Charakter über die Formelschreibweise ausdrücken. Ob Schülerinnen und Schülern bewusst ist, ob beteiligte Spezies bei der

Neutralisationsreaktion als Ionen oder Moleküle vorliegen, wird bei der Frage nach den beteiligten Teilchensorten noch deutlicher. 40% der Befragten antworteten hier richtig (Barke, 2006).

Eine andere Vorstellung zu „Säuren und Basen“ ist, dass „Säuren“ Material zerfressen und Potential haben zu zerstören (Kind, 2004). Apel (1996) zeigte eine ähnliche Betrachtung auf, bei der „Säuren“ für gefährliche Flüssigkeiten gehalten werden, die sich durch ätzende und aggressive Eigenschaften auszeichnen. Das „Säuren“ und „Basen“ ätzend wirken ist eine Verallgemeinerung, wobei nicht berücksichtigt wird, dass die ätzende Wirkung von der Konzentration beziehungsweise der Verdünnung der Lösung und der Säurestärke bzw. Basenstärke abhängt (Barke, 2006). Die Umschreibungen „wegfressen“ oder „durchlöchern“ suggerieren wiederum ein allgemeines Potential zu Zerstörung. Es wird dabei nicht deutlich, dass eine Reaktion zu Grunde liegt, stattdessen wird der Vorgang „vermenschlicht“ (Kind, 2004).

Die Vorstellung, dass „Säuren“ im Vergleich zu „Basen“ gefährlicher sind und stärker mit ätzender Wirkung assoziiert werden als „Basen“ (Barke, 2006) stimmt nicht mit den naturwissenschaftlichen Erkenntnissen überein. Sowohl saure als auch basische Lösungen, sowie Säuren und Basen können ätzende Wirkung zeigen. Durch einfache Versuche, kann jedoch die korrosive Wirkung von basischen Lösungen aufgezeigt werden (Kind, 2004) die Schülerinnen und Schülern weniger präsent ist.

Bei der Vorstellung Säuren sind ätzend und Basen sind alkalisch (Dörfler, 2009) werden die beiden enthaltenen Aussagen zunächst getrennt voneinander betrachtet. Die erste Aussage „Säuren sind ätzend“ wurde bereits besprochen und festgesellt, dass es sich um eine Verallgemeinerung handelt, die als solches nicht völlig mit der naturwissenschaftlichen Perspektive übereinstimmt, wobei in der gerade betrachteten Aussage die ätzende Wirkung von Basen und basischen Lösungen unbeachtet bleibt. Die zweite Aussage „Basen sind alkalisch“ wird nun ebenfalls der naturwissenschaftlichen Perspektive gegenübergestellt. Für basische Lösungen, also Laugen, ist die Aussage, dass sie alkalisch sind richtig. Für Brønsted-Basen ist die Aussage nicht stimmig, da es sich um einzelne Teilchen in Bezug auf ihre Reaktion handelt (Schanze, 2001), während „basisch“ im Sinne eines pH-Wert über sieben nur über die Konzentration der Protonen bestimmt werden kann (Mortimer & Müller, 2010).

Es bleibt die Frage offen, weshalb die ätzende Wirkung, die sowohl bei basischen als auch sauren Lösungen auftreten kann, nur den Säuren zugeschrieben wird. Sowohl Säuren als auch Basen, sowie deren wässrige Lösungen können bei gewisser Säure- bzw. Basenstärke und entsprechender Konzentration ätzend wirken. Weiters bleibt unklar weshalb die ätzende Wirkung der alkalischen

Wirkung gegenübergestellt wird. Eine analoge Gegenüberstellung wäre: Säuren bilden Lösungen die sauer sind und Basen bilden Lösungen die alkalisch sind.

Auch bei der Schülerinnen- und Schülervorstellung „Säuren“ sind sauer und Laugen sind süß (Dörfler & Barke, 2009), kann die erste Aussage „Säuren sind sauer“ analog zur vorhergehenden Aussage „Basen sind alkalisch“ betrachtet werden. Die zweite Aussage „Basen sind süß“ stimmt nicht mit der naturwissenschaftlichen Betrachtung von „Basen“ überein. Die Aussage als Gesamtes scheint auf den Geschmack ausgerichtet zu sein. Die Detektion der Geschmacksrichtung sauer hängt von Ionenkanälen ab, die auch in nicht-geschmackswahrnehmungsfähigen Zellen des Körpers zu finden sind. Sauer wird durch einen pH-Wert-empfindlichen Kalium-Ionenkanal registriert. Tatsächlich wird der saure Geschmack ausgelöst durch Protonen die Kalium-Ionenkanäle blockieren, wodurch die Zelle depolarisiert wird und in Folge der Ausschüttung von Kalzium-Ionen das Aktionspotential ausgelöst wird. Der süße Geschmack wird jedoch durch Rezeptorbindung von Glucose-Molekülen ausgelöst (Randl, D.-J., Eckert, R., Warren, B. & Kathleen, F., 2002), also nicht über „Basen“.

Eine weitere Vorstellung beruht darauf, dass „Säuren“ mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern und Labor in Zusammenhang gebracht werden (Kind, 2004). Sie werden also nicht als alltäglich betrachtet. Zudem zeigt sich, dass saure Lösungen im Alltagskontext und im Laborkontext verschieden gefährlich eingeschätzt werden. Saure Lösungen im chemischen Kontext (Chemieunterricht, Labor, ...) wurden bei einer Befragung als gefährlicher eingestuft als die gleichen sauren Lösungen in Haushalt und Alltag. Dort wurden sie als ungefährlich beurteilt (Barke, 2006).

Diese Betrachtung lässt vermuten, dass das Gelernte nicht mit dem Alltag verknüpft wurde. Diese Vorstellung steht jedoch dem Wissenserwerb nicht zwingen im Weg. Es scheint sinnvoll, durch das Verwenden von Alltagschemikalien, und das Aufzeigen der ausschlaggebenden Kriterien (Säure- und Basenstärke, sowie Konzentration) Klarheit zu schaffen.

Weitere Vorstellungen zu „Säuren und Basen“ betreffen deren Eigenschaften. Diese werden von Schülerinnen und Schülern herangezogen um „Säuren und Basen“ zu erklären.

Ein Parameter über den „Säuren und Basen“ von Schülerinnen und Schülern beschrieben werden ist der pH-Wert (Dörfler, 2009). Das bestätigen auch Barkes Analysen der Daten aus der empirischen Erhebung von Musli über die Schülerinnen- und Schülervorstellungen zu „Säuren und Basen“. Dabei wurden 100 Schülerinnen und Schüler mittels Fragebogen befragt. Aus der Befragung geht hervor, dass viele Schülerinnen und Schüler zur Erklärung der „Säuren und Basen“ den pH-Wert heranziehen (Barke, 2006). Aus naturwissenschaftlicher Sicht gibt der pH-Wert ein Maß für die Protonenkonzentration einer sauren oder basischen Lösung an (Mortimer & Müller,

2010). Demnach ist eine Erklärung von Brønsted-Säuren und -Basen über den pH-Wert nicht angemessen. Für eine qualitative Einschätzung ob eine Lösung sauer oder basisch ist, wäre der pH-Wert angemessen.

Da der pH-Wert so eng mit „Säuren und Basen“ assoziiert wird, sollen nun auch die Schülerinnen- und Schülervorstellungen über den pH-Wert selbst betrachtet werden. Die meisten Befragten der bereits oben angeführten Untersuchung von Musli konnten die Definition des pH-Wertes angeben als „der negative dekadische Logarithmus der H^+ -Ionen Konzentration.“ Abweichungen von der Definition wie „der negative dekadische Logarithmus“ oder „der Logarithmus der H^+ -Konstellation“ legen nahe, dass die Definition nicht verstanden wurde. Aus der korrekten Wiedergabe der Definitionen geht nicht hervor, ob die Schülerinnen und Schüler diese verstanden haben. Auf die Frage nach einer Erläuterung für pH-Wert und pH-Wert-Skala fanden sich auch Antworten, bei denen der pH-Wert mit Duschartikeln und Hautverträglichkeit in Zusammenhang gebracht wurde. Dabei zeigte sich auch die fälschliche Annahme, dass pH 7 hautneutral sei. (Tatsächlich ist pH-hautneutral leicht sauer, da ein pH-hautneutrales Duschgel den Säureschutzmantel der Haut wiederherstellen soll). Diese Form der Beantwortung ist auf rein phänomenologischer Ebene. Aus einer weiteren Frage geht deutlicher hervor, dass die Fähigkeit den pH-Wert anzuwenden, durch die Kenntnis der Definition noch nicht gegeben ist. Schülerinnen und Schüler sollten Lösungen benennen, die einen pH-Wert von 1 besitzen. 15% der Befragten antworteten richtig mit einer 0,1 molaren Lösung von Salzsäure. 30% nannten Salzsäure, salzsaure Lösung oder Schwefelsäure, gaben aber keine Konzentration an. 45% der Befragten antwortete nicht. Barke schloss aus diesen Erhebungen auf eine fehlende Flexibilität in der Anwendung des pH-Wertes (Barke, 2006).

Eine andere Vorstellung, die im Zusammenhang mit dem pH-Wert auftritt, ist die Annahme, dass aus dem pH-Wert die Säure- bzw. Basenstärke abgelesen werden kann oder umgekehrt, dass die Säure- bzw. Basenstärke über den pH-Wert nachgewiesen werden kann. Diese Vorstellung fand sich in den Untersuchungen von Musli, auf die sich Barke bezieht. (Barke, 2006). Doch der pH-Wert gibt an, wie stark sauer oder wie stark basisch eine Lösung ist (Stoffebene). (In stark sauren Lösungen liegt eine hohe Konzentration an Protonen vor.) Über den pH-Wert kann jedoch nicht die Säure- bzw. Basenstärke nachgewiesen werden (Lembens, 2017), also die Größe des Potentials Protonen abzugeben bzw. aufzunehmen. Doch selbst in Schulbüchern finden sich manchmal falsche Aussagen, wie etwa, dass starke Säuren einen niedrigen pH-Wert haben, welche auch unreflektiert weitergegeben werden (Lembens & Becker, 2017). Dabei ist die Säurestärke über den pKs-Wert bzw. Ks-Wert, also über die Gleichgewichtslage seines Protolysegleichgewichts definiert (Barke, 2015). Eine Untersuchung von Lembens, bei der 191 Studentinnen und Studenten des Studiengangs Lehramt Chemie auf deren Vorstellungen zum Thema der „Säuren und Basen“

untersucht wurden, ergab, dass selbst einem Viertel der Studierenden nicht klar ist, dass ausschließlich der Ionisierungsgrad eine Aussagekraft über die Säure- bzw. Basenstärke hat. Bei der Befragung standen den Studierenden vier Aussagen zur Wahl: „Starke Säuren haben einen höheren pH-Wert als schwache Säuren“, „Starke Säuren enthalten mehr Wasserstoffatome“, „Starke Säuren sind konzentrierter als schwache Säuren.“ und „Starke Säuren ionisieren mehr als schwache Säuren“. Ein Viertel der Studentinnen und Studenten gab eine unangemessene Antwort an, wobei nur die letzte der Aussagen zutreffend ist. Eine weitere Frage war welcher Parameter zur Beurteilung der Stärke einer Säure oder Base bekannt sein muss. Weniger als die Hälfte der Studierenden gab hier die richtige Antwort an, und zwar den potenziellen Ionisierungsgrad in wässriger Lösung. Die anderen kreuzten fälschlicher Weise: pH-Wert, Konzentration oder Anzahl der Wasserstoffatome in der Verbindung an. Die Abweichung der Beantwortung der beiden Fragen zeigt die Unsicherheit der Studierenden über die Inhalte dieser Fragen auf (Lembens, 2017).

Der pH-Wert gibt an wie sauer oder basisch eine Lösung ist. Er gibt jedoch nicht die Säurestärke oder Basenstärke an. Dabei ist der pH-Wert der wässrigen Lösungen von der Konzentration abhängig. Die Konzentration ist jedoch nicht von der Säure- bzw. Basenstärke abhängig. Um den Unterschied zwischen Säure- bzw. Basenstärke und Konzentration bzw. Verdünnungsgrad deutlich zu machen schlägt Kind vor, Verdünnungen einer starken Säure, einer starken Base, einer schwachen Säure, schwachen Basen im Verhältnis von 1:10 herzustellen. Diese zeigen, dass sich der pH-Wert für jede der Verdünnungen im Vergleich zur Ausgangslösung um einen ganzen Wert ändert. Um eine starke Säure oder Base und eine schwache Säure oder Base auf den gleichen pH-Wert zu bringen müssen die starke Säure und Base um ein Vielfaches mehr verdünnt werden als die schwachen. Daraus geht hervor, dass bei der Lösung von starken Säuren und Basen mehr Teilchen für saure bzw. basische Wirkung zur Verfügung stehen. Der Gegensatz zu Konzentration kann dargestellt werden indem von einer beliebigen löslichen Substanz eine gewünschte Menge in Wasser gelöst wird, um eine entsprechende Konzentration zu erhalten. Die Konzentration bzw. Verdünnung ist nicht von der Säurestärke abhängig. Sie gilt gleichermaßen auch für Substanzen, die keine Säuren oder Basen sind, wie etwa Zucker (Kind, 2004).

Auch zur aufgeworfenen Säure- bzw. Basenstärke gibt es noch weitere Schülerinnen- und Schülervorstellungen. Eine ist, dass die Stärke einer Säure ausmacht wie schnell Material „weggefressen“ wird. Also im Sinne von „starken Säuren „ätzen schnell“ schwache langsam“ (Barke, 2006). Die Reaktionsgeschwindigkeit ist von der Temperatur und je nach Reaktionsordnung von der Konzentration abhängig. Die Stärke einer Säure steht jedoch im Zusammenhang mit der Gleichgewichtslage der Protolysereaktion (Riedel & Janiak, 2007).

Eine weitere Schülerinnen- und Schülervorstellung, bei der „Säuren und Basen“ über Eigenschaften definiert werden bezieht sich auf Säure-Basen-Indikatoren. Dabei werden beispielsweise Säuren als Stoffe bezeichnet, welche Lackmus rot färben und Basen als Stoffe, welche Lackmus blau färben, oder die Säuren werden mit den Farben, z.B. rot oder gelb, assoziiert (Barke, 2006). Es ist richtig, dass Lackmus im Sauren rot und im Basischen blau ist (Riedel & Janiak, 2007) und auch in einem frühen Säure-Basen-Konzept nach Boyle werden Säuren und Basen über deren Reaktion mit Pflanzen und damit einhergehendem Farbumschlag beschrieben (Schanze, 2001), doch für die Definition einer Säure oder Base im Sinne des Brønsted-Konzepts reicht die Beschreibung dieses Phänomens nicht aus. Ein Grund ist, dass Säure-Basen-Indikatoren sich auf saure und basische Lösungen beziehen. Boyle machte zwischen Säuren und Basen und ihren wässrigen Lösungen keinen Unterschied. Säure-Basen-Indikatoren benötigen jedoch die Anwesenheit von Wasser. Chlorwasserstoff, Reinstoffe von Schwefelsäure, Zitronensäure oder anderen Säuren reagieren mit Indikatorpapier nicht. Die wässrigen Lösungen dieser Säuren reagieren mit Indikatorpapier hingegen sehr wohl (Schanze, 2001).

7.4. Metaphern und Analogien

In diesem Kapitel werden Metaphern und Analogien, die in den Schülerinnen- und Schülervorstellungen auftreten, darauf analysiert, was sie beschreiben und ob sie mit den naturwissenschaftlichen Vorstellungen kompatibel sind. Eine Metapher, die in der Vorstellung der Substanz mit dem Potential zu zerfressen, durchlöchern, zerstören steckt, ist das Potential Material zu vernichten, Materie „aufzulösen“. Diese „Fähigkeit“ von „Säuren“ floss auch in die ersten naturwissenschaftlichen Beschreibungen von „Säuren“ mit ein. Boyle zählte die „auflösenden Kräfte“ von Säuren als ein Merkmal der Säuren. Konkrete Beispiele, an denen er diese Kräfte beobachtete, waren das Lösen von festen, wasserunlöslichen Stoffen wie Marmor oder Zink (Schanze, 2001). Die Entsprechungen, die in der Betrachtung unter Nutzung des Brønsted Konzeptes zu finden sind, wären: Die Reaktion von Kalk und sauren Lösungen, sowie die Reaktion von sauren Lösungen mit Metallen. Ebenso kann die ätzende Wirkung von Basen und basischen Lösungen, sowie deren Reaktion mit Fetten unter dem Aspekt des Auflösens als analog betrachtet werden. Es scheint sinnvoll die jeweiligen Reaktionen in den Fokus zu stellen, um dem rätselhaft bedrohlichen Bild von gefährlichen ätzenden Stoffen entgegenzuwirken.

In der Vorstellung: „starke Säuren „zerfressen“ Material schneller“ steckt eine Analogie, die zwischen dem Wort „stark“ im Sinne des Fachworts „Säurestärke“ und dem Wort „stark“ aus dem Alltag gezogen wird. Im Duden finden sich zum Wort „stark“ neun verschiedene Bedeutungen. Darunter auch die Bedeutungen „viel Kraft besitzend“, „hohe Leistung bringend; einen hohen Grad

von Wirksamkeit besitzend; leistungsstark“, „zahlenmäßig nicht gering; zahlreich“, „eine hohe Konzentration aufweisend; sehr gehaltvoll, reich“, „sehr ausgeprägt; von großem Ausmaß; sehr intensiv; sehr kräftig“ (Carstens, 2020). Wenn nun stark als intensiv wirkend, viel Kraft besitzend, hohe Leistung bringend verstanden wird, scheint es logisch, dass bei starken „Säuren und Basen“ eine schnelle oder heftige Wirkung erwartet wird.

Eine weitere Metapher findet sich in der Vorstellung, dass Säuren und Basen Gegensätze sind, die sich ausgleichen oder aufheben, wobei wiederum die Reaktion, die zugrunde liegt, unbeachtet bleibt. Die Vorstellung, dass Basen ein Ausgleich für Säuren sind spricht dasselbe Phänomen an, das in der antiken und boylschen Auffassung als entgegengesetzte Wirkung von Säuren und Alkalien wahrgenommen wurde. Die Auffassung beruht auf einer phänomenologischen Betrachtung einer Neutralisationsreaktion. Bei Betrachtung der molekularen Ebene wird ein anderer Effekt deutlich. Im Sinne des Donor-Akzeptor-Prinzips handelt es sich nicht um eine „Aufhebung einer Wirkung“ sondern um die Lage in einer Übertragungsreaktion.

7.5. Rolle der Fachwörter

In der Thematik der „Säuren und Basen“ sind die Wörter Säure und Base zweifelsfrei von großer Bedeutung. Eine Schwierigkeit im Einsatz dieser Worte liegt darin, dass nicht nur verschiedene Konzepte die gleichen Begriffe nutzen, jedoch verschiedene Definitionsmerkmale beinhalten, sondern auch sich zudem auf unterschiedliche Abstraktionsebenen beziehen (Pfeifer, Häusler & Lutz, 1997). Solche Wörter, die verschiedene Bedeutungen tragen heißen Homonyme. Verständnisschwierigkeiten können auftreten, wenn im Unterricht ein homonymer Begriff eingeführt wird, der im Alltag anderes besetzt ist, oder wenn nicht deklariert wird, welche Säure-Basen-Konzepte herangezogen werden (Schanze, 2001). „Bei Verwendung des Säure-Base-Begriffes im theoretischen Niveau muss deutlich werden, ob dieses beispielsweise im Sinne von Arrhenius, Brønsted oder Lewis geschieht. Damit würde der Säure-Base-Begriff seine homonyme Eigenschaft verlieren“ (Schanze, 2001, S. 53).

Eine andere Schwierigkeit ist, dass durch den Laborjargon die Säuren und Basen nicht sauber von deren wässrigen Lösungen unterschieden werden (Lembens & Becker, 2017).

So ist es üblich, eine Lösung von Chlorwasserstoffsäure in Wasser als Chlorwasserstoffsäure oder Salzsäure zu bezeichnen, obwohl sowohl die Definition von Arrhenius als auch nach der von Brønstedt der Chlorwasserstoff die Säure ist. (...) Die Verwischung des Unterschieds zwischen reinen Stoffen und deren wässrigen Lösungen ist jedoch nicht nur ein Verstoß gegen das Prinzip der Wissenschaftlichkeit. Die Folgen sind weitreichend und erstrecken sich von der falschen Vorstellung, Säuren wären aus Ionen aufgebaut, bis zu Schwierigkeiten in der Anwendung der chemischen Zeichensprache (Wenzel, 1982, S. 371).

Lembens und Becker (2017) zeigten, dass eine fehlende Unterscheidung der verschiedenen Ebenen zur Quelle für Lernschwierigkeiten wird. Wenn nämlich zwischen der Säure und ihrer sauren Lösung kein Unterschied gemacht wird, können die Schülerinnen und Schüler die Säureteilchen nicht als solche begreifen.

Eine dritte Schwierigkeit im Umgang mit den Säure-Basen-Begriffen sind Synonyme. Das sind verschiedene Begriffe, die für gleiche Sachverhalte genutzt werden können. Das gilt vor allem für Lauge, Alkalie, basische Lösung und alkalische Lösung, die sich alle auf dieselbe Stoffgruppe beziehen aber auch die beiden Varianten der korrespondierenden Säuren-Basenpaare oder konjugierte Säure-Basenpaare im Brønsted-Konzept. Verständnisschwierigkeiten entstehen dann, wenn Begriffe synonym verwendet werden, aber nicht alle Merkmale ident sind (Schanze, 2001).

Begriffe die entgegengesetzte Bedeutung haben heißen Antonyme. Ein klassisches Beispiel sind Anion und Kation. Auch Säuren und Basen stellen den Anspruch Antonyme zu sein. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass dasselbe Konzept und die gleiche Abstraktionsebene gelten. Welche Inhalte dem Base-Begriff zugeordnet sind gibt Ausschlag darüber ob ein Säure-Begriff entsprechend als Antonym entspricht und umgekehrt. Das wirkt sich auch auf die Sprache aus und ob Synonyme genutzt werden können oder nicht. Dazu empfiehlt Schanze, dass Lauge nicht als Synonym für Base genutzt wird, da Laugen üblicher Weise für basische Lösungen stehen, welche als Antonym die sauren Lösungen haben und nicht die Säuren. Für das Wort Lauge gibt es kein Pendant (Schanze, 2001).

Doch nicht nur die Bezeichnungen für „Säuren und Basen“, sowie deren wässrige Lösungen bergen Verständnisschwierigkeiten. Dies betrifft auch Wörter, die konzeptspezifisch sind, jedoch nicht strikt gehandhabt werden, z.B. die Wörter „Protolyse“ und „Dissoziation“. Das Wort Protolyse bzw. Protolysereaktion stammt aus dem Konzept nach Brønsted. Es beschreibt die Übertragung eines Protons. Das Wort Dissoziation und Dissoziationsreaktion gehört zum Arrhenius-Konzept. Es meint das Bilden von aquatisierten Hydroxid-Ionen bzw. Protonen in wässriger Lösung. Dennoch verwenden manche Lehrenden das Wort Dissoziation auch im Zusammenhang mit dem Brønsted-Konzept (Barke, 2015).

Um das Problem zu meiden kann von Ionisation gesprochen werden, wie es Lembens (2017) empfiehlt. Protolyse ist zudem durch das Wort „lyse“ also „Auflösung“ irreführend. Es wird von der IUPAC als missverständlich bezeichnet. Das Wort „Ionisieren“ dagegen beschreibt den Vorgang einer Säure-Basen-Reaktion in Lösung entsprechend (Lembens, 2017). „Starke Säuren haben ein größeres Potential zu ionisieren als schwache Säuren“ (Lembens, 2017, S.29).

7.6. Handhabung von Konzepten durch Schülerinnen und Schüler

In einer Testung zu Basisverständnis von „Säuren und Basen“ hatten Schülerinnen und Schüler die Biologie lernten im Allgemeinen bessere Ergebnisse bei dem Test, dahingegen konnten nur die Chemielernenden die Basisvorstellungen korrekt formulieren. Die im Allgemeinen bessere Leistung der Biologielerndenden wird darauf zurückgeführt, dass diese nicht mit den verschiedenen Konzepten argumentierten und damit nicht im selben Konflikt wie die Chemielernenden standen. Kind führt weiter, dass daraus deutlich wird, dass die verschiedenen Säure-Basen-Konzepte zu mehr Konflikten führen als außerschulische Vorstellungen gegenüber naturwissenschaftlichen Betrachtungen (Kind, 2004). Dementsprechend lohnt es sich den Umgang der Schülerinnen und Schüler mit verschiedenen Konzepten zu betrachten.

Zur Erklärung von Säuren und Basen ziehen die Schülerinnen und Schüler selten konkrete Konzepte heran. Bei einer Untersuchung von Barke zeigte sich, dass 15% der Befragten bei ihren Erklärungen das Arrhenius-Konzept nutzten und 30% das Brønsted-Modell anwendeten (Barke, 2006). Eine Untersuchung zeigte, dass Schülerinnen und Schüler zwar das Prinzip vom Donator und Akzeptor und der Protonenübertragung verstehen, dass diese aber in konkreten Situationen nicht angewendet werden können. Hier wird betont, dass Schülerinnen und Schüler zwar vermehrt die Definitionen nach Brønsted heranziehen, ihre Erklärungen dagegen basieren weiterhin auf dem Arrhenius-Konzept. Damit wird auf die Neigung Konzepte zu mischen hingedeutet (Barke, 2006). Auch von den Lehrenden wird gegenwärtig nicht immer darauf geachtet, die verschiedenen Konzepte sauber voneinander zu trennen. Etwa wird beim Unterrichten der Arrhenius Theorie mit dem Protonenübergang argumentiert, hingegen aber bei der Brønsted-Theorie von Dissoziation statt von Protolyse gesprochen (Barke, 2015).

7.7. Schlüsse und Konsequenzen für die Strukturierung

- ➔ In den Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler wird deutlich, dass die meisten Lernenden kein konkretes Konzept nutzen. Zwar greift ein Teil in seinen Erklärungen auf das Brønsted- oder Arrhenius-Konzept zurück, doch werden diese nicht immer folgerichtig genutzt. Um der Forderung nachzukommen die Theorien sauber voneinander zu trennen, zu deklarieren und in sich stimmig zu nutzen soll für den Lehrpfad nur ein Konzept herangezogen werden. Es wurde das Brønsted-Konzept gewählt, da es den Schülerinnen und Schülern, die direkt das Brønsted-Konzept gelernt haben, den Umweg über Arrhenius erspart, während, Schülerinnen und Schüler, die Arrhenius gelernt haben früher oder später auch das Brønsted Konzept lernen werden. Schülerinnen und Schüler, die kein konkretes Konzept gelehrt wurden, können somit erfahren, dass es konkrete Konzepte zum

Thema der „Säuren und Basen“ gibt. Das Brønsted-Konzept hat den Vorteil, dass dieses mehr Phänomene und Sachverhalte zu erklären vermag und zudem eine Erweiterung auf das Lewis-Konzept ermöglicht.

- ➔ Daraus ergibt sich zu den Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler, dass Säuren und Basen als Teilchen definiert werden, die in einer Säure-Basen-Reaktion Protonen von einem anderen Teilchen aufnehmen bzw. an ein anderes Teilchen abgeben. Säuren und Basen werden nicht als Substanzen betrachtet. Dementsprechend werden sie auch in den Erklärungen gehandhabt.
- ➔ Da die Schülerinnen und Schüler mit Lösungen arbeiten, müssen diese auch korrekt als saure und basische Lösungen bezeichnet werden um den Unterschied zu Teilchen, die in einer Reaktion als Brønsted-Säuren bzw. -Basen reagieren hervorzuheben. Für wässrige Lösungen werden demnach auch die Wasser-Moleküle als Reaktionspartner der Säure- und Basen-Teilchen in der jeweiligen Protolysereaktion betont.
- ➔ Im Brønsted-Konzept sind die Säuren und Basen Antonyme und sollen in den Texten dementsprechend auch in analoger Weise dargestellt werden, um die Gegensätzlichkeit des Donor-Akzeptor-Konzeptes zu unterstreichen.
- ➔ Der Vorstellung, dass Säuren Material zersetzen soll mit konkreten Reaktionen entgegengetreten werden, um den ungerichteten bedrohlichen Charakter zu nehmen und stattdessen auf die zugrundeliegende Reaktion hinzuweisen. Dafür wird im Lehrpfad die Reaktion zwischen sauren Lösungen und Kalk genützt.
- ➔ Der Vorstellung, dass „Säuren und Basen“ mit Labor assoziiert werden, soll durch das Entdecken der sauren und basischen Lösungen in der Natur entgegengetreten werden.
- ➔ Der Vorstellung „Säuren sind rot oder gelb“ wird entgegengetreten, indem nicht saure bzw. basische Lösungen mit dem Indikator versetzt werden, sondern umgekehrt ein Farbstoff aus einer Pflanze auf seine Reaktion mit saurer und basischer Lösung untersucht wird. Dabei soll deutlich werden, dass nicht die saure Lösung „rot“ oder „gelb“ ist, sondern der Indikatorfarbstoff und saure bzw. basische Lösungen mit einem spezifischen Farbumschlag reagieren.
- ➔ Der pH-Wert wird in einem Exkurs als Wiederholung behandelt. Für den Lehrpfad reicht jedoch eine qualitative Betrachtung.
- ➔ Der Teilchencharakter der Säuren und Basen im Brønsted-Konzept soll auch in den Reaktionsgleichungen berücksichtigt werden. Für ein besseres Verstehen werden sowohl Wortformeln als auch Formelgleichungen verwendet.

➔ Säurestärke und Protolysegleichgewichte werden nicht thematisiert, dennoch wird die Fähigkeit von Bodenpuffern auf vereinfachte Weise dargestellt. Dabei wird die Fähigkeit den pH-Wert einer Lösung annähernd konstant zu halten betont.

Es wurden nun die theoretischen Grundlagen und die Perspektiven der Schülerinnen und Schüler dargelegt. Es folgt die Umsetzung im Lehrpfad. Zunächst werden noch die Leitfragen vorgestellt (Kapitel 8), die im Laufe der Diplomarbeit beantwortet werden.

8. Fragestellungen

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird die Entwicklung eines Lehrpfades zum Thema der „Säuren und Basen“ dargestellt, der auf den Methoden Outdoor Learning und Mobile Learning aufbaut. Im Zuge der Entwicklung wird das Thema der „Säuren und Basen“ in der Didaktischen Rekonstruktion diskutiert um eine geeignete Lernstruktur (den Lehrpfad) für den Augarten zu erstellen. Die Fragen, anhand derer die Eignung des Themas für einen Outdoor Learning und Mobile Learning Lehrpfad zur Vermittlung des gewählten Themas eruiert wurden, lauten:

1. Welche Inhalte des Themas „Säuren und Basen“ können im Lehrpfad im Rahmen des Chem-Tracking-Projekts behandelt werden?
2. Welche Phänomene im Augarten können als Lernanlass dienen?
3. Welche Aspekte der Thematik können an den Phänomenen erarbeitet oder verstanden werden?
4. Wie können diese Phänomene und Inhalte für Schülerinnen und Schüler didaktisch aufbereitet werden?
5. Wie kann ein solcher Chem-Track gewinnbringend in den Chemieunterricht integriert werden?

Die Fragen werden nun im Teil II, der „Vorstellung des Lehrpfades“ und der „Didaktischen Strukturierung der Stationen“ behandelt. Die Frage „Welche Inhalte des Themas „Säuren und Basen“ können im Lehrpfad im Rahmen des Chem-Tracking-Projekts behandelt werden?“ Wird sowohl in Kapitel 16 (Didaktischen Strukturierung der Stationen) als auch in Schritt fünf von Kapitel 10. (Schritte der Erstellung des Lehrpfades) beantwortet. Die Fragen „Welche Phänomene im Augarten können als Lernanlass dienen?“ und „Welche Aspekte der Thematik können an den Phänomenen erarbeitet oder verstanden werden?“ werden in Schritt vier von Kapitel 10 beantwortet. In Kapitel 16 wird die Frage „Wie können diese Phänomene und Inhalte für Schülerinnen und Schüler didaktisch aufbereitet werden?“ behandelt. Die Antwort auf die Frage „Wie kann ein solcher Chem-Track gewinnbringend in den Chemieunterricht integriert werden?“ wird in Schritt acht von Kapitel 10, in Kapitel 14 (Vorbereitungen und Nachbereitungen bei Besuch des Lehrpfades) und in Kapitel 16 geboten.

Teil II

Der Lehrpfad

Der Teil II dient dazu, den Lehrpfad und seine Entwicklung vorzustellen. Zunächst werden in Kapitel 9 allgemeine Informationen über die Konzeption, sowie die Intentionen des Lehrpfades gegeben. Anschließend werden in Kapitel 10 die Schritte abgehandelt, in denen die Entwicklung des Lehrpfades ablief. Dann wird in Kapitel 11 der Standort vorgestellt. Die darauffolgenden Kapitel widmen sich der inhaltlichen Abgrenzung des Lehrpfades. In Kapitel 12 wird das benötigte und erwartete Vorwissen dargelegt. Dem folgt in Kapitel 13 eine Einordnung des Lehrpfades in das Kompetenzmodell. In Kapitel 14 wird erläutert, wie die Integration in den Unterrichtsverlauf durch Vor- und Nachbereitung geschehen soll. Ein allgemeiner struktureller Aufbau der Stationen folgt in Kapitel 15. Die genauere didaktische Erläuterung der Stationen befindet sich in Kapitel 16 (Didaktische Strukturierung der Stationen). In Kapitel 17 und 18 wird aufgezeigt, in welchem Rahmen einzelne Stationen getestet wurden und wie das Feedback über diese ausfiel. Anhand dieser Ergebnisse wird die weiterführende Entwicklung der Stationen diskutiert und in Kapitel 19 zusammengefasst.

9. Vorstellung des Lehrpfades

Im folgenden Kapitel wird der Lehrpfad vorgestellt. Dafür wird zu Beginn erläutert, wie der Lehrpfad allgemein organisatorisch aufgebaut ist, welche Vorbereitungen für einen Besuch nötig sind und an welche Vorkenntnisse inhaltlich angeschlossen wird. Dann werden die Intentionen des Lehrpfades und eine Einordnung des Lehrpfades in den Lehrplan dargelegt.

9.1. Allgemeines über den Lehrpfad

Der Lehrpfad ist ein Teil des Chem-Tracking-Projektes, das Spitzer in Anlehnung an die Lehrrundgänge von Borrows für Deutschland konzipierte. Es ist der zweite Lehrpfad im Rahmen des Chem-Tracking-Projektes. Dieser Lehrpfad widmet sich einem einzigen Thema der Chemie, nämlich dem Thema „Säuren und Basen“. Die Fokussierung auf ein Thema soll das Integrieren des Lehrpfades in das Curriculum erleichtern.

Der Lehrpfad ist für den Augarten konzipiert. Er beinhaltet sechs Stationen, die wie ein Stationenbetrieb eine nach der andern bearbeitet werden. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten dabei die Stationen in Gruppen von drei bis fünf Personen. Der Lehrpfad dauert je nach individuellem Arbeitstempo der Schülerinnen- und Schüler-Gruppen zwei bis drei Stunden. Lehrpersonen, die den Lehrpfad in den Unterricht integrieren, sollten dafür genügend Zeit einplanen. Jede Gruppe beginnt mit einer anderen Station. Damit das möglich ist, wurden die Stationen so angelegt, dass sie inhaltlich in sich abgeschlossen sind. Je nach Gruppenanzahl können auch zwei bis drei Gruppen parallel an einer Station arbeiten. Jede der Thematiken aus dem Lehrpfad wird durch die Webseite und die darin enthaltenen Informationen und Instruktionen begleitet. Für den Lehrpfad des Chem-Tracking Projektes befindet sich für jede Station ein Schild mit QR-Code auf einem Pfeiler vor Ort. Für den Fall, dass manche Handys noch kein Lesegerät installiert haben, ist auch die Adresse der Webseite auf dem Schild angegeben. Auf den Webseiten befinden sich die Inhalte der Stationen. Jede der Stationen greift jeweils ein Phänomen zum Thema der „Säuren und Basen“ aus der Umgebung auf. Dabei soll die Begegnung mit der Natur mit chemischen Inhalten verknüpft werden. Die Namen und Themen der Stationen sind etwas später in diesem Kapitel in *Tabelle 1 (Themen und aktive Auseinandersetzungen der Stationen)* angeführt.

Die Stationen sind vom Webseitenlayout alle nach einem Grundschemata aufgebaut. Ein Eingangstext stellt ein Phänomen vor und bietet eine Fragestellung. Die Fragestellung wird bearbeitet und führt in eine aktive Auseinandersetzung mit dem Phänomen und der Thematik. Der Kern der Auseinandersetzung mit dem Phänomen geschieht über eine aktive Sequenz, zumeist durch eine Untersuchung oder einen Versuch, der von den Schülerinnen und Schülern durchgeführt, dokumentiert und/ oder ausgewertet wird. Die Hintergrundinformationen und Erklärungen sind wiederum auf der Webseite zu finden. Die aktiven Sequenzen haben eine klare Aufgabenstellung. Es gibt, wo es nötig ist, eine gestufte Hilfe, die eine klarere Struktur vorgibt, wenn

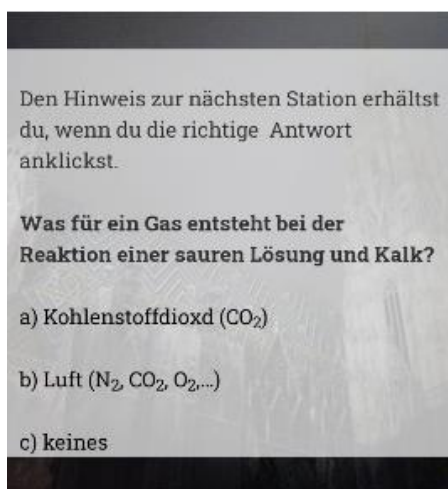


Abbildung 5: Beispiel einer Überleitung zur nächsten Station. Link zur Seite: <http://augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus/weiter/>

die Schülerinnen und Schüler eigenständiges Experimentieren nicht gewohnt sind. Sobald eine Station erfüllt ist, kann die nächste Station bearbeitet werden. Es gibt keine Zeitlimits. Um die nächste Station zu finden, gibt es bei der aktuellen Station einen Hinweis. Dieser wird durch eine Single-Choice Frage zum Inhalt der aktuellen Station freigeschaltet (siehe Abbildung 5). Den ersten Hinweis für eine Startstation bekommen die Gruppen von der Lehrperson so mitgeteilt, dass nur die jeweilige Gruppe den Hinweis erfährt. Bei welcher Station begonnen wird ist nicht von Bedeutung. Die Stationen sind so angelegt, dass jede Station für sich bearbeitet werden kann. In den Fällen

in denen Informationen aus anderen Stationen als Hintergrundwissen hilfreich sind, sind Verlinkungen zu den Inhalten angelegt. Da die Station „In den sauren Apfel beißen“ die inhaltliche Weiterführung der Station „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“ ist, wird hier direkt über die Webseite von der einen zur nächsten Station weitergeleitet, um sicher zu stellen, dass die Stationen direkt nach einander bearbeitet werden.

Der Lehrpfad ist für die vierte Klasse Unterstufe (Sekundarstufe I) konzipiert. Er soll den Unterricht nicht ersetzen, sondern eine Erweiterung oder Vertiefung in Hinblick auf vernetzendes Lernen, Naturerfahrung und Mobile Learning bieten. Er eignet sich sowohl als Vertiefung nach der Einführung der Thematik „Säuren und Basen“, als auch als Wiederholung oder Auffrischung und bietet als Outdoor und Mobile Learning-Aktivität eine Möglichkeit ausgewogene Lernmöglichkeiten zu schaffen, wie es in den didaktischen Grundsätzen des Lehrplanes gefordert wird. „Bei der Unterrichtsgestaltung ist ein ausgewogenes Verhältnis von exemplarischer Vertiefung (z.B. durch Projektunterricht, Lehrausgänge und Exkursionen) und informierender Darbietung (womöglich unterstützt durch Experimente oder Formen des Medieneinsatzes) anzustreben“ (BFBWF, 2019).

In der Tabelle 1 findet sich ein Überblick über die einzelnen Stationen, sowie das behandelte Thema und die Versuche bzw. aktiven Auseinandersetzungen anhand derer die Schülerinnen und Schüler die jeweilige Thematik bearbeiten.

Tabelle 1: Themen und aktive Auseinandersetzungen der Stationen

Nummer der Station	Name der Station	behandeltes Thema	aktive Auseinandersetzung in der Station
Station 1	„Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“	Saure Lösungen in der Natur	Testung der pH-Werte von wässrigen Lösungen verschiedener Naturmaterialien
Station 2	„In den sauren Apfel beißen“	organischen Säuren	Wiedererkennen der Carboxygruppe anhand von Strukturformeln organischer Verbindungen
Station 3	„Untersuchung von Pflanzenasche“	basische Lösung	Herstellung einer Aschelösung und Testung des pH-Werts
Station 4	„Farbenspiel mit Bedeutung“	Säure-Basen-Indikator	Untersuchung von farbigen Naturmaterialien in der Reaktion mit sauren und basischen Lösungen
Station 5	„Stephansdom und Schneckenhaus“	Reaktion zwischen Kalk und saurer Lösung,	Nachweis von Kalk an Schneckenhäusern (Positivprobe) und Gestein (Blindprobe)
Station 6	„Kann auch ein Boden sauer oder basisch sein?“	pH-Wert (als Standortbedingung) und (Boden-)Puffer	Testung des pH-Werts einer wässrigen Bodenprobe Vergleichende Testung von Wasser und einer wässrigen Bodenprobe auf Pufferfähigkeit

9.2. Allgemeine Intentionen des Lehrpfades

Die Intentionen des Lehrpfades ergeben sich aus den Schlussfolgerungen des Outdoor und Mobile Learnings. (siehe Kapitel 3.5 Schlussfolgerungen und Kapitel 4.4 Bedeutung von Mobile Learning für den Chem-Tracking Lehrpfad)

Der Lehrpfad soll im Augarten eine aktive Auseinandersetzung mit Inhalten aus dem Themenbereich der „Säuren und Basen“ bieten. Dabei soll eine Vernetzung von der Naturerfahrung mit den theoretischen Inhalten des Themas „Säuren und Basen“ ermöglicht werden. Der Lehrpfad soll aufzeigen, dass saure und basische Lösungen auch in der Natur vorkommen und dass deren chemische Wirkungsweise ebenfalls für die Natur von Bedeutung ist.

Viele Schülerinnen und Schüler sehen den Zusammenhang zwischen ihrem „realen“ Leben und „Chemie“ nicht. Darum ist es wichtig, sie zu überzeugen, dass Chemie nicht nur in Reagenzgläsern stattfindet (Borrows, 2006). Durch diesen Lehrpfad soll der Bezug noch konkreter werden indem „Chemie“ mit Naturerfahrungen aus erster Hand verknüpft wird.

Eine weitere Intention des Lehrpfades ist es, dass die Naturerfahrung in Verbindung mit dem Entdecken von „Säuren und Basen“ in der Natur ein positives Erleben bewirkt, das sich auf die Einstellung zu Chemie und dem Chemieunterricht auswirkt.

Es ist wünschenswert, dass Personen, die diesen Lehrpfad durchlaufen, zu einer Haltungsänderung geführt werden, wobei Haltungen, die auf der polarisierten Vorstellung beruhen, dass Biologie und Chemie Antagonisten seien, abgelegt werden sollen.

The circumstance that nature is seen in a very positive way could perhaps be used to operate against the often described negative attitude of pupils towards the school-subject chemistry and the concept "chemistry". If you link chemistry and nature based on knowledge, emotions and experiences, it ... (1) can help to close the gap between nature and chemistry (Kirscher & Spitzer & Gröger, 2016, S.11).

Es soll ein Grundstein für das Bewusstsein gelegt werden, dass chemische Prozesse in der Umwelt ablaufen, dass Biologie und Chemie nicht gegensätzlich, sondern eng miteinander vernetzt und voneinander nicht trennbar sind.

Eine weitere Intention des Lehrpfades ist es, den Schülerinnen und Schülern durch das Mobile Learning ein eigenständiges, kontextbezogenes Lernen zu ermöglichen, bei dem Schülerinnen und Schüler zwar angeleitet durch den Lehrpfad, aber dennoch spontan, aktiv und situativ (Traxler, 2005) die Natur untersuchen können. Beim Einsatz der Methode Mobile Learning wird dabei den allgemeinen Bildungszielen im Bereich „Stärken von Selbständigkeit und Eigenverantwortung“ entsprochen in denen es heißt: „Im Unterricht ist durch das Schaffen einer entsprechenden Lernatmosphäre – nicht zuletzt auf Grund der wachsenden Bedeutung dynamischer Fähigkeiten – die selbsttätige und selbstständige Form des Lernens besonders zu fördern. Dafür bieten sich auch projektartige und offene Lernformen an“ (BFBWF, 2019, S.1).

Etwas weiter unten im Lehrplan steht, immer noch unter demselben Punkt: „Der Einsatz digitaler Technologien fördert zeitgemäßes Lernen und unterstützt altersadäquates Informations- und Lernmanagement.“ (BFBWF, 2019, S.1). Des Weiteren wird dazu aufgefordert, die Schülerinnen und Schüler auch durch die Nutzung virtueller Informationssysteme dazu zu befähigen, Themen eigenständig zu erarbeiten. Auch unter dem Punkt „Herstellen von Bezügen zur Lebenswelt“ wird der Einsatz neuer Technologien, sowie das Nutzen von außerschulischen Lernorten eingefordert (BFBWF, 2019). Beides sind Schwerpunkte im Konzept des Lehrpfades.

Noch eine weitere Intention des Lehrpfades ist, dass er auch für Lehrende einladend ist, da diese den Unterricht für ihre Schülerinnen und Schüler gestalten. Um den Lehrpfad für Lehrende attraktiv zu machen, wurde darauf geachtet, dass der Lehrpfad in den Regelunterricht integriert werden kann. Dazu bezieht sich der Lehrpfad auf ein Thema, das im Lehrplan verankert ist. Wie der Lehrpfad

im Lehrplan eingebettet ist wird in Kapitel 14 (Vor- und Nachbereitung) aufgezeigt. Es soll auch Material für die Nachbereitung des Lehrpfades im Unterricht zur Verfügung gestellt werden. Da die Erstellung dieses Materials den Rahmen dieser Diplomarbeit allerdings sprengen würde, wurden die Vorhaben nur skizziert, aber das weiterführende Arbeitsmaterial nichtmehr erstellt. Um die Nutzung des Lehrpfades für die Lehrperson zu erleichtern, steht auch eine Liste der mitzubringenden Materialien bereit. Die besagte Materialiste ist im Kapitel 13.2 (Materialliste) zu finden.

Während der Entwicklung der Stationen wurde darauf geachtet, dass die Liste mitzubringender Materialien kurz und schlicht gehalten wird und das Alltagschemikalien und -materialien Einsatz finden. Den Lehrenden wird auch der Zugang zu den Webseiten der Stationen ermöglicht und ein Überblick über die Ziele der Stationen geboten. Als weiterer Anreiz zur Nutzung wurde darauf geachtet, dass der Ort innerhalb Wiens durch öffentliche Verkehrsmittel gut erreichbar ist. Der Lehrpfad ist im Gegensatz zu anderen Exkursionen, etwa in einem Museum oder Science-Center, frei und öffentlich zugänglich. Deswegen muss für den Besuch des Lehrpfades weder ein Termin für eine Führung reserviert noch ein Eintritt bezahlt werden. Die Minimierung des organisatorischen Aufwands soll den Lehrpfad für Lehrende attraktiv machen und die Hemmschwelle den Lehrpfad zu besuchen vermindern. Denn wenn es darum geht im Freien zu unterrichten können Lehrerinnen und Lehrer Unterstützung gebrauchen, weil Outdoor Learning andere Methoden verlangt, als der Unterricht im Klassenraum (MacQuarrie, 2016). So können auch die Lehrenden den Lehrpfad, und damit verbunden Outdoor Learning, positiv erleben.

Vor allem aber bietet der Lehrpfad eine Gelegenheit das Thema der „Säuren und Basen“ zu wiederholen und im Kontext der Natur zu vertiefen. Die fachspezifischen und inhaltlichen Ziele, die bei den einzelnen Stationen erreicht werden sollen, sind in Tabelle 13, in Kapitel 13.5 angeführt.

10. Schritte der Erstellung des Lehrpfades

Es wurden bereits die Intentionen und die allgemeinen Rahmenbedingungen des Lehrpfades vorgestellt. In diesem Kapitel wird nun genauer erläutert, wie die Entwicklung des Projektes verlief und welche Schritte dabei vorgenommen wurden. Es ergaben sich acht Schritte. Diese sind: Schritt eins: die Klärung der Voraussetzungen, Schritt zwei: eine erstmalige Überlegung von Zielen und Skizzierung vorläufiger Stationen, Schritt drei: die Fixierung eines Outdoor Lernortes, Schritt vier: die Auslotung der Möglichkeiten im Augarten, Schritt fünf: die Auswahl der Stationen, Schritt sechs: die Ausformulierungen der ersten Stationen für die Webseite unter Beachtung von Schülerinnen- und Schülerperspektiven und didaktischen Überlegungen, Schritt sieben: die Testung der ersten Stationen und schließlich Schritt acht: Auswertung der Feedback-Bögen, die Erarbeitung weiterer Stationen und Überarbeitung der getesteten Stationen im Wissen der Expertenmeinung. Die Schritte sind auf den gesamten Lehrpfad bezogen. Die explizite Gestaltung der Stationen wird erst in Kapitel 16 (Didaktische Strukturierung der Stationen) bearbeitet.

Zunächst wurde als erster Schritt die Ausgangslage definiert und von dieser ausgehend weitere Vorgehensweisen geplant. Die Aufgabenstellung für die Diplomarbeit war es einen Lehrpfad zum Thema Säuren und Basen in natürlichem Umfeld zu konzipieren. Dieser sollte in das Chem-Tracking Projekt eingegliedert sein. Wie der originale Chem-Tracking Lehrpfad in Hilchenbach Lützel (Deutschland), sollte auch der Lehrpfad, der in dieser Arbeit entwickelt wird, als Stationenbetrieb laufen, wobei die Stationen per QR-Code aufgerufen werden. Damit wurden die beiden Lernformen Mobil Learning und Outdoor Learning von vornherein fixiert. Der Lehrpfad sollte im Freien stattfinden und saure und basische Lösungen, sowie deren Wirkungsweise und Bedeutung behandeln.

Als zweiter Schritt wurde überlegt, welche Ziele verfolgt und welche Inhalte und Grundideen vermittelt werden könnten. Es wurde recherchiert, welche Versuche sich entsprechend eignen könnten und vorläufige Ziele formuliert, sowie mögliche Stationen skizziert. Die in diesem Schritt überlegten Ziele und Ideen für Stationen wurden als Ausgangsbasis verwendet und im Laufe der Entwicklung an die Möglichkeiten des Standortes bzw. die Umsetzbarkeit angepasst. Die schließlich entwickelten Stationen und Ziele sind unter dem Kapitel 13.5 (Handlungsdimensionen, die im Lehrpfad in den einzelnen Stationen abgedeckt werden) in der Tabelle 13 formuliert.

Als dritter Schritt wurde ein Ort für den Outdoor Lehrpfad fixiert. Für die Auswahl eines Standortes wurden zunächst unterschiedliche Möglichkeiten in Betracht gezogen. Eine Idee war es, den Lehrpfad direkt um ein Schulgelände herum anzulegen, wie es Borrowes bei seinem ersten „Chemistry Trail“ tat. Das hätte den Vorteil, dass es in der direkten Umgebung der Schule wäre.

Dabei würde keine Wegzeit für Hin- und Rückweg anfallen. Zudem könnte die tägliche Begegnung mit den Phänomenen, das Gelernte erneut in Erinnerung rufen. Ein Nachteil wäre, dass er nur für jeweils eine Schule dienlich wäre. Damit der Lehrpfad nicht nur für die Schülerinnen und Schüler einer Schule zugänglich ist, wurde ein öffentlicher Ort gesucht. Es wurde der Augarten als Ort für den Lehrpfad gewählt, da dieser öffentlich zugänglich ist, relativ zentral in Wien liegt und an die öffentlichen Verkehrsmittel angebunden ist.

Als vierter Schritt wurden die Möglichkeiten im Augarten ausgelotet. Der Augarten wurde im Blick auf die angedachten Stationen und eventuelle weitere Möglichkeiten inspiziert. Vor Ort wurden dazu bereits angedachte Versuche getestet. Die Wahl der Stationen wurde dann auf die vorhandenen Phänomene des Augartens abgestimmt, bzw. adaptiert. Die Phänomene die im Augarten tatsächlich angetroffen wurden, werden im Folgenden beschrieben.

Das erste Phänomen bietet sich durch eine Vielzahl an Pflanzen und Naturmaterialien die zu finden sind. Abgesehen von den künstlich angelegten Blumenbeeten, Alleen, Rasenflächen und Hecken sind auch naturbelassenere Bereiche vorhanden, etwa an den Wegrändern, den Flächen um die Flaktürme und hinter den Hecken. Es finden sich viele Gräser, krautige Pflanzen, Sträucher, Bäume, Schneckenhäuser, Steine, offene Erdf Flächen, Astwerk, Baumstümpfe, Früchte, Samen und Ähnliches. In ihnen sind saure und basische Lösungen vorhanden.



Abbildung 6: a) Brennnessel b) Beere c) Rosenblüten d) Aschelösung e) Rindenmulch f) Feldahorn

Verschiedene Naturmaterialien können herangezogen werden, um den pH-Wert ihrer wässrigen Lösungen zu bestimmen, und diese dementsprechend als saure oder basische Lösung einzuordnen (siehe Abbildung 6 a-f)). Da bei den Probeversuchen vorrangig saure Lösungen gefunden wurden, wurde das Ziel dieser Station darauf adaptiert aufzuzeigen, dass die meisten Pflanzenteile mit Wasser saure Lösungen bilden. Die Untersuchung basischer Lösungen wurde in eine andere Station ausgelagert.

Das zweite Phänomen ist der Farbwechsel von Pflanzenfarbstoffen in Reaktion mit sauren und basischen Lösungen. Im Augarten sind Alleen aus Rosskastanien vorhanden, die dafür ein passendes Schaubeispiel bieten (siehe Abbildung 7).



Abbildung 7: a) Rosskastanienallee



b) Rosskastanie in der Blütezeit



c) Blütenstand einer Rosskastanie

Roskastanienbäume bieten das Phänomen eines Farbumschlages, das zur Anschauung dienen kann. Auf den Blüten von Rosskastanien befindet sich ein Saftmal, welches in Abhängigkeit davon, ob die Blüte bestäubt wurde, oder aber noch nicht, eine andere Farbe aufweist. Bei unbestäubten Blüten ist es gelb, bei bestäubten ist es rosa. Da Bienen Rottöne nicht sehen können fliegen sie nur die Blüten mit gelbem Saftmal an. Dieses Phänomen des Farbwechsels wird herangezogen, um die Thematik der Indikatoren zu behandeln. Denn Indikatoren sind Farbstoffe, die in Abhängigkeit vom pH-Wert ihre Farbe ändern.

Die wilden Bereiche hinter den Hecken halten Streuholz, Äste und Baumstümpfe bereit (siehe Abbildung 8 a)-c)).



Abbildung 8: a) Baumstümpfe und Wurzelwerk



b) Astwerk



c) Baumstumpf und Wurzelwerk

Für die Station „Untersuchung von Pflanzenasche“ wäre Holz ein gutes Ausgangsmaterial. Hier wird der Umstand genutzt, dass bei der Verbrennung von Holz anorganische Mineralien in der Asche zurückbleiben, welche in Wasser gelöst basische Lösungen ergeben. Wenn es im Augarten einen Lagerfeuerplatz gäbe, wäre es möglich das Holz selbst zu Asche zu verbrennen, um sie für den Versuch bereit zu stellen. Da nun leider kein geeigneter Lagerfeuerplatz installiert ist und es

vermutlich unerwünscht ist, dass Kinder im Augarten mit Feuer hantieren, wird es notwendig sein, die Asche mitzubringen.

Das Phänomen der Reaktion zwischen sauren Lösungen und Kalk kann an Schneckenhäusern untersucht werden, die an den Rändern der Wege, im Bereich der Hecken und im Bereich hinter



Abbildung 9: a) Schneckenhaus



b) Schotterweg



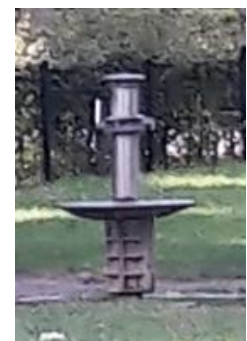
c) Naturmaterialien am Weg

den Hecken, zu finden sind. Auch Steine sind in verschiedenen Größen vorhanden. (Siehe Abbildung 9 a)-c)) Einige der Wege sind mit Kies ausgestreut. Es gibt aber auch in den wilden Bereichen lose Steine. Diese eignen sich zur Anwendung des Kalknachweises durch saure Lösungen. Dabei geben die Schneckenhäuser ein gutes Probenmaterial für eine Positivprobe. Steine eignen sich als Blindprobe, denn es kommt darauf an, ob sie kalkhaltig oder silikatisch sind.

Leider gibt es im Augarten nur künstliche Wasserstellen (siehe Abbildung 10 a), b)). Anders als der



Abbildung 10: a) Regenlacke am Weg



b) Trinkwasserbrunnen

Name des Gartens verspricht, ist heute vom Au-Charakter des Augartens leider wenig übrig. Die Wasserzugänge beschränken sich auf ein Schwimmbad und drei Trinkwasserbrunnen. Es sind keine permanenten offenen Wasserstellen, wie Teiche oder offene Brunnen, vorhanden. Nur nach Regen bilden sich relativ große Lacken. Das ermöglicht leider nicht das Testen der pH-Werte verschiedener Wasserstellen. Eine solche angedachte Station musste also fallengelassen werden. Die Trinkwasserbrunnen werden nur als Wasserquelle für die Herstellung wässriger Lösungen verwendet.

Im Augarten gibt es unterschiedlich beschaffene Böden. Es gibt Bereiche, die gärtnerischem Einfluss unterschiedlich stark unterliegen. Die Alleen und Beete, im Bereich des Haupteinganges rund um das Porzellanmuseum, sind gärtnerisch angelegt. Die Wiesenbereiche sind auch weitgehend gepflegt. Die Bereiche hinter den Hecken sind naturbelassen. Zudem gibt es auch unterschiedliche Bodenqualitäten durch die unterschiedliche Nutzung (Schotterwege, lockere Böden im Bereich der Hecken, festgetrampelte Böden, Trampelpfade durch die wilden Bereiche, lehmige Böden, einen Weg um den Flakturm, ...) (siehe Abbildung 11 a)-d)).



Abbildung 11: a) lockerer Boden hinter den Hecken



b) Boden am Rande der Flaktürme



c) Boden zwischen Wegen und Hecken



d) Boden bei Schotterwegen

Die Böden können genutzt werden, um den pH-Wert als Standortbedingung für Pflanzen aufzuzeigen. Da der pH-Wert einer wässrigen Bodenprobe, aus dem naturbelassenen Bereich des Augartens leicht basisch ist, und, als verlandeter Auboden mit Kalziumgehalt, eine Pufferfunktion besitzt, können sowohl der pH-Wert einer wässrigen Bodenprobe, als auch die (Boden-)Pufferfunktion in dieser Station behandelt werden, wobei aufgezeigt wird, dass auch bei Zugabe von saurer oder basischer Lösung, der pH-Wert annähernd konstant bleibt.

Als fünfter Schritt in der Erstellung des Lehrpfades wurden, ausgehend von den Möglichkeiten im Augarten, die Stationen inhaltlich und örtlich festgelegt. Bei manchen Stationen wurde mehrfach umdisponiert. Die Hintergründe und Überlegungen werden hier kurz dargelegt. Von vorüberlegten Stationen mussten jene Stationen ausgewählt und fixiert werden, die in Rücksicht auf die Ergebnisse der Bestandsaufnahme im Augarten umsetzbar sind. Eine Übersicht über die endgültigen Stationen finden sich im Kapitel 9.1 (Allgemeines über den Lehrpfad) in der Tabelle 1 (Themen und aktive Auseinandersetzungen der Stationen).

Im ursprünglich skizzierten Lehrpfad sollten die Stationen „*Es gibt saure und basische Lösungen*“ und „*Saure Lösungen reagieren mit Kalk*“ Ausgangsstationen sein. Dabei sollte sichergestellt werden, dass Schülerinnen und Schüler den sauren und basischen Lösungen in der Natur begegnen und die Theorie des Brønsted-Konzepts wiederholt wird, bevor weitere Phänomene betrachtet

werden. Diese Reihung wurde aufgehoben und stattdessen darauf geachtet, dass jede Station in sich erklärt wird.

Besonders die Inhalte der Stationen „*Kann auch der Boden sauer oder basisch sein?*“ wurden mehrfach verworfen und die Station neu überarbeitet. Eine Überlegung war es die Standortbedingung pH-Wert über Zeigerpflanzen nachzuweisen und anschließend über pH-Wert-Messungen der wässrigen Bodenproben, mittels Indikatorpapiers, die Annahmen zu prüfen. Leider waren die Zeigerpflanzen nicht entsprechend aufzufinden. Die Idee, die Böden durch Zeigerpflanzen zu bestimmen, wurde deshalb verworfen. Dann entstand die Überlegung unterschiedliche Bereiche des Augartens auf pH-Wert zu untersuchen, wobei Schotterwege, lockere Böden im Bereich der Hecken, festgetrampelte Böden, Trampelpfade durch die wilden Bereiche, lehmige Böden und ein Weg um den Flakturm zur Verfügung standen, da aus den gepflegten Bereichen keine Proben entnommen werden sollten. Die Versuche vor Ort zeigten, dass die pH-Werte der Böden zwar nicht alle gleich waren, aber die Abweichungen zu gering waren um die Bedeutung des pH-Wertes als Standortbedingung darzustellen. Um einen deutlich verschiedenen Boden-pH-Wert zu demonstrieren, hätten Nadelwaldböden als Vergleich gesetzt werden können. Diese hätten sich dann auch geeignet, um das Thema Neutralisationsreaktionen zu behandeln. Da jedoch kein Nadelwald in der Nähe ist, wäre es schwierig umzusetzen oder wiederum nur in rein theoretischer Form. So wurde beschlossen, den Vergleich außeracht zu lassen und die pH-Wert-Bestimmung zur Einordnung des Bodens in ein Schema von Bodentypen zu nutzen, bei denen die überwiegenden Ionenspezies zur Klassifizierung dienen und dadurch bestimmten pH-Werten zugewiesen werden. Die Böden hinter den Hecken können herangezogen werden um die Pufferfähigkeit von (Boden-)puffern, in diesem Fall von Carbonat-Puffern, zu testen. In einem zweiten Versuch wird darum die Pufferfähigkeit von Böden untersucht und die Bedeutung des Puffers für die Pflanzen dargelegt.

Die Station über Neutralisation und Neutralisationsreaktionen wurde nicht umgesetzt, da im Augarten kein entsprechendes Phänomen gefunden wurde.

Mangels offener Wasserstellen konnte nicht wie angedacht eine Station zu pH-Werten von Gewässern gemacht werden. Die Untersuchung von wässrigen Lösungen findet nun in den Stationen „*Untersuchung von Pflanzenasche*“ und „*Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?*“ statt. Die zweite Station wurde aufgesplittet und somit den sauren Lösungen allgemein und spezifisch den organischen Säuren zwei Stationen gewidmet. Es gibt darum die weiterführende Station „*In den sauren Apfel beißen*“.



1 „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“ 2 „In den sauren Apfel beißen“ 3 „Untersuchung von Pflanzenasche“ 4 „Farbenspiel mit Bedeutung“ 5 „Stephansdom und Schneckenhaus“ 6 „Kann auch der Boden sauer oder basisch sein?“

Institutionen des Augartens		Gastronomie	
1 Aktionsradius Wien www.aktionsradius.at	7 Wiener Sängerknaben/Augartenpalais 8 und Joseph-Stöckl 9 und Konzertsaal www.wsk.at	1 Bunkerei Augarten	
2 Kirche Muttergottes im Augarten www.factum-wien.at	10 Schloss Augarten/Porzellanmanufaktur	2 Café Restaurant Die Au	
3 Bunkerei Augarten/Veranstaltungslocation www.bunkeret.at	11 TBA21 Thyssen-Bornemisza Art Contemporary Augarten www.tba21.org	3 Café Restaurant Augarten	
4 Burghauptmannschaft Österreich www.burghauptmannschaft.at	12 Lauder Chabad Campus www.chabad.at	Kontakt+Info	
5 Bundesgärten www.bundesgaerten.at	13 Haus Augarten www.hauser-zum-leben.com	Bundesgärten /Gartenverwaltung: Tel. 214 47 57, www.bundesgaerten.at	
6 Filmarchiv Austria/Sommerkino www.filmarchiv.at		Burghauptmannschaft Österreich/ Gebäudeverwaltung: Tel. 536 49-0, www.burghauptmannschaft.at	

Der Augarten ist der älteste erhaltene Barockgarten Wiens und steht seit dem Jahr 2000 unter Denkmalschutz. Im Sinne einer konfliktfreien Nutzung und zum Schutz des Parks beachten Sie bitte die Parkordnung.

Abbildung 12: Standorte der Stationen im Augarten; Quelle: <https://www.eintrachtponyhof.com/sommer-augarten>

Bei der Festlegung der Orte der Stationen (siehe Abbildung 12) wurde auf die Verfügbarkeit der jeweiligen Phänomene und Naturmaterialien geachtet. Wichtig war, dass die Station „Farbenspiel mit Bedeutung“ an einer der Rosskastanienalleen platziert wird. Die Station „Kann auch der Boden sauer oder basisch sein?“ wurde an einem Ort fixiert, an dem mehrere verschiedene Böden in Reichweite sind, was für die aktuelle Station „Kann auch der Boden sauer oder basisch sein?“ jedoch unbedeutend ist. Die Station bei der Naturmaterialien in wässriger Lösung auf pH-Wert getestet

werden, wurde in der Nähe von einem der Trinkbrunnen angelegt, damit sich das Wasser für die Versuche in unmittelbarer Nähe befindet. Die Stationen „Untersuchung von Pflanzenasche“ und „Stephansdom und Schneckenhaus“ sollten in Bereichen bei den Hecken sein, damit die Schülerinnen und Schüler Zugriff zu Schneckenhäusern haben und Holz verfügbar ist, auch wenn es bei der Station „Untersuchung von Pflanzenasche“ nur zur Einstimmung dient. Zudem sollten die Stationen auch gut verteilt im Gelände sein, damit die einzelnen Schülerinnen- und Schülergruppen Raum und Möglichkeit zum eigenständigen Arbeiten haben und nicht miteinander kollidieren.

In einem sechsten Schritt wurden erste Stationen didaktisch ausgearbeitet und für die Webseite ausformuliert. Die grobe Struktur der Stationen ist durch den Chem-Track bereits gegeben.

Dem Aufbau von individuellem Interesse geht eine Entwicklung von aktuellem, situationalem Interesse voraus. Dabei lösen catch Faktoren, wie beispielsweise der Einsatz von digitalen Medien oder der Methode der Gruppenarbeit, kurzfristig Interesse an einem Gegenstand aus [...]. Diese Person-Gegenstand-Beziehung wird durch hold-Faktoren, wie beispielsweise ein Bezug zur Lebenswelt oder die aktive Teilnahme am Lernprozess aufrechterhalten, bis durch Verinnerlichung und Identifikation individuelles Interesse entsteht [...] (Engl, 2018, 7).

Die einführenden Texte sollen gemeinsam mit den entsprechenden Phänomenen in der Natur catch Faktoren bieten und dazu motivieren, der angebahnten Frage nachzugehen. Die Fragestellungen, sowie Bild- und Videomaterialien sollen wiederum das Interesse der Schülerinnen und Schüler halten und zur Selbsttätigkeit bei den Versuchen und Aufgaben animieren. Die Erklärungen sollen ein Verstehen des Erlebten ermöglichen. Es wurde dabei darauf geachtet, dass die Phänomenebene und die Teilchenebene getrennt erläutert werden, aber aufeinander zurückgeführt werden können. Die Verständlichkeit soll erleichtert werden, indem bei der Erklärung möglichst kleine Gedankenschritte gemacht werden. Zu Beginn steht die Beschreibung des Phänomens, dann eine Erklärung auf der stofflichen Ebene und schließlich eine Erklärung auf der Teilchenebene. Diese kann durch die Reaktionsgleichung verbildlicht werden. Als Hinführung zur Reaktionsgleichung kann eine Abstufung von Schreibweisen, etwa zunächst die Wortgleichung, stehen.

Wie im theoretischen Teil bereits beschrieben wurde, ist eine Quelle an Fehlvorstellungen das Vermischen von verschiedenen Ebenen oder Konzepten. Um dem Thema „Säuren und Basen“ gerecht zu werden, soll weder eine Vermischung der Konzepte, noch der Ebenen des „Chemical Triangle“ von Johnston stattfinden. Um ein tiefgreifendes Verstehen zu ermöglichen soll zunächst die Phänomenebene betrachtet und mittels Wortgleichung ausgedrückt werden. Anschließend soll ein Verstehen auf der Teilchenebene angestrebt werden. Die Erkenntnisse können dann durch die Formelsprache (in der Repräsentativen Ebene) formuliert werden. Dadurch soll ein Auswendiglernen, ohne zu begreifen, umgangen werden (Barke, 2015).

Als Schritt sieben wurden die ersten Stationen getestet. Da die Diplomarbeit ursprünglich als empirische Arbeit geplant war, sollte an dieser Stelle die Erhebung der Daten erfolgen. Dabei sollte die Expertenmeinung von Lehrerinnen und Lehrern bezüglich der Stationen erhoben werden. Die ersten vier Stationen sollten dabei auf stationenspezifische Ziele, zu erreichende Kompetenzen, aber auch auf Verständlichkeit der Texte, Angemessenheit des Anforderungsniveaus, Eignung für Outdoor-Erleben und ähnliches untersucht werden. Dafür wurde zunächst zu jeder der Stationen die Rohfassung eines Fragebogens erstellt und im Rahmen eines Diplomseminars fand eine erste Testung der Stationen und der entwickelten Fragebögen statt. Unter Berücksichtigung der Rückmeldungen wurden die Fragebögen und Stationen überarbeitet.

Im Schritt acht fand die Erhebung der Daten im Rahmen der Umwelt.Wissen.Schule Tagung im Rahmen eines Workshops statt. Da nicht alle angemeldeten Teilnehmer erschienen sind und die anwesenden Teilnehmer nicht jeweils alle Stationen machten, erlaubt die Erhebung nicht, wie geplant eine empirische Bearbeitung, da sie, mit einer Rückmeldung von bis zu acht Personen pro Station (insgesamt zwölf Teilnehmerinnen und Teilnehmer), nicht repräsentativ wäre. Es wurde deshalb beschlossen, dass das Feedback lediglich als Orientierung zur Überarbeitung der ersten Stationen, sowie bei der Entwicklung der weiteren Stationen dient. Die erhobenen Daten wurden also anschließend ausgewertet und für eine erneute Überarbeitung der Stationen herangezogen. Die Auswertung der Fragebögen wird im Kapitel 18 (Feedback über die Stationen und Diskussion) dargelegt und diskutiert.

Als neunter Schritt wurden in Folge auch die weiteren Stationen entwickelt. Dabei wurden, wie auch zuvor besonders die Möglichkeiten des Augarten berücksichtigt, mögliche Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler bedacht und die Versuche zu den Stationen getestet.

Die bereits getesteten Stationen wurden überarbeitet. Da die Rückmeldungen deutlich zeigten, dass die Erklärungen noch zu kompliziert formuliert waren, wurden diese in einer schlichteren Sprache ausformuliert.

Der Wunsch nach zusätzlichem Material für den Unterricht, wurde berücksichtigt, indem eine Überblicksseite (Link siehe Abbildung 13) erstellt wurde, auf der den Lehrenden die Intentionen aller Stationen, sowie eine Druckversion und ein Link zu jeder Station bereitgestellt wird. Zudem

wurden Ideen zur Vor- und Nachbereitung des Lehrpfades zusammengestellt. Diese Materialien wurden auf Grund des Umfanges der Arbeit nur skizziert, aber zumeist nicht ausgearbeitet, bzw. wurde auf bereits bestehendes Material verwiesen. Die Skizzierung der weiterführenden Materialien findet sich im Anschluss an die Didaktische Strukturierung der einzelnen Stationen im Kapitel 16 (Didaktische Strukturierung der Stationen).

Zudem wurden die Übergänge zwischen den Stationen entwickelt und ein stationenübergreifendes Ziel eingeführt. Die Schülerinnen und Schüler sammeln bei jeder Station die Teile aus einem Wortpuzzle, das zu einem Lösungssatz führt. Bei jeder Station wird durch Beantwortung einer Frage oder eines Quiz ein Bild eines Puzzlesteines mit einem Wort für den Lösungssatz freigegeben (siehe Abbildung 14). Diese Sammelaufgabe soll ein verbindendes Element über die Stationen schaffen, unabhängig davon bei welcher Station begonnen wurde. Zudem soll sie sicherstellen, dass die Stationen behandelt werden, da die Lösungsteile bei Beantwortung einer Frage über die Station angezeigt werden.

Detailliertere Angaben über Änderungen finden sich in der Diskussion im Kapitel 17.3 (Auswertung und Diskussion), sowie im Rahmen der Strukturierung der Stationen im Kapitel 16 (Didaktische Strukturierung der Stationen).

Im Zuge der Entwicklung ergaben sich Entscheidungen und Hintergründe, die es wert sind, genauer betrachtet zu werden. Unter anderem der Standort des Lehrpfades. Da der Boden in einer Station untersucht wird, ist die Entstehung, des heute terrestrischen Augartens aus dem ursprünglichen Auengebiet von Bedeutung, weshalb ein geschichtlicher Blick auf den Augarten geboten wird. Zudem ist interessant, wie der Augarten heutzutage genutzt werden kann und welche weiteren Bildungsangebote sich mit dem Lehrausgang vernetzen lassen würden. Deshalb wird der Augarten im folgenden Kapitel (Kapitel 11) auch aus heutiger Perspektive beleuchtet.



Abbildung 13: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/uebersicht-ueber-alle-stationen/>



Abbildung 14: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/farbe/richtig-farbe/>

11. Der Augarten als Ort des Lehrpfades



Abbildung 15: Gartenanlage, Flakturm

Der Augarten ist ein historischer Park (siehe Abbildungen 15 und 16). Um ein Verständnis für die Örtlichkeit zu ermöglichen wird die Entwicklung des Augartens kurz erläutert. Der Augarten entwickelte sich aus einem Auengebiet an der Donau in dem sich Kaiser Mathias (1612 bis 1619) ein kleines Jagdhaus erbaute. 1654-57 ließ Kaiser Ferdinand III daraus einen Garten anlegen, welcher von Kaiser Leopold I

1663 um die benachbarten Trautsonschen Gärten erweitert wurde. So entstand der barocke Lustpark, in dem ein Gartenpalais neu adaptiert wurde. Dieses Schlösschen wurde "Kaiserliche Favorita" und später die "Alte Favorita" genannt. Das erste von drei großen Zerstörungseignissen des Parks fand 1683 bei der zweiten Wiener Türkenbelagerung statt. Damals wurde die ganze Anlage so stark zerstört, dass nur noch die Mauern stehenblieben. Kaiser Joseph I ließ 1705 das Gebäude und den Park wiederherstellen. Der Augarten hat eine starke musikalische Konnotation, denn in der "Alten Favorita" fanden die berühmten Morgenkonzerte statt, die von Mozart und in späterer Folge auch von Schuppanzigh, (welcher die Werke von Beethoven hervorhob), dirigiert wurden. Ebenso wurden dort die viel besuchten 1. Mai-Konzerte mit Musik von Johann Strauß Vater gegeben. Von der "Alten Favorita" existiert heute noch die nordöstliche Abschlussmauer des Parks und das Gittertor, welche unter Denkmalschutz stehen. Alles andere wurde 1683 zerstört. Der Bezug zur Musik ist heute noch durch eine Privatschule der Wiener Sängerknaben direkt vor Ort deutlich. Gleich nebenan befindet sich die heutige Porzellanmanufaktur, sowie ein dazugehöriges Porzellanmuseum. Die Räumlichkeiten entstanden bei der Wiederherstellung des Parks durch Joseph II und wurden ursprünglich als ein Restaurantbetrieb erbaut.

Die Gartenanlage, die auch heute noch fast in gleicher Weise existiert, wurde 1712 unter Kaiser Karl VI von Jean Trehet im französischen Stil geplant. Die barocke Anlage setzt sich zusammen aus einem Parterregarten und mehreren Alleen, die von einem Sternplatz ausstrahlen. Vorbild dafür waren französische Gartenanlagen, wie auch die Gärten von Versailles.

Die Gartenanlage steht bis heute, obwohl zwei weitere zerstörende Ereignisse für Verwüstung sorgten und dem Garten neue Elemente beisteuerten. In der Nacht von 28. Februar auf 1. März 1830 erfasste ein Hochwasser den Augarten. Das Wasser stand durchgehend 1,75m hoch. Es kam von einem großen Donauarm, der damals noch direkt am Augarten angrenzte. Zwei Gedenktafeln erinnern an diese Katastrophe und an den Schiffsmeister Johann Lassingleithner, der in dieser

Nacht viele Menschen vor dem Ertrinken rettete. Ein weiteres Mal, und am schwersten, litt der Augarten unter Zerstörung zur Zeit des zweiten Weltkrieges. Dabei wurde im Augarten Schutt gelagert und es wurden die Flaktürme errichtet, die auch heute noch stehen. Für deren Bau wurden 16 Feldbahngleise im Augarten verlegt. Gemeinsam mit unzähligen Betonfundamenten, wurde der Augarten zu einer Barackenstätte. Während der Aprilschlacht dominierten Bombentrichter, Panzer und Tote das Bild des Augartens. Die Flaktürme sind ein Mahnmal dieser Zeit (Frey, 2019).

Heute bietet der Augarten vielfältige Möglichkeiten. Zunächst bietet der Augarten auch heute noch die kunstvoll angelegten Parkelemente der Blumenbeete. Die weiten Alleen, die zum Spazieren genutzt werden können, scheiden verschiedene Rasenstücke voneinander ab. Die Rasenflächen dürfen betreten werden und ausgewiesene Bereiche sind sogar für Ballspiele freigegeben. Weiters bietet er einen öffentlichen Spielplatz und einen abgegrenzten Hundebereich, die jeweils einen Wasseranschluss mit Trinkwasser haben. Ein Bereich ist für das Kinderschwimmbad abgegrenzt. Manche Wege durch den Augarten

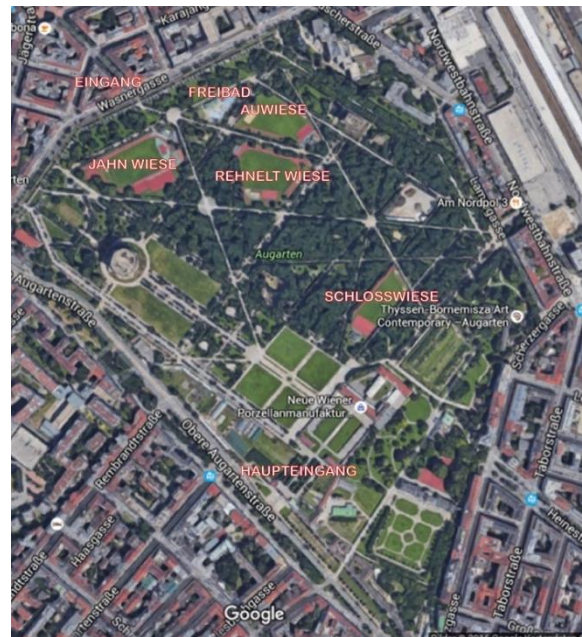


Abbildung 16: Augarten aus Vogelperspektive
Quelle: <https://www.eintrachtponyhof.com>

sind durch hohe Hecken begrenzt. Hinter diesen verbergen sich wilde Bereiche, in denen eine Vielzahl an Pflanzen und anderen Naturmaterialien zu finden sind. Kulturangebot wird durch das Porzellanmuseum und die Wiener Sängerknaben, sowie durch einen geschichtlichen Literatur-Lehrpfad gewährleistet (Frey, 2019). Die Schulexkursion kann also auch auf Fächer wie Musikerziehung, Bildnerische Erziehung oder Geschichte ausgeweitet werden, wenn die Anreise etwas weiter ist. Zu Mittag gibt es auch die Möglichkeit im Restaurant des Augartens zu essen. Der Augarten hat täglich von 6:30 bis 17:30 geöffnet. In den Sommermonaten Mai bis Juni ist bis 21:00 geöffnet. In den Übergangszeiten sind die Schließzeiten gestaffelt. Der Augarten ist einfach zu erreichen, da er an die öffentlichen Verkehrsmittel angebunden ist. Er kann mit der U-Bahn U2, dem Bus 5B, oder den Straßenbahnen 5, 33 und 31 angefahren werden (Frey, 2019).

Die Vorstellung des Standortes ist der letzte allgemeine Aspekt, der über den Lehrpfad dargelegt wurde, nun soll der Blick auf das Inhaltliche gelenkt werden.

12. Vorwissen zum Thema der „Säuren und Basen“

Zunächst wird betrachtet welche Inhalte für den Lehrpfad herangezogen werden können, um vertieft, gefestigt und weitergeführt zu werden. Dazu soll zunächst betrachtet werden wie das Thema der „Säuren und Basen“ im Lehrplan für die Unterstufe verankert ist. Dem folgt eine konkretere Betrachtung dessen, was Schülerinnen und Schüler als Vorwissen mitbringen könnten. Schließlich wird dargelegt wie die Inhalte im Lehrpfad herangezogen werden.

12.1. Lehrplaninhalte zum Thema Säuren und Basen

Der österreichische Lehrplan ist ein Rahmenlehrplan und deshalb sehr offengehalten. Zum Thema der „Säuren und Basen“ finden sich Informationen über den Lehrstoff der 4. Klasse im Kernbereich „Grundmuster chemischer Reaktionen“ (BFBWF, 2019, S.1). Drei Unterbereiche betreffen das Thema „Säuren und Basen“. Dabei sind die ersten beiden direkt auf das Thema bezogen. Es sind „Alltagsbezogenes Erkennen der Bedeutung saurer und basischer Lösungen“ und „Einsicht gewinnen in wichtige Eigenschaften und Reaktionen von Säuren, Basen und Salzen“ (BFBWF, 2019). Für die Betrachtung von organischen Säuren kommt der Unterbereich „Verständnis erlangen für typische Eigenschaften der wichtigsten funktionellen Gruppen“ (BFBWF, 2019) hinzu.

Das Thema „Säuren und Basen“ eignet sich auch um andere Kernbereiche zu behandeln, etwa im Bereich „Aufbauprinzipien der Materie“ (BFBWF, 2019) mit den Unterbereichen „Kennenlernen der chemischen Symbol- und Formelsprache“, sowie „Erwerb von Basiswissen über die Strukturen ausgewählter anorganischer und organischer Stoffe und einfachster Struktur – Wirkungsbeziehungen“ (BFBWF, 2019).

Zudem könnte auch der Kernbereich „Rohstoffquellen und ihre verantwortungsbewusste Nutzung“ (BFBWF, 2019) herangezogen werden, da der Lehrpfad als Outdoor Learning Gelegenheit sich auch den Rohstoffen und deren Behandlung widmen könnte. Dazu finden sich im Lehrplan folgende Unterbereiche „Erkennen von Luft, Wasser und Boden als Rohstoffquelle einerseits und schützenswerte Lebensgrundlage andererseits“, „Prinzipielles Verstehen von Umweltproblemen als Störung natürlicher Systeme“, „Erkennen der Bedeutung chemischer Methoden bei der Minimierung von Schadstoffen“ und „Erwerb von chemischen Grundkenntnissen in praxisrelevanten Gebieten wie Kleidung, Wohnen, Energiequellen und Energieversorgung, Verkehr und neue Technologien“ (BFBWF, 2019).

Da der Lehrplan relativ allgemein ist, werden als Nächstes Schulbücher als Quellen herangezogen, um konkreter darzustellen, welche Inhalte zum Thema „Säuren und Basen“ typischerweise behandelt werden könnten.

12.2. Konkretes Vorwissen der Schülerinnen und Schüler anhand der Quelle Schulbücher

Die Informationen aus den Schulbüchern dienen als Ersatz für eine Erhebung des Vorwissens von Schülerinnen und Schülern, um konkretere Vorannahmen treffen zu können. Drechsler und Van Driel schreiben, dass sich 85% von 281 Lehrerinnen und Lehrern in Schweden, bei ihren Unterrichtsvorbereitungen zum Thema „Säuren und Basen“ stark bis durchschnittlich viel am Schulbuch orientieren (Drechsler & Van Driel, 2009). Wenn dies auch für Lehrerinnen und Lehrer von Österreich zutrifft, kann dementsprechend über Schulbücher auch abgeschätzt werden, welche Inhalte von Lehrenden für den Unterricht herangezogen werden. Es wurden also die Inhalte von drei unterschiedlichen Schulbüchern herangezogen und zwar erstens von dem Buch „Stoffe, Chemie für die 4. Klasse“ (Magyar et al., 2014), zweitens von dem Buch „Treffpunkt – Chemie, für die 4.Klasse“ (Frühauf et al., 2008) und drittens von dem Buch „Deine Umwelt mit Expedition Chemie, Theorieteil 4“ (Haim et al.2016).

In diesem Kapitel soll zunächst transparent gemacht werden, was in Schulbüchern vorgefunden wurde. Die gewonnenen Einsichten über die dargestellten Inhalte der Bücher werden dazu tabellarisch zusammengefasst. Die Inhalte, die in allen Schulbüchern vorkommen, werden denen, die nur in einzelnen vorkommen, gegenübergestellt und in Stichworten zusammengefasst. Dazu werden die Inhalte, die in allen Schulbüchern vorkommen, in einer Zeile, die über die ganze Breite der Tabelle reicht, angegeben. Solche Inhalte, die nur in einem der drei Schulbücher angetroffen wurden, werden in einer von drei Spalten angegeben. Jede der drei Spalten steht für eines der drei Schulbücher und ist entsprechend benannt.

In den Schulbüchern für Sekundarstufe I kommen im Kapitel der „Säuren und Basen“ Inhalte zu „Säuren“, „Basen“, pH-Wert, Indikatoren und Neutralisationsreaktionen vor. Zu jedem dieser Inhalte wurde eine Tabelle angelegt. Die ersten vier sind für den Lehrpfad von Bedeutung.

In allen drei Büchern wird in einem ausführlichen Kapitel über „Säuren und Basen“ fast ausschließlich auf anorganische „Säuren und Basen“ eingegangen. Die vorgefundenen Inhalte finden sich in den Tabellen 2-6.

Tabelle 2: Inhalte zu Säuren und sauren Lösungen in Schulbüchern

„Säure“		
Treffpunkt- Chemie	Stoffe	Deine Umwelt mit Expedition Chemie
Säure wird zu: H^+ -Ionen, Säurerest-Ion		
Bei Reaktion mit Wasser → saure Lösung, Ionen + Wasserhülle		

Verursacht: sauren Geschmack und ätzende Wirkung, Ionen-Leitfähigkeit		
Eigenschaften saurer Lösungen: el-Leitfähigkeit, Lösen von unedlen Metallen (allgemeine Wortformel), Lösen von Kalk (als Wortformel oder gemischt Wortformel und Summenformel, Alltagsbezug zu Kalkreinigung), Änderung der Farbe des Indikators, ätzende Wirkung		
Reaktion der Protolyse an Beispielen, Abspaltung des Protons in Wasser mit Reaktionsgleichung		
„Säuren geben in wässriger Lösung Protonen ab.“ HNO_3 Wasser $\rightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$ Allgemein: Säureteilchen + Wasser $\rightarrow \text{H}^+ + \text{Säurerest-Ion}$	Abbildung: H-Atom spaltet sich zu H^+-Ion und Elektron „Heute weiß man, dass alle Säuren Wasserstoff-Ionen abgeben“ Bsp.: Salzsäure $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ Chlorid Essigsäure $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$ Acetat Dem folgen Bsp. für die Dissoziationsreaktion von mehrprotonigen Säuren	„Säuren sind Stoffe die bei einer Reaktion H^+-Ionen abgeben“ „Bei der Reaktion mit Wasser bildet sich eine saure Lösung“ Bsp.: HNO_3 Wasser $\rightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$ H_2CO_3 Wasser $\rightarrow 2 \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$
Anlagerung des Protons an Wasser zu Hydroniumionen mit Reaktionsgleichung $\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+$		
Tabelle: Namen und Formeln der wichtigsten Säuren, Name und Formel des Säurerests		
Tabelle: Nichtmetalloxid, Säure und Säurerest, je mit Namen und Formel	Tabelle: Säurenamen, Formel und Säurestärke Tabelle: Säure und Säurerest je mit Formel und Name, es sind jeweils drei der Felder frei zum Ausfüllen	Tabelle: Säure und Säurerest, je mit Namen und Formel
starke Säuren „zerfallen vollständig“ und bei schwachen Säuren „nur manche Säuremoleküle“ es führt zu verschiedener Leitfähigkeit		
Säurestärke wird bei Beschreibungen von Beispielsäuren erwähnt	Becherglasabbildung von starker und von schwacher Säure $\rightarrow$ zeigt den unterschiedlichen Protolysegrad (Brønsted Konzept), Säurestärke (mit Werten), Beispiele	Säurestärke wird bei Beschreibungen von Beispielsäuren erwähnt, z.B.: Kohlensäure ist eine schwache Säure, nur wenige H^+ -Ionen abgegeben.
Alltagsbezüge: saurer Geschmack in Früchten – Zitronensäure, andere Bsp. aus dem Alltag z.B.: Ascorbinsäure, Apfelsäure, Weinsäure, Kohlensäure, Milchsäure je an Beispielen des Alltags, Funktion der Haltbarkeit von Lebensmitteln: Säure gegen Mikroorganismen		
Salzsäure: Einsatz als Reinigungsmittel bei Kalkmörtel, und zur Entfernung von Oxidschichten auf Metallen, sowie als Magensäure zur Verdauungsförderung und Hemmung des Bakterienwachstums		
Herstellung von Salzsäure im Labor, Lösung von Hydrogenchloridgas in Wasser (Indikatorfärbung, Erhöhung der Leitfähigkeit)		

Mit Reaktionsgleichung der Herstellung von Salzsäure in Wortformel und mit Formelgleichung: Hydrogenchlorid in Wasser → Protonen + Chlorid-Ionen $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$		Salzsäure als Magensäure zur Verdauungsförderung: Magensäure, zur Abtötung von Bakterien, Eiweiß flockt aus, Verdauung von Eiweißen
Versuche: Testung von Lebensmitteln auf pH-Wert, Säure und Indikatoren – Eignung für Säurenachweis, Schneckenhaus und Salzsäure, Metalle (Mg, Cu, Fe, Zn) und verdünnte Salzsäure		
	Versuche: Kalk und saure Lösung, Leitfähigkeit von saurer Lösung, (starke/schwache)	
Herstellung von Säuren im Überblick: Nichtmetalle + Sauerstoff → Nichtmetalloxid + Wasser → Säure; Halogen + Wasserstoff → Hydrogenhalogenid + Wasser → Säure		
Herstellung, Besonderheiten, Bedeutung von beispielhaften Säuren		
Steckbrief: Aussehen, Verwendung, chemische Eigenschaften, Hinweise zu Schwefelsäure und Salpetersäure		

Tabelle 3: Inhalte zu Basen und basischen Lösungen in Schulbüchern

„Base“		
Treffpunkt- Chemie	Stoffe	Deine Umwelt mit Expedition Chemie
Base mit Wasser → Basereaktion und Hydroxidion, Ionen + Wasserhülle Verursacht: Eigenschaften von Basen, Leitfähigkeit, Vorkommen von Hydroxid-Ionen,		
OH^--Ionen sind verantwortlich für basische Lösung, ätzende Wirkung, typischen Geschmack		
fühlen sich seifig an (durch Zersetzen der Hornhaut), verändern die Farbe von Indikatoren, Reaktion von Metallhydroxiden mit Wasser, mit Reaktionsgleichung: Natriumhydroxid Wasser → Natrium-Ionen + Hydroxid-Ionen $\text{NaOH} \text{ Wasser} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$	Becherglasmodell: Lösungen von Natriumhydroxid zu Natronlauge (stark basisch). Lösen und Reagieren von Ammoniak mit Wasser zu Ammoniakwasser (schwach basisch) Reaktionsgleichung: Natriumhydroxid $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ Ammoniak: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$	„Basen sind Stoffe die mit Wasser Basenrest⁺-Ionen und OH^--Ionen bilden.“ Basereaction: $\text{OH}^- \rightarrow \text{Basereaction}^+ + \text{OH}^-$
Beispiele von Basen z.B als Tabelle (Basennamen und Formel, Basereaktion: Name und Formel, Name der basischen Lösung), mit Reaktionsgleichungen: Base mit Wasser		

Überblick über Entstehung von Basen: Metall, Metalloxyd, Metallhydroxyd + Wasser → Base		
Natronlauge: Alltagsbezüge: Herstellung von Zellstoff, Laugengebäck, Reinigung von Pfandflaschen, Herstellung von Aluminium, Herstellung von Seife		
Natriumhydroxyd - der Rohrreiniger : wasserlösliche feste weiße Plättchen, ätzend, Feststoff + Wasser → Natriumbase/Natriumlauge, zersetzt organische Verbindungen		

Tabelle 4: Inhalte zum pH-Wert in Schulbüchern

pH-Wert:		
Treffpunkt- Chemie	Stoffe	Deine Umwelt mit Expedition Chemie
gibt an wie sauer/ wie basisch eine Lösung ist.		
abhängig davon wie viele H ⁺ -Ionen und OH ⁻ -Ionen in der Lösung sind		
pH-Wert-Skala: 0-14, 7 neutral:		
gleich viele H ⁺ -Ionen wie OH ⁻ -Ionen: neutral, je saurer, desto mehr H ⁺ -Ionen: pH=2 bei 1L Wasser 10 mal so viele, wie bei pH=3 und 100 mal so viele, wie bei pH=4, je basischer desto mehr OH ⁻ -Ionen pH=12 bei 1L Wasser 10 mal so viele, wie bei pH=11 und 100 mal so viele, wie bei pH=10	Starke und schwache basische Lösungen. Durch Lösen von Hydroxidsalzen, (Laugen), bzw. durch Reaktion mit Wasser, Basenstärke proportional zum Ausmaß der OH ⁻ -Ionen Bildung Zusammenhang zwischen Ausmaß der OH-Ionen und dem pH-Wert. pH-Wert: pH-Wert einer sauren Lösung von Säurestärke und Konzentration abhängig Versuch: pH-Wert bei Änderung der Verdünnung	
Beispiele aus dem Alltag mit entsprechendem pH-Wert teilweise als Tabelle, teilweise als Zahlenstrahl, bzw. als Text		
Einordnung von pH-Werten von Alltagsbeispielen auf einem pH-Wert-„Zahlenstrahl“ (Essig, Kaffee, Milch, Meerwasser, Zitronensaft, Blut, Kalkwasser, Waschmittellösung, Seifenlösung, ...) Alltagsbezüge: Aquarium, Boden (Landwirtschaft und Gärtnereien), Säureschutzmantel, Magensäfte	pH-Skala mit den Farben des Universalindikators Tabelle mit Beispielsubstanzen und deren pH-Wert (verdünnte HCl, Magensaft, Wein, Kaffee, Milch, Meerwasser, Boraxlösung, Ammoniak-Lösung, verdünnte NaOH)	pH-Wert-Skala mit Farben des Universalindikators Tabelle mit pH-Wert, sauer/neutral/basisch und Beispielsubstanz mit fast den selben Beispielen, wie im Treffpunkt Chemie +Essig, Cola, Alltagsbezüge: pH-Werte in der Natur: Blut 7,4; Pflanzenwachstum abhängig von Boden pH-Wert (Erdäpfel 5-6,

		Zuckerrübe 7-8, Gewässer, Lebewesen 6-9)
Versuche: pH-Werte von Lebensmitteln testen, Vergleich der Vorteile von pH-Metern und Indikatorpapier	Versuch: vergleichende Messung des pH-Werts mittels Indikatorpapiers und pH-Meter von Essig und verdünntem Essig	
Messungen: mit pH-Meter, Universalindikator		

Tabelle 5: Inhalte zu Indikatoren in Schulbüchern

Indikator		
Treffpunkt- Chemie	Stoffe	Deine Umwelt mit Expedition Chemie
Farbe je nach pH-Wert		
Bild von Indikatorpapier, Erklärung der Herstellung	(oft nur zwei Farben) Universalindikator: Mischung vieler Indikatoren Abbildung von pH-Wert Skalen mit verschiedenen Indikatoren und ihren jeweiligen Farben Methylorange, Methylrot, Lackmus, Mischindikator Methylrot/Methylenblau, Thymolblau, Phenolphthalein	Farbe im Sauren, Neutralen, Basischen Bromthymolblau: gelb, grün, blau; Phenolphthalein: farblos, pink; Methylorange: rot, orange, orange. Verfälschung bei Eigenfärbung der Lsg.
Rotkraut (sauer-rot, basisch-blau) Farbstufen auf einer pH-Wertskala		
Abbildung: Rotkraut, auf das eine Zitrone ausgepresst wird, Farbumschlag ist zu sehen	Naturstoffe können als Indikator wirken, (Schwarztee)	Farbspiel in der Natur: Klatschmohn (sauer, rot), Kornblume (basisch, blau) trotz gleichem Farbstoff „Viele Pflanzen und Blüten enthalten Farbstoffe, deren Farbe sich je nach pH-Wert ändern kann.“ Lungenkraut (junge Blüten, niedriger pH-Wert - rot, je älter, basischer - blau)

Tabelle 6: Inhalte zur Neutralisationsreaktion in Schulbüchern

Neutralisationsreaktionen:		
Treffpunkt- Chemie	Stoffe	Deine Umwelt mit Expedition Chemie
„Neutralisation“: H^+ -Ion der Säure und OH^- -Ion der Base reagieren zu Wasser. Kation der Base und Anion der Säure bleiben in wässriger Lösung zurück.		

Unter dem Aspekt Abfallbeseitigung: Reaktion: $\text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{Na}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$, Energie wird frei, (Natriumchlorid-lösung, nur nach Eindampfen kristallin) eigentliche Reaktion: $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ Säure + Base $\rightarrow$ Salz + Wasser Abbildung: rote (Salzsäure) + blaue Lösung (Natronlauge) ergibt grüne Lösung	Becherglasmodell der Reaktion Edukte: $(\text{H}^+, \text{Cl}^-)$ $(\text{Na}^+, \text{OH}^-)$ Reaktion: $(\text{H}^+ + \text{OH}^-) \rightarrow (\text{H}_2\text{O})$ Produkte: $(\text{H}_2\text{O}, \text{Cl}^-, \text{Na}^+)$ Reaktionsgleichung: NaOH (Base) $+ \text{HCl}$ (Säure) $\rightarrow \text{H}_2\text{O}$ (Wasser) $+ \text{NaCl}$ (Salz)	Abbildung: blaue Lösung (Base) und rote Lösung (Säure) wird graue Lösung (mit Fragezeichen) Säure + Base $\rightarrow$ Salz + Wasser „Schema einer Neutralisation“: Basereist-OH + H-Säurerest $\rightarrow$ Basereist-Säurerest + H_2O Beispielreaktionen mit geschwungenen Pfeilen zwischen gemeinsam reagierenden Atomen der verschiedenen Verbindungen $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl}$ (Natriumchlorid) $+ \text{H}_2\text{O}$
Tabelle: Name, Formel der Säure, Name, Formel eines Salzes		Tabelle: Base, Säure, Formel des Salzes, Name des Salzes
Versuche: (Indikatoren + saure und basische Lösungen, Neutralisationsreaktion mit Phenolphthalein und anschließendem Eindampfen)		
Übung: Richtigstellen von Reaktionsgleichungen von Neutralisationsreaktionen.		
Alltagsbeispiele: Abwasser Abfallbeseitigungsgesetz, Chemielabor (Abfälle)		
Salzbildung als Querverbindung zur Kristallographie: Entstehung, Abbildungen der Kristalle, Reaktionsgleichungen Bsp.: $\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$		Alltagsbezug Geschirrspüler (basisches Geschirrspülmittel, saurer Klarspüler), Milchsäure (aus Zucker, durch Milchsäurebakterien) durch zuckerfreie Kaugummis (alkalisch) neutralisiert

Jedes der Bücher hatte aber auch in einem Kapitel über organische Verbindungen die organischen Säuren unter dem Blick der funktionellen Gruppe der Carboxygruppe enthalten. Das Paradebeispiel war in allen der drei Fällen der Weingeistessig. Tabelle 7 zeigt auf welche Inhalte sich über organische Säuren in den Schulbüchern finden.

Tabelle 7: Inhalte zu organischen Säuren in Schulbüchern

Organische Säuren		
Treffpunkt- Chemie	Stoffe	Deine Umwelt mit Expedition Chemie
Vorstellung der funktionellen Gruppe der Carboxygruppe Beispiele von Säuren, IUPAC-Namen, Bedeutung, Vorkommen und Struktur, sowie Formel und Skelettschreibweise und Kalottenmodell		

Kapitel „Alkohol, Essig, Ester-wichtige Stoffe in Alltag und Technik“ (Entstehung von Säure aus Alkohol, bei Oxidation, zB.: durch Essigsäurebakterien)	Kapitel „Aus Weingeist entsteht Essig“ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$ Kapitel „Carbonsäuren sind eine Stoffklasse“ Kapitel „Ester entstehen aus Alkoholen und Carbonsäuren“	Kapitel „Carbonsäuren und Ester“ Kapitel „Seifen - Salze von Carbonsäuren“
Vorkommen, Entstehung und Verwendung von Essigsäure, Buttersäure Alkoholische Gärung, Essig Gärung		
Vorkommen, Entstehung und Verwendung Ameisensäure		Vorkommen, Entstehung und Verwendung Ameisensäure
Alltagsbeispiele: Sorbinsäure, Oxalsäure, Milchsäure, Weinsäure, Citronensäure (Vorkommen, Struktur, typische Eigenschaften, Strukturformel, Abbildung eines Beispiels des Vorkommens zB.: Milchsäure im Sauerkraut ...)	Alltagsbeispiele Joghurt - Milchsäure, Früchte - Apfelsäure, Weinsäure, Citronensäure	
COOH-Gruppe, als funktionelle Gruppe mit Strukturformel homologe Reihe der Carbonsäuren		
Tabelle mit Namen, Trivialname, vereinfachter Strukturformel, Schmelztemperatur, Siedetemperatur und Löslichkeit	Strukturformel von Methansäure, Ethansäure und Butansäure Ausgewählte Bsp. mit Skelettformel und Kalottenmodell der Strukturen, gesättigte und ungesättigte Fettsäuren	Tabelle mit Namen, Trivialname, vereinfachter Strukturformel
Reaktion: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$		
Reaktionsgleichung auch in Strukturformel	Reaktionsgleichung auch in Strukturformel	Alkohol (Wein) reagiert mit Sauerstoff zu Essigsäure und Wasser $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$
	Protolysereaktion: $\text{R-COOH} \rightarrow \text{R-COO}^- + \text{H}^+$	Protolysereaktion: $\text{CH}_3\text{COOH} \xrightarrow{\text{Wasser}} \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$ (wirkt sauer)
Esterbildung:		
Säure reagiert mit Alkohol zu Ester und Wasser $\text{R-CH}_2\text{OH} + \text{ROH} \rightarrow \text{RCOOR} + \text{H}_2\text{O}$		
Reaktion als Strukturformel mit Markierung von OH, H und H ₂ O, Erklärung einer Kondensationsreaktion	Reaktionsgleichung auch mit Strukturformeln Strukturformel und Name mit gleicher farblicher Markierung	Allgemein: Säure reagiert mit Alkohol zu Ester und Wasser $\text{R-CH}_2\text{OH} + \text{ROH} \rightarrow \text{RCOOR} + \text{H}_2\text{O}$

Tabelle (Estername, Formel, Verwendung)	des Teils aus der Säure und aus dem Alkohol. Versuchsanleitung: Esterherstellung	Bsp.: Essigsäure reagiert mit Methanol zu Essigsäuremethylester und Wasser $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
Alltagsbezug und Beispiele von Estern		
Ester als Duft und Aromastoffe, Wachse, Lösungsmittel, Fette, mit Abbildung und Beschreibung	Beispiel von Estern als Duftstoffe von Früchten, Abbildung und Wissenschaftlicher Name	Tabelle mit Namen des Esters, Aromenote, Bild der Frucht
Esterspaltung: Ester + Wasser $\rightarrow$ Säure + Alkohol		
Salzbildung/ Seifenbildung		
	Salzbildung, Bsp.: Seife, Lactat, Citrat Skelettformeln und Kalottenmodell von Fettsäuren - gesättigte und ungesättigte	Salzbildung/ Seifenbildung Fett + Base $\rightarrow$ Seife + Wasser Strukturformel eines Seifenmoleküls

Nachdem die Inhalte offengelegt wurden, die in den Schulbüchern vorgefunden wurden, werden nun in Tabelle 8 die benötigten Vorkenntnisse für den Lehrpfad, sowie der Einsatz im Lehrpfad angegeben. Die linke Spalte fasst stichwortartig die Inhalte zusammen, die aufgrund der Schulbücher als Vorwissen angenommen werden können und für den Lehrpfad benötigt werden. In der rechten Spalte wird gegenübergestellt, wie das Wissen im Lehrpfad aufgegriffen und weitergeführt bzw. vertieft wird.

Tabelle 8: Vorkenntnisse für den Lehrpfad

Vorkenntnisse über „Säuren“	Einsatz im Lehrpfad
- Saure Lösungen, mit Reaktion von Säure-Teilchen mit Wasser-Molekülen zu Säurerestanion und Hydroniumionen „Säuren“: Fähigkeit Protonen abzugeben - In sauren Lösungen: mehr aquatisierte Protonen als aquatisierte Säurerestionen/ Basen.	- Definition nach Brønsted - Erklärung mit Bezug auf die Protolysereaktion - Betonung gemeinsamer Funktion von organischen und anorganischen Säuren als Protonendonatoren - Carboxygruppe als charakteristische Gruppe der organischen Säuren - Bedeutung organischer Säuren für Pflanzen - Saure Lösungen in Reaktion mit Kalk
Vorkenntnisse über „Basen“	Einsatz im Lehrpfad
- Basische Lösungen, mit Reaktion von Base-Teilchen mit Wasser-Molekülen zu Hydroxidionen und Basenrestkation - Basen: Fähigkeit Protonen aufzunehmen	- Basendefinition nach Brønsted - Basen als Protonenakzeptoren - Untersuchung von Pflanzen- oder Holzaschelösung auf ihren pH-Wert

• In basischen Lösungen: mehr aquatisierte Säurerestanionen/ Basen als aquatisierte Protonen	• Entstehung der basischen Wirkung von Pottasche und Vergleich zu saurer Wirkung in pflanzlichen Lösungen
Vorkenntnisse über den pH-Wert	Einsatz im Lehrpfad
• gibt Auskunft darüber wie sauer oder basisch eine Lösung ist • als Maß für die H^+-Ionen-Konzentration/„die Menge an H^+-Ionen und OH^--Ionen“ in einer Lösung • pH-Wert-Skala mit pH-Werten von Lösungen von 0-14, Lösung mit dem pH-Wert -sieben ist neutral, -unter sieben ist sauer, -über sieben ist basisch • Messung mittels pH-Meter oder Universalindikator	• nur qualitativer Begriff benötigt • Durchführen von pH-Wert-Messungen • Beurteilung von wässrigen Lösungen als saure oder basische Lösungen
Vorkenntnisse über Säure-Basen-Indikatoren	Einsatz im Lehrpfad
• als „Anzeiger“ • spezifische Farbe in Abhängigkeit des pH-Werts • indikatorspezifischer Umschlagsbereich • Universalindikator: weist bei jedem pH-Wert eine andere Farbe auf (Beispiel: Rotkrautsaft)	• Naturstoffe, die als Indikatoren wirken • Testen von Farbstoffen aus der Natur und beurteilen, ob diese als Indikator wirken können • Wiederholung von Bedeutung und Funktion von Indikatoren • Aufzeigen von Beispielen aus der Natur
Allgemeine Vorkenntnisse	Einsatz im Lehrpfad
• Ionenbegriff • Lesen von Reaktionsgleichungen, Summenformeln und Strukturformeln und Skelettschreibweise	• Reaktionsgleichungen zu den Versuchen in Wort und Ionenschreibweise • Darstellung von organischen Verbindungen (Inhaltsstoffe eines Apfels) im Besonderen Organische Säuren

Zunächst soll betrachtet werden, welche drei Inhalte Schülerinnen und Schüler für den Lehrpfad über Säuren und saure Lösungen kennen sollen. Schülerinnen und Schüler sollen erstens wissen, dass „Säuren“ Protonen abgeben können. Sie sollen zweitens wissen, dass sauren Lösungen die Reaktion von Säure-Teilchen mit Wasser-Molekülen zugrunde liegt und drittens, dass in sauren Lösungen mehr aquatisierte Protonen als aquatisierte Hydroxidionen vorliegen.

Für den Lehrpfad sollen die Schülerinnen und Schüler Beispiele für „Säuren“ kennen und wissen, dass diese in der Lage sind Protonen abzugeben. In den Schulbüchern wird die zentrale Aussage vermittelt, dass Säuren H^+ -Ionen abgeben und ein Säurerest-Ion zurückbleibt. Jedes der drei Bücher beinhaltet Reaktionsgleichungen der Ionisierung von Säuren. Die Beispiele, an denen diese abgebildet wird, variieren. In einem Buch ist dies auch als allgemeine Reaktionsgleichung dargestellt. In den betrachteten Schulbüchern ist jeweils die Abspaltung des Protons in Wasser mittels Reaktionsgleichung dargestellt. Nur in einem wird auch die Anlagerung des Protons an Wasser zu Hydroniumionen aufgezeigt. Es wird nicht explizit genannt welches Säure-Basen-Konzept genutzt wird. Die Fähigkeit ein Proton abzuspalten wird jedoch verdeutlicht.

Organischen Säuren sind Schülerinnen und Schüler im Rahmen des Themas der „Säuren und Basen“ möglicherweise über Alltagsbezüge begegnet. Typische Beispiele sind Zitronensäure, Ascorbinsäure, Apfelsäure, Weinsäure, Kohlensäure oder Milchsäure. Sie werden über ihren sauren Geschmack in Früchten, konservierende Wirkung von Lebensmitteln durch die Wirkung gegen Mikroorganismen vorgestellt (Frühauf & Tegen, 2008).

Die organischen Säuren können aber auch über den organischen Kontext eingeführt werden. In allen drei Schulbüchern für die Sekundarstufe I war auch im Kontext der organischen Chemie etwas über organische Säuren zu finden. Das Paradebeispiel, an dem organische Säuren eingeführt werden, ist in allen der drei Büchern der Weingeistessig. Es wird z.B. im Kapitel „Aus Weingeist wird Essig“ die Entstehung von Säure durch Oxidation von Alkohol, durch Essigsäurebakterien und die Esterbildung durch die Reaktion von Säure mit Alkohol, erklärt. Diese Reaktion ist auch historisch bedeutsam, da sie bereits aus der Antike bekannt ist (Schanze, 2001). In den Büchern wird bei der Einführung der organischen Säuren auch jeweils die funktionelle Gruppe der Carboxygruppe vorgestellt. In den Schulbüchern werden von organischen Säuren auch Beispiele mit IUPAC-Namen, Bedeutung, Vorkommen und Struktur, sowie Formel- und Skelettschreibweise und die Darstellung im Kalottenmodell dargelegt. Zum Teil werden auch Schmelz- und Siedetemperatur und Löslichkeit genannt. Zudem werden je nach Buch verschiedene Alltagsbezüge hergestellt. Z.B. wird gezeigt, dass Ameisensäure zum Beizen, Imprägnieren, und Entkalken, Propansäure für Duftaromastoffe, oder Essigsäure für Bindemittel in Farben und Lacken und als Lösungsmittel in Klebstoffen genutzt wird. Doch nur in einem von drei Schulbüchern wird die Funktion einer organischen Säure Protonen abzugeben aufgegriffen und in einem erwähnt.

Das Zweite, das Schülerinnen und Schüler über Säuren und saure Lösungen wissen sollen ist, dass sauren Lösungen eine Reaktion von Säure-Teilchen mit Wasser-Molekülen zugrunde liegt.

Jedes der herangezogenen Schulbücher beinhaltet die Reaktion einer „Säure“ mit Wasser und die dabei resultierende saure Lösung. Weiters wird gezeigt, dass die entstanden Ionen von Wassermolekülen umhüllt werden. In diesem Zusammenhang werden typische Eigenschaften von sauren Lösungen genannt. Dabei werden die elektrische Leitfähigkeit, sowie die Fähigkeit unedle Metalle zu ätzen und Kalk zu lösen auch mittels Reaktionsgleichung angegeben. Manche Bücher geben auch die Änderung der Farbe des Indikators, sowie ätzende Wirkung oder sauren Geschmack mit an.

Die Eigenschaften der Leitfähigkeit und die Fähigkeit unedle Metalle zu ätzen werden im Lehrpfad nicht behandelt und hier deshalb nicht näher betrachtet. Die Eigenschaft von sauren Lösungen, die Farbe des Indikators zu beeinflussen, wird in diesem Kapitel bei der Betrachtung des Indikators

besprochen, da sie dabei analog auch für basische Lösungen betrachtet werden kann. In diesem Abschnitt wird zu sauren Lösungen die typische Reaktion mit Kalk betrachtet.

Die Eigenschaft, dass saure Lösungen mit Kalk reagieren, wird in den Schulbüchern auf der Substanzebene betrachtet. Anschließend werden Reaktionsgleichungen als Wortformel und Summenformeln angegeben (Frühauf & Tegen, 2008). Es ist nicht angegeben, welches Säure-Basen-Konzept dabei genutzt wird. Es wird dabei von „Säure“ und nicht von saurer Lösung gesprochen. Dass von „Säure“ gesprochen wird und die Substanz betrachtet wird, weist auf das Arrhenius-Konzept hin. Dass die Eigenschaft des Kalklösens betrachtet wird, weist wiederum auf die frühen Modelle hin. Um dem Brønsted-Konzept zu entsprechen wird im Lehrpfad von sauren Lösungen gesprochen. Es wird Wert darauf gelegt Säuren und saure Lösungen zu unterscheiden.

Das Dritte, das die Schülerinnen und Schüler über Säuren und saure Lösungen wissen sollen, ist, dass mehr aquatisierte Protonen vorliegen als aquatisierte Hydroxid-Ionen. Dieser Aspekt wird in diesem Kapitel im Zusammenhang mit dem pH-Wert besprochen.

Analog zum Vorwissen über Säuren und saure Lösungen sollen die Schülerinnen und Schüler über Basen und basische Lösungen wissen, dass diese Protonen aufnehmen können, dass Basen in der Reaktion mit Wasser basische Lösungen bilden und dass in basischen Lösungen mehr aquatisierte Hydroxid-Ionen vorliegen als aquatisierte Protonen.

Basen werden in Schulbüchern häufig entsprechend der Arrhenius-Definition vorgestellt, ohne jedoch ein explizites Konzept zu benennen. Es wird erläutert, dass Basen in Wasser OH^- -Ionen bilden, die für die basische Wirkung von basischen Lösungen verantwortlich sind. Es wird darin vermittelt, dass basische Lösungen durch Lösen von Hydroxidsalzen in Wasser bzw. durch Reaktion von „Basen“ mit Wasser entstehen. Es wird genannt, dass basische Lösungen auch Laugen heißen. Zudem wird erklärt, dass OH^- -Ionen für basische Eigenschaften wie Leitfähigkeit, ätzende Wirkung, sowie deren typischen Geschmack verantwortlich sind. Für den Lehrpfad sollen Schülerinnen und Schüler über basische Lösung wissen, dass mehr aquatisierte Hydroxid-Ionen als aquatisierte Protonen vorliegen.

In einem Buch werden „Basen“ entsprechend den früheren Konzepten anhand klassischer Merkmale vorgestellt. Dazu gehört die Eigenschaft, dass Basen seifig sind, und dass sie die Farbe von Indikatoren verändern, oder spezifischer, dass Basen Lackmus blau färben (Frühauf & Tegen, 2008).

Wie bei den Säuren sind auch Beispiele von Basen in Tabellen angeführt, die den Basennamen die Summenformel, das Basenrestion mit Namen, die Summenformel und den Namen der basischen Lösung enthalten. Jedes der untersuchten Schulbücher enthält auch Reaktionsgleichungen einer

Base mit Wasser. Typischerweise wird die Natronlauge vorgestellt. Zu dieser werden Alltagsbezüge, wie die Bedeutung der Lauge für Laugengebäck und für die Reinigung von Pfandflaschen oder für die Herstellung von Aluminium, von Zellstoff und von Seifen genannt. Es wird auch Natriumhydroxid als Feststoff vorgestellt, der mit Wasser zur Natriumlauge reagiert. Die ätzende Wirkung und die Fähigkeit organische Verbindungen zu zersetzen, wird in der Anwendung als Rohrreiniger vermittelt.

In einem Schulbuch wird zudem ein Überblick über die Entstehung von „Basen“ gegeben. Dabei steht geschrieben, dass Metalle, Metalloxide und Metallhydroxid jeweils mit Wasser zu Basen führen.

Aus der Schule sollten die Schülerinnen und Schüler bereits wissen, dass ein Säure-Basen-Indikator als „Anzeiger“ genutzt wird (Hau & Fromm, 2007), der in Abhängigkeit des pH-Werts eine spezifische Farbe aufweist. Häufig weisen Indikatoren nur zwei Farben auf. Sie haben einen indikatorspezifischen Umschlagsbereich, in dem ein Farbumschlag stattfindet. Typische Beispiele sind Bromthymolblau, Phenolphthalein, Methylorange. Die Schülerinnen und Schüler sollten auch wissen, dass ein Universalindikator bei jedem pH-Wert eine andere Farbe aufweist. Deshalb können Universalindikatoren zum Messen eines pH-Wertes genutzt werden. Während durch Säure-Basen-Indikatoren mit einem einzigen Umschlagsbereich nur festgestellt werden kann, ob eine Lösung den pH-Wert über oder unter dem Umschlagsbereich hat. Für Universalindikatoren findet sich in allen drei Büchern das Beispiel von Rotkrautsaft.

Es wurden bis jetzt drei von vier Inhalten zum Thema der „Säuren und Basen“ betrachtet, über die Schülerinnen und Schüler Vorwissen haben sollten. Der vierte Inhalt, der nun betrachtet wird, ist der pH-Wert.

Die Schülerinnen und Schüler sollen über den pH-Wert wissen, dass er darüber Auskunft gibt, wie sauer oder basisch eine saure oder basische Lösung ist. Es ist auch gut, wenn die Schülerinnen und Schüler Bescheid wissen, dass der pH-Wert ein Maß für die Konzentration der H^+ -Ionen-Konzentration ist. In den Schulbüchern wird der Begriff Konzentration umgangen und stattdessen über die Menge an H^+ -Ionen, sowie OH^- -Ionen in der Lösung geschrieben. Mit großer Wahrscheinlichkeit kennen die Schülerinnen auch die pH-Wert-Skala, bei der Beispiele aus dem Alltag zu den pH-Werten von null bis vierzehn zugeordnet werden. Die Schülerinnen und Schüler sollen wissen, dass Lösungen mit dem pH-Wert sieben neutral sind, Lösungen mit einem pH-Wert unter sieben sauer und über sieben basisch sind. In Schulbüchern steht auch, dass pH-Werte mittels pH-Meter oder Universalindikator gemessen werden können.

Das Vorwissen und die möglichen Wiederholungen und Vertiefungen zum Thema der „Säuren und Basen“ wurden nun behandelt. Die Schülerinnen und Schüler sollten jedoch noch weitere Vorkenntnisse haben, die sich nicht speziell auf „Säuren und Basen“ beziehen.

Bei dem Lehrpfad bietet jede Station eine Erklärung der betrachteten Phänomene auf der Teilchenebene. Hier werden für das Verständnis etwas mehr Vorkenntnisse benötigt als bei den Versuchsdurchführungen und Untersuchungen. Ist dieses Wissen nicht gegeben, kann es sein, dass Details der Erklärung nicht erfasst werden, die Gesamtaussage, sowie die Quervernetzungen zwischen „Säuren und Basen“ zu Alltag oder Natur können voraussichtlich trotzdem hergestellt werden.

Für die theoretische Aufarbeitung der aufgegriffenen Phänomene wird ein Verstehen des Ionenbegriffes benötigt. Um die Säure-Basen-Reaktionen, sowie die Funktionsweise von Indikatoren auf der Teilchenebene verstehen zu können, muss den Schülerinnen und Schülern der Ionenbegriff vertraut sein. Es sollte ihnen zudem klar sein, dass in sauren und basischen Lösungen hydratisierte Ionen vorliegen.

Bei den Erklärungen und beim interaktiven Teil einer Station wird auch die Kenntnis der Symbol- und Formelsprachen vorausgesetzt, für das Erkennen von Strukturen oder das richtige Erfassen von Reaktionsgleichungen. Im Lehrpfad werden teilweise auch Strukturformeln und Skelettschreibweise genutzt, da durch diese die Abgabe von Protonen von organischen Säuren deutlicher zu erkennen ist als bei Summenformeln. Für den Fall, dass die Schülerinnen und Schüler damit nicht vertraut sind, gibt es für die Formelschreibweise entsprechende Erklärungen.

12.3. Verweis auf die Schülerinnen- und Schülerperspektive

Nachdem zum Thema „Säuren und Basen“ die Inhalte des österreichischen Lehrplans genannt wurden und verdeutlicht wurde welche Lehrinhalte die Schülerinnen und Schüler konkret unterrichtet worden sein könnten, wäre es interessant zu betrachten, welche Vorstellungen die Schülerinnen und Schüler zu dem Thema haben. Diese Vorstellungen wurden bereits im ersten Teil der Arbeit behandelt. Diese können im Kapitel 7 (Perspektive von Schülerinnen und Schüler zum Thema der „Säuren und Basen“) gelesen werden.

Im folgenden Kapitel wird dargestellt welches Vorwissen aufgegriffen und wie es im Lehrpfad vertieft, gefestigt und erweitert wird.

12.4. Weiterführungen und Vertiefungen im Lehrpfad

Im Lehrpfad werden Säuren nach Brønsted definiert und dementsprechend wird die Fähigkeit von Säuren Protonen abzugeben betont. Das Prinzip der Protolyse wird einerseits als allgemeine Reaktion, andererseits am Beispiel für die Bildung der Salzsäure und schließlich auch am Beispiel von organischen Säuren dargestellt. Die Schülerinnen und Schüler sollen also die Ionisierungsreaktion von Säuren bereits kennen. Diese wird wiederholt und gezeigt, dass diese auch für organische Säuren analog verläuft. Es wird die Gemeinsamkeit der organischen Säuren mit anorganischen Säuren in ihrer Funktion als Protonendonatoren hervorgehoben. Die Analogie zwischen anorganischen Säuren und organischen Säuren, in ihrer Wirkungsweise als Brønsted-Säure, ist der Hauptaspekt, unter dem die organischen Säuren im Lehrpfad herangezogen werden.

Auf der Fähigkeit von organischen Säuren Protonen abzugeben, soll im Rahmen des Lehrpfades die Betonung liegen. Es wird für den möglichen Fall, dass das Thema der Organischen Verbindungen noch nicht besprochen wurde auch die funktionelle Gruppe der Carbonsäuren vorgestellt. Es werden zu organischen Säuren ausschließlich die beiden Aspekte „funktionelle Gruppe“ und „Fähigkeit Protonen abzugeben“ behandelt. Dabei soll die Analogie zu den Brønsted-Säuren aus der anorganischen Chemie deutlich gemacht werden.

Im Lehrpfad werden auch die konservierende Wirkung und der Schutz vor Mikroorganismen aufgegriffen und die Bedeutung der organischen Säuren für die Pflanzen erläutert.

Bei den Versuchen im Lehrpfad werden saure Lösungen betrachtet. Im Zuge der Erklärung des Versuches wird das Säure-Basen-Konzept nach Brønsted wiederholt bzw. kurz erläutert und beispielhaft eine Reaktionsgleichung von Säure-Teilchen mit Wasser-Molekülen abgebildet.

Im Lehrpfad wird die Eigenschaft von sauren Lösungen Kalk zu lösen in einer Station aufgegriffen und an Schneckenhäusern, die im Augarten gefundenen werden, durchgeführt. Möglicherweise kennen die Schülerinnen und Schüler den Versuch an anderen kalkhaltigen Materialien oder tatsächlich auch schon am Schneckenhaus. Im Lehrpfad wird die Nachweisfunktion der Reaktion betont und mit saurer Lösung an Schneckenhäusern und Gesteinen getestet. Das bedeutet, je nachdem welches Material sie vor sich haben, fällt der Nachweis positiv oder negativ aus. Es ist die Aufgabe der Schülerinnen und Schüler, den entsprechenden Rückschluss zu ziehen, ob ihre Probe kalkhaltig ist oder nicht. Das Schneckenhaus dient dabei als Vergleichsprobe für den Positiv-Nachweis.

Im Lehrpfad soll die Basendefinition nach Brønsted verwendet werden. Es ist möglich, dass die Schülerinnen und Schüler „Basen“ noch nicht als Protonenakzeptoren kennengelernt haben. Wenn dem so ist, soll bei dem Lehrpfad der Begriff der „Base“ um diesen Aspekt erweitert werden.

Für den Lehrpfad wird eine Pflanzen- oder Holzaschelösung auf ihren pH-Wert untersucht. Die Entstehung der basischen Wirkung wird über die Metallionen (aus den Pflanzenzellen) und Metalloxidionen (aus Produkten der Verbrennung) und Bildung von basischen Lösungen in Wasser erklärt.

Schülerinnen und Schüler sollten für den Lehrpfad nicht nur über Säuren und saure Lösungen, sowie Basen und basische Lösungen Vorwissen haben, sondern auch über Indikatoren.

Bei dem Lehrpfad wird Indikatorpapier für Messungen benötigt, aber der Indikatorbegriff wird auch dahingehend vertieft und erweitert, dass Schülerinnen und Schüler Farbstoffe aus der Natur testen und darauf beurteilen sollen, ob diese als Indikator wirken können. Dabei soll die Erfahrung gemacht werden, dass es auch Naturstoffe gibt, die als Indikatoren wirken können. (Und wo sich die Natur dieses Phänomen zu Nutze gemacht hat.) In manchen Schulbüchern wird auf Naturstoffe hingewiesen, die als Indikator wirken, z.B. auf die Indikatorwirkung bei Schwarztee, oder auf den Farbstoff von Klatschmohn und Kornblume, der bei Klatschmohn durch das saure Milieu zu einer roten Blüte führt und bei der Kornblume im basischen blau ist. Im Lehrpfad werden die Bedeutung und Funktion von Indikatoren wiederholt und ebenso Beispiele aus der Natur aufgezeigt.

Im Lehrpfad wird der pH-Wert nur über den qualitativen Begriff benötigt. Die Schülerinnen und Schüler brauchen ihn für pH-Wert-Messungen und um einzuordnen, ob eine Lösung sauer oder basisch ist, bzw. welchen pH-Wert eine Lösung hat. Deshalb wird zur Auffrischung wiederholt bei welchem pH-Wert eine Lösung neutral, sauer oder basisch ist. In der Schule wurden vielleicht bereits Lebensmittel auf ihren pH-Wert getestet. In diesem Lehrpfad sollen die Schülerinnen und Schüler begreifen, dass auch in der Natur saure und basische Lösungen vorkommen.

In diesem Kapitel wurde dargelegt welches Vorwissen für den Lehrpfad vorausgesetzt werden kann und auch aufgezeigt in welcher Weise die Kenntnisse vertieft oder erweitert werden sollen. Im folgenden Kapitel werden die Kompetenzen, die bei der Bearbeitung des Lehrpfades genutzt, geschult und vertieft werden können konkret dargelegt. Die Einordnung des Lehrpfades in das Kompetenzmodell soll Lehrerinnen und Lehrern bei der Entscheidung helfen, ob der Lehrpfad für ihre Klasse angemessen scheint.

13. Einordnung des Lehrpfades in das Kompetenzmodell

Zur Einordnung des Lehrpfades in das Kompetenzmodell werden die durch den Lehrpfad abgedeckten Kompetenzen der drei Dimensionen Inhaltsdimension, Anforderungsdimension und Handlungsdimension in tabellarischer Form zusammengefasst. Bei den ersten beiden wird zudem untergliedert in die Bereiche der Dimension, die durch den Lehrpfad grundsätzlich abgedeckt werden und solche Bereiche, die sehr speziell in einzelnen Stationen abgedeckt werden. Bei der Handlungsdimension wurde hingegen jede Station für sich unter die Lupe genommen und anhand der Ziele der Stationen, die Handlungsdimensionen dargelegt.

13.1. Inhaltsdimensionen, die im Lehrpfad abgedeckt werden

Als erstes wird die Inhaltsdimension für den Lehrpfad geklärt. Weil sich der Lehrpfad mit der Thematik der „Säuren und Basen“ befasst, wird in allen Stationen des Lehrpfades die Inhaltsdimension „Grundmuster chemischer Reaktion (C3)“ im Bereich „Säuren, Basen, Neutralisation, Salze, pH-Wert“ vorrangig behandelt, wobei „Säuren“, „Basen“ und pH-Wert genauer behandelt werden. Neutralisation und Salze werden nicht explizit behandelt. Doch auch andere Inhalte fließen ein. In der Tabelle 9 befinden sich die in den Stationen behandelten Inhalte des Lehrpfades mit einzelnen Beispielen in der linken Spalte. In der rechten Spalte wird die dementsprechende Inhaltsdimension des Kompetenzmodelles zugeordnet.

Tabelle 9: Inhaltsdimensionen des Lehrpfades

Inhaltsdimensionen die im Lehrpfad allgemein behandelt werden	
Beispiel aus dem Lehrpfad	Inhaltsdimension
Das zentrale Thema des Lehrpfades ist „Säuren und Basen“, dementsprechend behandelt jede der Stationen Aspekte aus diesem Thema. Säuren und Basen, saure und basische Lösungen, Säure-Basen-Reaktionen nach Brønsted, pH-Wert, sowie Indikatoren und sogar ansatzweise Puffersysteme. Bsp.: In der Station „Kann auch ein Boden sauer oder basisch sein?“ setzen sich die Schülerinnen und Schüler mit dem pH-Wert von wässrigen Bodenlösungen, sowie der Fähigkeit von Puffern, den pH-Wert annähernd konstant zu halten auseinander.	Schülerinnen und Schüler können über Säuren, Basen, Salze, pH-Wert Auskunft geben und sie (anhand von Beispielen) erklären (C3).
Die Schülerinnen und Schüler befassen sich mit Reaktionsgleichungen und Wortgleichungen, sowie mit Ionenschreibweise und Strukturformeln, da die Phänomene, die	Schülerinnen und Schüler können über Elementsymbole, Summen-, Struktur- und Gerüstformeln Auskunft

erklärt werden, auch repräsentativ (in Formelschreibweisen) dargestellt werden.	geben und sie (anhand von Beispielen) erklären (C1).
Bei jedem Phänomen wird auch auf der Teilchenebene beleuchtet was bei der Reaktion geschieht. Beispielsweise wird bei dem Phänomen des Farbumschlags aufgezeigt, dass durch die Anlagerung bzw. Abgabe von Protonen an Farbstoffmoleküle die Länge des „Doppelbindungssystems“ verändert wird, wodurch ein anderer Teil des Lichtes aufgenommen und reflektiert wird.	Schülerinnen und Schüler können über das Teilchenmodell der Materie Auskunft geben und es (anhand von Beispielen) erklären (C1).
Die Schülerinnen und Schüler befassen sich bei der Bearbeitung der Stationen ebenfalls mit Beispielen und Anwendungen der Phänomene im Alltag. Beispielsweise wird bei der Station „ <i>Stephansdom und Schneckenhaus</i> “ aufgezeigt, dass dieselbe Reaktion zum Entfernen von Kalkrückständen genutzt wird, oder bei der Station „ <i>In den sauren Apfel beißen</i> “ aufgezeigt wird, welche Bedeutung die organischen Säuren für Schutz gegen Mikroorganismen haben. In diesem Zusammenhang werden der Säureschutzmantel und die darauf angepassten Hygieneprodukte (pH-hautneutrale Pflegeprodukte) betrachtet.	Schülerinnen und Schüler können über chemische Grundkenntnisse in praxisrelevanten Bereichen Auskunft geben und sie (anhand von Beispielen aus dem Alltag oder der Umwelt) erklären (C4).

Das waren die Inhaltsdimensionen, die in jeder Station behandelt werden. Es folgen jene, die speziell in einzelnen Stationen aufgegriffen werden.

13.2. Inhaltsdimensionen, die in einzelnen Stationen abgedeckt werden

Zur Beleuchtung der Inhaltsdimensionen wird innerhalb der Tabelle 10 zunächst zu jeder Station der Name und ihr Thema innerhalb der „Säuren und Basen“ genannt. Im Anschluss werden in der linken Spalte der betreffende Inhalt mit jeweiligem Beispiel angegeben, die ergänzend zum Grundschemata behandelt werden. In der rechten Spalte wird angegeben welchen Inhaltsdimensionen diese entsprechen.

Tabelle 10: Inhaltsdimensionen der Stationen

Station 1	„Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“	
Thema	Saure Lösungen in der Natur	
Beispiel aus dem Lehrpfad		Inhaltsdimension
In dieser Station befassen sich die Schülerinnen und Schüler mit der Protolysereaktion, der Reaktion von sauren Lösungen, mit dem pH-Wert von Lösungen.		Schülerinnen und Schüler können über Säuren, Basen, Salze, pH-Wert Auskunft geben und sie (anhand von Beispielen) erklären (C3).

Beispielsweise wird die Reaktion von organischen Säuren mit Wasser betrachtet.		
Bei dieser und der nachfolgenden Station werden die organischen Säuren und deren Schreibweise als Strukturformel behandelt. Dazu wird die Carboxygruppe ins Zentrum gerückt und in einer Hilfestellung werden Summenformel, Strukturformel, Skelettschreibweise und Darstellung als Modell herangezogen.		Schülerinnen und Schüler können über Elementsymbole, Summen-, Struktur- und Gerüstformeln Auskunft geben und sie (anhand von Beispielen) erklären (C1).
Station 2	„In den sauren Apfel beißen“	
Thema	Bedeutung der organischen Säuren	
Beispiel aus dem Lehrpfad		Inhaltsdimension
In dieser Station setzen sich Schülerinnen und Schüler mit den Inhaltsstoffen des Apfels auseinander. Deren Strukturformeln werden daraufhin beurteilt welche eine organische Säure ist. In einer Auflösung werden die wichtigsten Inhaltstoffe zusammengefasst.		Schülerinnen und Schüler können über wichtige Inhaltstoffe der Nahrung Auskunft geben und sie (anhand von Beispielen) erklären (C5).
Die Schülerinnen und Schüler üben die Carboxygruppe wiederzuerkennen und somit organische Säuren zu identifizieren.		Schülerinnen und Schüler können über Elementsymbole, Summen-, Struktur- und Gerüstformeln Auskunft geben und sie (anhand von Beispielen) erklären (C1).
Über den Säureschutz eines Apfels wird die Analogie zum Säureschutzmantel der Haut geschlagen. Schülerinnen und Schüler finden dabei auch Informationen über die Bedeutung von pH-hautneutralen Pflegeprodukten, wie Duschgel.		Schülerinnen und Schüler können über Stoffe für Reinigung und Hygiene Auskunft geben und sie (anhand von Beispielen) erklären (C5).
Station 3	„Untersuchung von Pflanzenasche“	
Thema	basische Lösung	
Beispiel aus dem Lehrpfad		Inhaltsdimension
Bei dieser Station befassen sich die Schülerinnen und Schüler mit der Untersuchung von Pflanzen- bzw. Holzasche. Der Grund für den basischen Charakter der wässrigen Aschelösung wird behandelt.		Schülerinnen und Schüler können über Säuren, Basen, Salze, pH-Wert Auskunft geben und sie (anhand von Beispielen) erklären (C3).

Der Verwendungszweck von Holzasche, sowie von Pottasche zu Waschzwecken (Outdoorseife) wird behandelt.		Schülerinnen und Schüler können über Stoffe für Reinigung und Hygiene Auskunft geben und sie (anhand von Beispielen) erklären (C5).
In der Station setzten sich Schülerinnen und Schüler mit der geschichtlichen Bedeutung und Verwendungszwecken von Holzasche, sowie von Pottasche als Backtriebmittel und zur Herstellung von Waschmitteln auseinander.		Schülerinnen und Schüler können über Bedeutung, Gewinnung und Verarbeitung wichtiger anorganischer und organischer Rohstoffe Auskunft geben und sie (anhand von Beispielen aus dem Alltag oder der Umwelt) erklären (C4).
Station 4	„Farbenspiel mit Bedeutung“	
Thema	Säure-Basen-Indikator	
Beispiel aus dem Lehrpfad		Inhaltsdimension
Die vorrangige Auseinandersetzung findet in dieser Station mit Indikatoren und pH-Werten statt.		Schülerinnen und Schüler können über Säuren, Basen, Salze, pH-Wert Auskunft geben und sie (anhand von Beispielen) erklären (C3).
In der Station setzen sich die Schülerinnen und Schüler auch mit farbigen Naturstoffen auseinander, mit dem Blick darauf, ob diese als Indikatoren genutzt werden können.		Schülerinnen und Schüler können Bedeutung, Gewinnung und Verarbeitung wichtiger anorganischer und organischer „Rohstoffe“ Auskunft geben und sie (anhand von Beispielen) erklären (C4).
Bei der Station wird der Farbumschlag von Indikatoren behandelt und beispielhaft an der Struktur von Cyanidin (Farbstoff aus dem Schaubispiel der Rosskastanienblüte) die Veränderung der Struktur je nach pH-Wert dargelegt.		Schülerinnen und Schüler können über Eigenschaften wichtiger Substanzen und Stoffklassen Auskunft geben und sie (anhand von Beispielen) erklären (C2).
Station 5	„Stephansdom und Schneckenhaus“	
Thema	Kalk und saure Lösung	
Beispiel aus dem Lehrpfad		Inhaltsdimension
In dieser Station befassen sich die Schülerinnen und Schüler mit der Reaktion zwischen sauren Lösungen, und zwar von organischen Säuren (Essig bzw. Zitronensaft), mit Kalk als Nachweisreaktion für Kalk.		Schülerinnen und Schüler können über Eigenschaften wichtiger Substanzen und Stoffklassen (C2) und Reaktionen ausgewählter organischer Stoffe (C3) Auskunft geben und sie (anhand von Beispielen) erklären.
Bei der Auseinandersetzung mit der Reaktion von saurer Lösung und Kalk wird auch auf die		Schülerinnen und Schüler können über Massenerhalt bei chemischen Reaktionen Auskunft geben und ihn (anhand von Beispielen) erklären (C3).

Massenerhaltung bzw. die Erhaltung der Atomsorten hingewiesen.	
Station 6	<i>„Kann auch ein Boden sauer oder basisch sein?“</i>
Thema	pH-Wert als Standortbedingung, Puffer
Beispiel aus dem Lehrpfad	Inhaltsdimension
In dieser Station befassen sich die Schülerinnen und Schüler mit pH-Wert als Standortbedingung, aber auch mit der Funktion eines Bodens den pH-Wert zu puffern.	Schülerinnen und Schüler können über Nutzung und Schutz von Luft, Wasser, Boden (C4) sowie Säuren, Basen, Salze, pH-Wert (C3) Auskunft geben und sie (anhand von Beispielen) erklären.

13.3. Anforderungsdimensionen, die im Lehrpfad abgedeckt werden

Als nächste wird die Anforderungsdimension, die im Lehrpfad allgemein, aber wiederum auch in den einzelnen Stationen erfüllt wird, dargelegt. Das Anforderungsniveau unterscheidet sich im praktischen Handeln und der theoretischen Aufarbeitung der Phänomene. Deshalb werden die einzelnen Bereiche der Stationen mit ihrem Anforderungsniveau offengelegt. In der Tabelle 11 werden in der linken Spalte die Bereiche erklärt und Beispiele dazu genannt. In der rechten Spalte wird das Anforderungsniveau zugeordnet.

Tabelle 11: Anforderungsdimensionen des Lehrpfads

Anforderungsniveau des Lehrpfads allgemein	
Beispiel aus dem Lehrpfad	Anforderungsniveau
Die Einleitungstexte , die zur Einstimmung der Station dienen, knüpfen direkt an ein Phänomen an, oder beschreiben dieses. Sie sind einfach formuliert. Es kommen kaum bis keine Fachwörter darin vor.	Durch die einfache Sprache, die zur Vorstellung der Phänomene genutzt wird und die einfachen Sachverhalte bzw. deren Verbindung mit der Umwelt entsprechen diese dem Anforderungsniveau I (N1).
Die Versuche und Untersuchungen, die im Rahmen der Stationen stattfinden sind einfacher Natur und mit einfachen Mitteln durchzuführen. Sie sind durch einfache Instruktionen klar angeleitet. <i>z.B. „Versetze ungefähr zwei Teelöffel der Asche mit zirka der gleichen Menge Wasser. Die Asche sollte gut mit Wasser bedeckt sein. Rühre gut um und warte einige Minuten.“</i>	Die praktischen Tätigkeiten sind geprägt durch reproduzierende Tätigkeiten, wie die Durchführung einfacher Untersuchungen und alltagsweltliche Bewertungen. Sie entsprechen deshalb dem Anforderungsniveau I (N1).

Teste nun den pH-Wert. <i>Was stellst du fest?</i> <i>Mache ein Beweisfoto, auf dem das Indikatorpapier, die Indikatorskala und die Asche oder Aschelösung ist. Dann kannst du dich auch später daran erinnern, welchen pH-Wert die Aschelösung hat.“</i> (http://augarten.chem-tracking.de/asche) Auch die zugehörigen Beobachtungsaufgaben und Fragestellungen, lassen sich durch einfache Rückschlüsse und Beschreibungen beantworten.	
Die Erklärungen auf der Substanzebene, sowie Exkurse und Querverbindungen zu Alltag und zur Biologie, verwenden einfache Sprache. Es werden wenige Fachbegriffe verwendet. Auf Formelsprache wird noch vorwiegend verzichtet.	Auch bei der Erklärung werden möglichst einfache Begriffe herangezogen und eine simple Sprache genutzt. Es werden zwar Fachbegriffe verwendet, aber noch keine oder kaum Formelsprache. Deshalb entspricht es noch dem Anforderungsniveau I (N1).
Die Erklärungen auf der Teilchenebene hingegen verwenden Formel- und Symbolsprache und Fachwörter. Die Formulierungen sind um der Genauigkeit Willen, zum Teil komplexer. Auch die Zusammenhänge der Phänomene und der Erklärung auf der Teilchenebene sind zum Teil komplexer. Beispielsweise sind bei der Erklärung des Farbumschlages auf der Teilchenebene mehrere Schritte, die zum Verstehen führen nötig. Es wird zunächst erläutert, dass der pH-Wert für die Anlagerung bzw. Abspaltung von Protonen verantwortlich ist. Dann wird erläutert, dass diese Protonierung bzw. Deprotonierung die Lage des Doppelbindungssystems verändert, was schließlich ausmacht, dass ein anderer Teil des Lichtes absorbiert und reflektiert wird. Beispiel für die Symbol- und Formelsprache: Reaktionsgleichungen werden genutzt, vorzugsweise als Wortformel und Ionenschreibweise.	Die Erklärungen und Zusammenhänge werden, durch die Vernetzung der Phänomene mit der Teilchenebene, deutlich komplexer als die Erklärungen auf der Phänomenebene. Zudem wird die Symbol- und Formelsprache miteinbezogen. Es werden Fachbegriffe herangezogen. Diese werden zwar erläutert und eingeführt und es wird darauf geachtet, dass möglichst wenige und einfache Begriffe verwendet werden, dennoch entsprechen die Erklärungen auf Teilchenebene dem Anforderungsniveau II (N2).

Beispiel für den Einsatz der Fachsprache: Es wird von aufnehmen und abgeben von Protonen gesprochen, auf Begriffe wie Protonierung wird verzichtet.	
--	--

Es wurde in der Tabelle 11 abgebildet, wie das Anforderungsniveau in einer typischen Station dieses Lehrpfades aussieht. Da manche Stationen davon abweichen werden diese Abweichungen in Tabelle 12 dargestellt.

13.4. Anforderungsdimensionen, die in einzelnen Stationen abgedeckt werden

In Tabelle 12 wird, wie bei der Inhaltsdimension, zunächst angegeben welche Station und damit verbunden, welches Thema in der Station betrachtet wird. Anschließend wird in der linken Spalte beschrieben welcher Teil der Station vom Grundschema des Anforderungsniveaus abweicht. Dazu wird eine Beschreibung gegeben oder ein Beispiel genannt. In der rechten Spalte wird angegeben welches Anforderungsniveau sich dadurch ergibt.

Tabelle 12: Anforderungsdimensionen der Stationen

Station 1	„Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“	
Thema	Saure Lösungen in der Natur	
Beispiel aus dem Lehrpfad		Anforderungsniveau
Bei der Station weicht die Anforderung vom Grundschema ab, da bei der Versuchserklärung die Möglichkeit besteht selbstständiger zu agieren. Die Versuchserklärung gibt vor, dass die Schülerinnen und Schüler mindestens fünf verschiedene Naturmaterialien auf ihren pH-Wert testen sollen. Es gibt die Möglichkeit Tipps anzuschauen. Dort werden zwei Varianten zur pH-Wert-Messung vorgeschlagen.		Es wird ein Spielraum für die Eigenständigkeit gelassen. Tipps und Hilfestellungen können in Anspruch genommen werden. Es wird, jedoch auch eigenständigeres Arbeiten ermöglicht. Durch die Hilfestellungen bleiben die Anforderungen für die Durchführungen dennoch im Anforderungsniveau I (N1).
Station 2	„In den sauren Apfel beißen“	
Thema	Bedeutung der organischen Säuren	
Beispiel aus dem Lehrpfad		Anforderungsniveau
In dieser Station weicht die Tätigkeit der Schülerinnen und Schüler von den anderen Stationen ab, denn es wird kein Versuch durchgeführt, sondern es findet eine Übung statt, bei der die Schülerinnen und Schüler aus		Bei der Aufgabe sind die Schülerinnen und Schüler mit Formeln in Skelettschreibweise konfrontiert. Allerdings gibt es Hilfestellungen zu den verschiedenen Formelschreibweisen und auch Beispiele für organische Säuren, somit entspricht es durch teilweise reproduzierendes, teilweise

Strukturformeln der Inhaltsstoffe eines Apfels die organischen Säuren wiedererkennen müssen.		selbstständiges Handeln und Beurteilen dem Anforderungsniveau II (N2).	
Station 3	„Untersuchung von Pflanzenasche“		
Thema	basische Lösung		
Beispiel aus dem Lehrpfad		Anforderungsniveau	
Als zusätzliche Information kann in dieser Station nachgelesen werden, was der Unterschied zwischen Holzkohle und Asche ist und wie diese beiden entstehen. Dabei sind jeweils der grobe Hergang und die daraus resultierenden Produkte und Produkteigenschaften hervorgehoben. Der genauere Verlauf der Stufen der Pyrolyse, und Produkte der Zwischenstufen, sowie konkrete Oxide und Carbonate als Bestandteile der Asche sind kleingedruckt.		Für die hervorgehobene Variante ist die Anforderung im Anforderungsniveau I (N1), für das Kleingedruckte, ist aufgrund der vielen Substanzen und deren Formeln das Anforderungsniveau II (N2) entsprechend.	
Station 4	„Farbenspiel mit Bedeutung“		
Thema	Säure-Basen-Indikator		
Beispiel aus dem Lehrpfad		Anforderungsniveau	
Die Anforderungen entsprechen den Anforderungsniveaus wie im allgemeinen Grundschemata des Lehrpfads besprochen.			
Station 5	„Stephansdom und Schneckenhaus“		
Thema	Kalk und saure Lösung		
Beispiel aus dem Lehrpfad		Anforderungsniveau	
Die Anforderungen entsprechen den Anforderungsniveaus wie im allgemeinen Grundschemata des Lehrpfads besprochen.			
Station 6	„Kann auch ein Boden sauer oder basisch sein?“		
Thema	pH-Wert als Standortbedingung, Puffer		
Beispiel aus dem Lehrpfad		Anforderungsniveau	
In der Einleitung dieser Station werden bereits grundlegende Informationen vermittelt, die für die Untersuchungen der Station benötigt werden. Dadurch sind bereits in der Einleitung mehrere Fachbegriffe. Die Sprache ist dennoch klar.		Diese Einleitung ist zwar anspruchsvoller, als die der anderen Stationen, sie entspricht dennoch noch dem Anforderungsniveau I (N1).	

Als letzte der drei Dimensionen, werden nun die Handlungsdimensionen des Lehrpfads für die einzelnen Stationen offengelegt.

13.5. Handlungsdimensionen, die im Lehrpfad in den einzelnen Stationen abgedeckt werden

Die Handlungsdimensionen der einzelnen Stationen weichen teilweise voneinander ab. Deshalb werden diese für jede Station separat in tabellarischer Form festgehalten. Im Kopfteil der Tabelle 13 werden jeweils die Station und das Thema angegeben. Darunter folgen Zielformulierungen zu den Stationen, zu denen jeweils auch die Deskriptoren der Handlungsdimensionen angegeben sind.

Tabelle 13: Handlungsdimensionen der Stationen

Station 1	„Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“	
Thema	Saure Lösungen in der Natur	
Ziele		Handlungsdimension
Grobziel: Nach der Bearbeitung der Station können Schülerinnen und Schüler aus Naturmaterialien wässrige Lösungen herstellen, diese untersuchen und feststellen , ob sie saure oder basische Lösungen bilden.		Dabei sollen sie Messungen durchführen, Beobachtungen machen und diese beschreiben (E1) und aus unterschiedlichen Quellen fachspezifische Informationen entnehmen (W2).
Feinziele: Sie sind in der Lage unter Einbeziehung von Fotos, ihre Untersuchungsergebnisse der pH-Wert-Messungen, tabellarisch zu dokumentieren .		Sie sollen Vorgänge in der Natur auf verschiedene Weise (z.B. mittels Tabelle) darstellen (W3).
Sie können einige Naturmaterialien nennen , die saure Lösungen bilden.		Sie sollen also Vorgänge und Phänomene aus der Natur beschreiben und benennen (W1).
Sie sind in der Lage das Proton (H^+ -Ion) als die Teilchenart zu nennen , die bei der Säure-Basenreaktion übertragen wird.		Sie sollen also Vorgänge und Phänomene aus der Natur beschreiben und benennen (W1).
Sie können aus verschiedenen Quellen die Information entnehmen , dass auch bei den organischen Säuren die Säurewirkung auf die Abgabe der Protonen zurückzuführen ist.		Sie sollen aus verschiedenen Quellen fachspezifische Informationen entnehmen (W2).
Station 2	„In den sauren Apfel beißen“	
Thema	Bedeutung der organischen Säuren	
Ziele		Handlungsdimension
Grobziel: Nach der Bearbeitung dieser Station können die Schülerinnen und Schüler anhand von Strukturformeln beurteilen , ob es sich um eine organische Säure oder andere organische		Sie sollen Daten aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten und Schlüsse daraus ziehen (S1).

Verbindung handelt (also ob die Verbindung eine Carboxygruppe besitzt oder nicht).		
Feinziele: Schülerinnen und Schüler können die Bedeutung von organischen Säuren für Pflanzen beschreiben und deren Funktionen wiedergeben . (Schutz gegen Fraßfeinde, chemischer Schutz gegen Mikroorganismen, Pilze und Bakterien, stabile Lagerung von Enzymen).		Dabei sollen sie Phänomene in der Natur beschreiben und benennen (W1).
Station 3	„Untersuchung von Pflanzenasche“	
Thema	basische Lösung	
Grobziel: Nach der Bearbeitung dieser Station können die Schülerinnen und Schüler eine Holzasche- oder Pflanzenaschelösung auf Grund des pH-Wertes als basische Lösung einordnen und den Rückschluss ziehen , dass auch in der Natur basische Lösungen vorkommen.		Sie sollen also zu Phänomenen in Natur und Umwelt Messungen durchführen, Beobachtungen machen und diese beschreiben (E1) und Daten aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten und Schlüsse daraus ziehen (S1).
Feinziele: Weiters sind sie in der Lage wiederzugeben wie Pottasche entsteht und zu erklären , weshalb eine Aschelösung basisch reagiert, wohingegen pflanzliche Lösungen meist sauer reagieren.		Sie können also Vorgänge und Phänomene in Natur und Umwelt beschreiben und benennen (W1).
Station 4	„Farbenspiel mit Bedeutung“	
Thema	Säure-Basen-Indikator	
Ziele		Handlungsdimension
Grobziel: Nach der Bearbeitung dieser Station sind die Schülerinnen und Schüler in der Lage anhand einer vorgeschlagenen Untersuchung zu überprüfen und festzustellen , ob sich ein vorliegender Farbstoff als Indikator eignet.		Die Schülerinnen und Schüler können zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben (E1). Sie können auch Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren (E4).
Feinziele: Schülerinnen und Schüler können die Aufgabe und Funktion eines Indikators beschreiben .		Dementsprechend üben sie Phänomene in Natur, und Umwelt zu beschreiben und zu benennen (W1).

Sie können Pflanzen nennen , die einen Indikatorfarbstoff beinhalten.	
Schülerinnen und Schüler können den Farbstoff von farbigen Naturmaterialien durch Behandlung mit sauer bzw. basischer Lösung auf einen möglichen Farbwechsel untersuchen .	Sie können zu Phänomenen in der Natur Beobachtungen machen oder Untersuchungen durchführen und diese beschreiben (E1).
Sie können weiterführend ermitteln , ob es sich bei den untersuchten Farbstoffen um Säure-Basen-Indikatoren handelt.	Sie können Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (vergleichen und einfache Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren (E4).
Station 5	„Stephansdom und Schneckenhaus“
Thema	Kalk und saure Lösung
Ziele	Handlungsdimension
Grobziel: Nach der Bearbeitung dieser Station können Schülerinnen und Schüler beschreiben wie saure Lösungen als Nachweis für Kalk genutzt werden und anhand welcher Phänomene erkennbar ist ob eine Probe Kalk enthält oder nicht. Sie können die Bedeutung der Reaktion am Beispiel des Stephansdoms auf andere kalkhaltige Objekte übertragen.	Sie können Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen (W1) und die Auswirkungen von Vorgängen in Natur, Umwelt und Technik auf die Umwelt und Lebenswelt erfassen und beschreiben (W4).
Feinziele: Schülerinnen und Schüler können Schneckenhäuser und Gesteine mit saurer Lösung auf Kalk untersuchen . Sie können die dabei typischen Phänomene der Bläschenbildung, des prickelnden Geräusches und die „Lösung des Kalkes“ bei der Reaktion feststellen, beschreiben und entsprechend festhalten oder protokollieren .	Sie können also zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben (E1).
Die Schülerinnen und Schüler können mit eigenen Worten die Reaktion von Kalk mit Säure erklären . (Wichtig ist dabei, dass die Erklärung deutlich macht, dass saure Lösung mit dem Kalk zu Kohlensäure reagiert, die sich in Wasser und Kohlenstoffdioxid zersetzt.)	Sie können Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen (W1).

Schülerinnen und Schüler sind in der Lage zu beurteilen , ob eine Probe (Gestein, Schneckenhaus, ...) Kalk enthält.		Sie können dabei Ergebnisse aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten und Schlüsse daraus ziehen (S1).	
Station 6	„Kann auch ein Boden sauer oder basisch sein?“		
Thema	pH-Wert als Standortbedingung, Puffer		
Ziele		Handlungsdimension	
Grobziel: Nach der Bearbeitung dieser Station können die Schülerinnen und Schüler beschreiben , dass ein Bodenpuffer den pH-Wert auch bei Zugabe von kleinen Mengen an Säure oder Base annähernd konstant hält und können seine Bedeutung für den Boden nennen .		Die Schülerinnen und Schüler können Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen (W1) und die Auswirkungen von Vorgängen in Natur, Umwelt und Technik auf die Umwelt und Lebenswelt erfassen und beschreiben (W4).	
Feinziele: Die Schülerinnen und Schüler können den pH-Wert als eine von vielen Standortbedingungen nennen .		Sie können aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen (W2).	
Schülerinnen und Schüler können den pH-Wert „des Bodens“ in einer wässrigen Bodenprobe bestimmen , um Aussagen über den Boden zu machen.		Sie können also zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben (E1).	
Sie sind außerdem in der Lage den Boden aufgrund des pH-Wertes einem Bodentyp (nach Blume) zuzuordnen , bei dem die vorherrschenden Ionen namensgebend sind.		Sie können Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren und interpretieren (E4).	

Nach der ausführlichen Betrachtung der Kompetenzen, die durch den Besuch des Lehrpfades geübt werden sollen, wird nun erläutert, wie der Besuch selbst in das Unterrichtsgeschehen eingegliedert wird.

14. Vorbereitungen und Nachbereitungen bei Besuch des Lehrpfades

Um eine Outdoor Learning Aktivität nachhaltig in den Unterricht zu integrieren wird betont, wie wichtig es ist, dass diese kein einmaliges isoliertes Erlebnis darstellt (MacQuarrie, 2016). Dieser Lehrpfad ist darauf ausgelegt von den jeweiligen Schulklassen nur einmal besucht zu werden. Es wird dennoch angestrebt, dass es keine isolierte Exkursion ist. Es ist vorgesehen, dass der Lehrpfad als Vertiefung und Wiederholung in Anspruch genommen wird. Das Thema wird also über einen längeren Zeitraum behandelt. Die Erfahrungen aus dem Besuch des Lehrpfades sollen über die

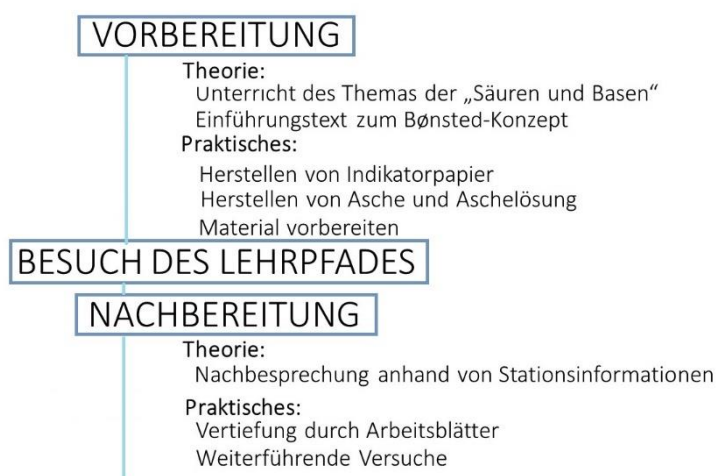


Abbildung 17: Integration des Lehrpfades in den Unterricht

Inhalte mit dem theoretisch erworbenen Wissen vernetzt werden. Dies ist möglich, weil der Lehrpfad einem einzelnen lehrplanrelevanten Thema gewidmet ist. Um das Outdoor Learning noch stärker in den Unterrichtsverlauf zu integrieren soll eine entsprechende Vor- und

Nachbereitung stattfinden (siehe Abbildung 17).

14.1. Vorbereitung in der Schule

Zur Vorbereitung muss einerseits sichergestellt werden, dass die Schülerinnen und Schüler, die in Kapitel 12 (Vorwissen zum Thema der „Säuren und Basen“) genannten fachlichen Voraussetzungen beherrschen. Zum anderen müssen die Materialien, die für Versuche verwendet werden, hergestellt oder bereitgestellt werden.

Unter die Vorbereitung fällt, falls die Thematik nicht direkt im Vorfeld behandelt wurde, eine Wiederholung der allgemeinen Reaktionsweise von „Säuren und Basen“, eine Erinnerung daran, dass „Säuren und Basen“ in wässrigen sauren und basischen Lösungen als Ionen vorliegen, sowie eine kurze Instruktion zu Handhabung von Indikatorpapier. Die Schülerinnen und Schüler sollen den Einsatz von Universalindikatorpapier vor Besuch des Lehrpfades einmal gesehen oder probiert haben. Konkret sollen Schülerinnen und Schüler wissen, wie der pH-Wert abgelesen wird.

Da bei den Erklärungen, sowie bei einer Station, auch die Kenntnis der Strukturformeln bzw. Skelettschreibweise genutzt wird, kann auch diese vorbesprochen werden. Dabei könnte besonders die organische Säuregruppe als Beispiel herangezogen werden. Abgesehen von der inhaltlichen Vorbereitung können die Schülerinnen und Schüler auch durch die Bereitstellung der benötigten Materialien auf den Lehrausgang vorbereitet werden.

Zur Integration des Lehrpfades in den Unterricht soll im Rahmen von Schülerinnen- und Schülerversuchen, Rotkrautindikatorpapier selbst hergestellt werden. Dabei soll deutlich werden, dass es sich bei Indikatorpapier um in Säure-Base-Indikatorlösungen getränktes Papier handelt, wodurch die Indikatorfarbstoffe am Papier haften. Eine Anleitung zur Herstellung von Rotkrautindikatorpapier findet sich auf der Webseite. (Link zur Seite: <http://augarten.chem-tracking.de/home/rotkrautindiaktor/>) Im Zuge dessen kann die Funktion des Indikators, als Anzeiger von pH-Wertbereichen, besprochen werden. Die oder der Lehrende muss auch dafür sorgen, dass die Schülerinnen und Schüler eine „Referenzpalette“ für das genutzte Indikatorpapier haben, besonders, wenn selbst gemachtes Indikatorpapier verwendet wird.

In einer Station des Lehrpfades soll eine Aschelösung untersucht werden. Damit die Schülerinnen und Schüler nicht im Augarten Holz verbrennen, wird dies ebenfalls in den Chemiesaal vorgezogen. (Link zur Seite: <http://augarten.chem-tracking.de/home/holzascheloesung/>) Für einen weiteren Versuch im Lehrpfad muss zur Untersuchung von Farbstoffen eine basische Lösung bereitgestellt werden. Um die Natürlichkeit basischer Lösungen zu betonen, soll die basische Lösung aus Holzasche und Wasser bereitete werden. Die selbst bereitete Asche kann bereits als Ausgangsmaterial für die basische Lösung herangezogen werden.

Entsprechend der Materialliste soll jede Arbeitsgruppe die Materialien zusammenpacken. Die Schülerinnen und Schüler sollen jeweils für das Besorgen oder Mitbringen einer der Materialien verantwortlich gemacht werden (Essig, Küchenrolle, Einweg-Schnapsgläser, Wattestäbchen, Asche, ...). Dadurch soll betont werden, dass Alltagschemikalien verwendet werden. Auch die selbst hergestellten Materialien sollen zur Mitnahme zusammengestellt werden. Dafür sollen die Schülerinnen und Schüler die saure und basische Lösung in Fläschchen füllen und entsprechend mit „saure Lösung“ und „basische Lösung“ beschriften.

Die benötigten Materialien und Chemikalien, sind im Folgenden für je eine Gruppe von drei bis fünf Personen angegeben.

14.2. Materialliste

Mitzubringende Materialien für jede Gruppe sind:

- ✓ Ein Internetfähiges Handy

Chemikalien:

- ✓ ein kleines Fläschchen mit ca. 10 ml *saurer Lösung* (z.B. Essig oder Zitronensaft)
- ✓ ein kleines Fläschchen mit ca. 10 ml *basischer Lösung* (Aschelösung)
- ✓ eine 250-500 ml Flasche für Wasser
- ✓ Indikatorpapier für etwa 30 Messungen. Bei 2cm Indikatorpapier pro Messung wären das 60 cm Indikatorpapier.
- ✓ eine entsprechende Skala zum Ablesen des pH-Wertes. Das kann auch ein Foto am Handy sein. Wichtig ist, dass diese passend für das verwendete Indikatorpapier ist.
- ✓ 4 Streifen genaueres (nicht selbst gemachtes) Indikatorpapier für einen Puffer-Versuch
- ✓ 2 Esslöffel Holz- oder Pflanzenasche

Materialien:

- ✓ mindestens 5 (4 cl) Einwegstamperl oder ähnliches (Schnapsgläser, Becher, Schalen, Joghurtbecher)
- ✓ mindestens 1 weißes Blatt Papier pro Gruppe, sowie ein Blatt Papier und Stifte für Notizen.
- ✓ 3 Blatt Küchenrolle oder Taschentücher zum Trocknen der Gefäße

Die Fläschchen mit den Lösungen sollten einen kleinen Auslass haben, damit die Lösungen tropfenweise aufgetragen und aufgetropft werden können. Andernfalls müssen zum Auftragen Einwegpipetten bereitgestellt werden.

Materialliste für den Lehrpfad

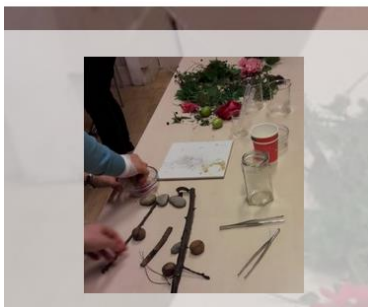


Abbildung 18: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/home/materialliste-fuer-den-lehrpfad/>

Auf Gerätschaften wie Mörser oder Glasstäbe wird verzichtet. Die Schülerinnen und Schüler werden zum Zerkleinern von Naturmaterialien angehalten. Steine zur Hilfe zu nehmen. Die verwendeten Steine sollten beim Reiben keinen wesentlichen Einfluss auf das Messergebnis haben und können somit genutzt werden. Auch auf das Filtrieren von wässriger Bodenprobe und Aschelösung wird verzichtet. Um an die Lösung der Aufschlemmungen zu gelangen sollen die Schülerinnen und Schüler warten, bis sich die Aufschlemmung gesetzt hat bzw. die darauf schwimmenden Anteile abgießen. Auf das Üben von Labortechniken wird hier verzichtet, um die Gerätschaften

geringzuhalten, soweit die Untersuchungen es zulassen. Wesentlich ist bei den beiden Lösungen, dass die Schülerinnen und Schüler feststellen, dass die Lösungen basisch sind, was auch dann noch möglich ist, wenn auch feste Bestandteile auf das Indikatorpapier gelangen.

Die Materialliste, die hier angeführt ist, findet sich auch auf der Webseite (Link siehe Abbildung 18). Dort ist sie sowohl für eine Arbeitsgruppe als auch für eine Beispielklasse mit 25-30 Schülerinnen und Schülern angegeben. Es werden jedoch nicht alle benötigten Materialien von der Schule mitgenommen. Die zu untersuchenden Materialien (die Proben) stammen aus der Natur.

14.3. Nachbereitung in der Schule

Zur Ergebnissicherung ist nach dem Besuch des Lehrpfades eine Nachbesprechung in der Schule vorgesehen. Ergebnissicherung ist gerade bei Versuchen oder auch generell beim Arbeiten in Kleingruppen sehr wichtig. Da die Schülerinnen und Schüler durch den Augarten gehen und bereits die Materialien für die Versuche mit sich tragen, wurde versucht, die Dokumentationen und Verschriftlichungen möglichst papierarm und knapp zu halten, deshalb wird von der allgemeinen Form des Niederschreibens von Antworten oder dem Bearbeiten von Arbeitsblättern abgesehen. Während des Lehrpfades wird die Ergebnissicherung minimal gehalten, und erfolgt möglichst durch das Smartphone, beispielsweise durch Filmen der Versuchsdurchführungen oder Fotografieren der Versuchsergebnisse. In der Nachbesprechung in der Schule kann das Thema dann abgeschlossen werden. Die Erfahrungen können ausgetauscht und die Versuchsergebnisse verglichen werden. Die Erklärungen und Bedeutungen können zusammengefasst werden. Das Maß der Nachbereitung liegt in der Hand des Lehrenden. Für die Nachbereitung stehen der Lehrperson die Webseiten der Stationen, sowie dafür angefertigte Druckversionen der Stationen zur Verfügung. Diese beinhalten die inhaltlichen Teile der Stationen (Einstieg, Erklärung der Phänomene und weiterführende Informationen), sowie zum Teil weiterführende Übungen. Diese stehen den Lehrpersonen in der Webseite „Überblick über die Stationen“ (Link zur Seite: <http://augarten.chem-tracking.de/uebersicht-ueber-alle-stationen/>) zum download zur Verfügung und sind ebenso im Anfang dieser Arbeit zu finden. Weiters wurden Skizzen für weiterführende Versuche und Arbeitsblätter zu jeder Station angefertigt, die ebenso zur Nachbereitung zur Verfügung stehen sollen. Diese befinden sich im Kapitel 16 jeweils im Unterpunkt 16. 2-7.5.

15. Allgemeiner struktureller Aufbau der Stationen



Abbildung 19: Startseite der Station "Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?"

Der inhaltliche Aufbau der Stationen wurde im Wesentlichen bereits in der Entwicklung des Lehrpfades erläutert. Für die Organisation der Webseite wurde diese Gliederung übernommen. Jede Station ist eine eigene Unterseite der Webseite „augarten.chem-tracking.de“, die wiederum in weitere miteinander verlinkte Unterseiten gegliedert ist. Das Bild zeigt die Startseite einer Beispiel-Station (siehe Abbildung 19). Die **einleitenden Texte** sind direkt auf der ersten Seite zu finden. In diesem Beispiel „*Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?*“, (Link zur Beispielseite: <http://augarten.chem-tracking.de/sauer>). Darunter befinden sich weitere Infos. Diese beinhalten die Links zu den weiterführenden Unterseiten. Das ist einerseits eine Seite mit einem **Versuch**; in diesem Fall „*Welche sauren und basischen Lösungen gibt es in der Natur?*“, (Link zur Beispielseite: <http://augarten.chem-tracking.de/sauer/versuch>). In der darauffolgenden Seite werden die zugrundeliegenden Phänomene aufgeklärt. In dieser Station findet man die **Erklärung** unter: „*Was macht die Zelle sauer? Erklärung auf der Teilchenebene*“ (Link zur Beispielseite: <http://augarten.chem-tracking.de/sauer/teilchenebene>). Die Stationen haben teilweise auch eigene Seiten für Hilfestellungen, thematische **Exkurse** oder **Weiterführungen**. Diese sind von Station zu Station sehr unterschiedlich angesetzt. Bei dieser Station sind es zwei Seiten mit Hilfestellungen: „*Tipps zur pH-Wert-Bestimmung*“ und „*Wie kann man organische Moleküle darstellen und beschreiben?*“, (Link zur Beispielseite: <http://augarten.chem-tracking.de/sauer/zitronensaure>).

Jede Seite bietet die Möglichkeit zu weiterführenden Seiten innerhalb der Station oder zur Startseite zurückzugelangen. Zuletzt gibt es eine Seite mit einem **Hinweis zur nächsten Station**. Dieser wird durch die Beantwortung einer Frage oder Lösung einer Aufgabe freigegeben. (Link zur Beispielseite: <http://augarten.chem-tracking.de/sauer/weiter>). In dieser Station heißt die Seite „*Warum sind so viele Pflanzen sauer?*“, weil sie direkt zur weiterführenden Station übergeht.

16. Didaktische Strukturierung der Stationen

Der folgende Teil der Diplomarbeit umfasst den dritten Teil der Didaktischen Rekonstruktion, die Didaktische Strukturierung. Dabei werden die Schlüsse der Fachlichen Klärung und der Perspektive der Schülerinnen und Schüler zusammengeführt und daraus die Lernstruktur der Stationen des Lehrpfades erstellt (Kattmann & et.al., 1997).

Zu jeder Station werden zunächst die Intention der Station und die elementaren Grundideen, die sich zum Teil durch die Methode des Outdoor Learnings und zum Teil durch die inhaltliche Struktur der Station ergeben, genannt. Dann werden die Strukturen, die sich aus den Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler, sowie aus den naturwissenschaftlichen Konzepten ergeben, diskutiert. Schließlich wird dargelegt, wie die Station methodisch eingebettet ist. In den Kapiteln der methodischen Einbettung sind am Seitenrand die Links zu den beschriebenen Webseiten und deren Unterseiten gemeinsam mit einem Bild der jeweiligen Unterseite platziert. Zum Schluss werden weiterführende Materialien skizziert, die für eine Einbettung des Lehrpfades im Unterricht sinnvoll wären.

Zunächst wird eine allgemeine Strukturierung formuliert und anschließend werden die einzelnen Stationen beleuchtet, ebenso wie das weiterführende Material zur Vor- und Nachbereitung.

16.1. Allgemeine Schlussfolgerungen für die Strukturierung

Für alle Stationen übergreifend ergibt sich aus den Konsequenzen und Schlussfolgerungen der Schülerinnen- und Schülerperspektiven, sowie aus der naturwissenschaftlichen Betrachtung folgendes:

Aus der Tatsache, dass in der Naturwissenschaft verschiedene Konzepte über die Säure-Basen-Theorie existieren, die „Säuren und Basen“ verschieden definieren, ergibt sich, dass bei der Bearbeitung des Themas deklariert werden muss, welches der Konzepte herangezogen wird. Die Sinnhaftigkeit dieser Vorgehensweise wird bei der Analyse der Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern bestätigt, da ein Mischen der Konzepte zu Verwirrungen führt.

Um Verwirrung zu vermeiden ist zudem wesentlich bei Einsatz eines Konzeptes die zugehörigen Fachausdrücke zu verwenden. In dieser Diplomarbeit soll das Brønsted-Konzept genutzt werden, um einen Umweg über das Arrhenius-Konzept und mit dem einhergehenden Konzeptwechsel verbundene Schwierigkeiten zu ersparen. Im Sinne einer stringenten Sprache ist für den Lehrpfad das Wort Protolyse bzw. Protolysereaktion zu verwenden, oder Ionisierung und Ionisierungsreaktion, da zweitens an kein Säure-Basen-Konzept gebunden sind. Zudem werden die

Begriffe „Säure“ und „Base“ nach Brønsted definiert und beziehen sich somit auf die Teilchen, die in einer Reaktion als Säure oder Base reagieren können. Um das Konzept nach Brønsted zu unterstreichen, werden in den Reaktionsgleichungen jeweils die Teilchen, die als Brønsted-Säure und Brønsted-Base reagieren, als solche beschriftet. In diesem Konzept ist auch wesentlich, dass die Begriffe der Reinstoffe, von denen ihrer wässrigen Lösungen unterschieden werden. Saure und basische Lösungen werden als solche genannt.

Aus der Methode des Outdoor Learnings ergibt sich, dass Schülerinnen und Schüler an Phänomenen direkt vor Ort exemplarisch lernen. Da sie die Phänomene zunächst auf der Phänomenebene betrachten, werden diese zunächst auch auf der Phänomenebene beschrieben, oder wenn möglich erklärt. Es soll jedoch auch die Erklärung auf der Teilchenebene gegeben werden. Da auch das Mischen der Betrachtungsebenen zu Schwierigkeiten führen kann, wird die Erklärung in zwei Teilen gegeben (siehe Abbildung 20), zuerst auf der Phänomenebene und anschließend auf der Teilchenebene. Es wird explizit angeführt sobald die Teilchenebene betrachtet wird. Um die Phänomenebene und Teilchenebene voneinander abzuheben, werden in der Phänomenebene verbale Beschreibungen und Erklärungen genutzt und für die Teilchenebene wird

zusätzlich die repräsentative Ebene mit Wortgleichung und Ionengleichung herangezogen. Dabei sollen die Reaktionsgleichungen durchgängig in einer Betrachtungsebene bleiben. Schülerinnen und Schülern sind die vorliegenden Spezies nicht immer klar. Deshalb sollen zur Formulierung anorganischer Gleichungen Ionengleichungen genutzt werden, um die vorhandenen Spezies zu betonen. In der Ionenschreibweise wird jedoch nicht deutlich, welche Ionen Teil einer Ionischen

Verbindung waren. Deshalb werden in diesem Lehrpfad die zusammengehörigen Ionen in Klammer geschrieben (siehe

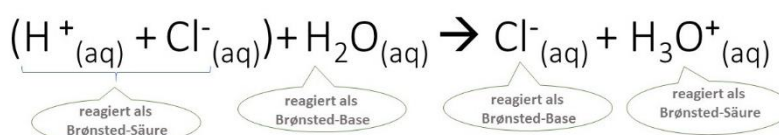
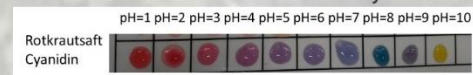


Abbildung 21: Beispiel der Ionischen Schreibweise und Beschriftung der Brønsted-Säuren und -Basen

Abbildung 21). Beispielsweise wird Kalk, also Kalziumcarbonat für die Wortformel genutzt. In der

Warum verändert sich die Farbe der Farbstoffe?

Ein Indikator ist ein Farbstoff, der **je nach pH-Wert, eine andere Farbe** aufweist. Indem du saure oder basische Lösung zu einem Indikator gibst, verändert sich der pH-Wert der Lösung. Wenn dabei ein gewisser pH-Wert Bereich (Umschlagsbereich) über- oder unterschritten wird, siehst du eine andere Farbe. Die Rosskastanienblüte hat den selben Farbstoff wie Rotkraut- Cyanidin.



Erklärung auf der Teilchenebene:

Die Moleküle solcher Farbstoffe können an geeigneten Stellen **Protonen (H⁺-Ionen) aufnehmen oder abgeben**.

Abbildung 20: Verbale Erklärung auf der Phänomenebene und Abgrenzung der Erklärung auf der Teilchenebene

Ionenschreibeweise wird $(\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-})_{(\text{aq})}$ geschrieben, damit die Schülerinnen und Schüler die jeweiligen Ionen zuordnen können. Zudem wird zum besseren Vernetzen des verbal Geschriebenen und der Formelsprache jedes Molekül (das nicht zu ausufernd ist) in Formelschreibweise in Klammer gesetzt. Z.B.: „Säuren sind Teilchen, die ein Proton (H^+ -Ion) ...“ Kovalente Verbindungen werden in den Reaktionsgleichungen als Moleküle formuliert. Wasser jedoch wird prinzipiell als Molekül formuliert, es sei denn es funktioniert als Brønsted-Säure, in dem Fall wird es ionisch und in Klammer geschrieben um das Proton, das abgegeben werden kann, zu betonen. Teilchen die in einer Reaktion als Brønsted-Säure oder -Base reagieren werden als solche markiert und beschriftet. Dazu wird bei Säuren durch eine geschwungene Klammer ausgedrückt, dass die Brønsted-Säure, aus Proton und Säurerestanion besteht, wobei das Proton davon abgegeben wird. Bei Brønsted-Basen wird das Anion allein markiert und beschriftet, da dieses das Proton aufnimmt.

Bei der Behandlung organischer Säuren werden jedoch Strukturformeln genutzt, um die Abgabe des

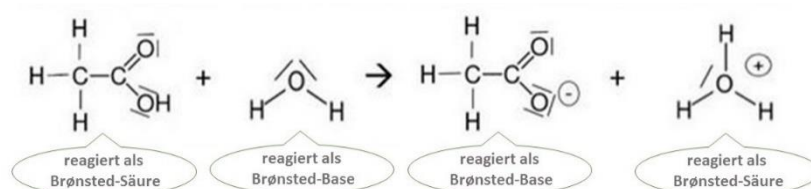


Abbildung 22: Beispiel Reaktion mit Strukturformeln, mit Beschriftung

Protons deutlicher ersichtlich zu machen und zu zeigen, dass das Proton von der Carboxygruppe abgespalten wird (siehe Abbildung 22).

Aus der Organisation des Lehrpfades als Outdoor- und Mobile Learning Aktivität ergeben sich weitere Konsequenzen für die Strukturierung.

Beim Chem-Tracking wird den Schülerinnen und Schülern, durch die Organisation des Lehrpfades als Outdoor Learning Aktivität, die Möglichkeit geboten außerhalb des Klassenzimmers zu lernen. Das bringt die Freiheit, nicht im Klassenraum zu sein, wo das Sitzen dominiert. Sie können Bewegungsfreiheit genießen, selbst während des Durchführens der Stationen, bei denen sie sich mit chemischem Wissen beschäftigen, das ihnen direkt in der Umgebung begegnet. Die Auseinandersetzung mit dem chemischen Thema, also beispielsweise die Testung von Naturmaterialien auf ihren pH-Wert oder die Beobachtung der Reaktion von saurer Lösung mit Kalk, steht zwar im Vordergrund, dennoch kann dem Bedürfnis nach Freiheit in diesem Setting mehr entsprochen werden als im Klassenraum. Es kann beispielsweise frei gewählt werden, ob die Schülerinnen und Schüler stehen, sitzen oder hocken. Sie können sogar jedes Naturmaterial an ihrem Fundort testen. Es kann also zwischen jeder Testung ein Ortswechsel stattfinden, wenn es der Gruppe sinnvoll erscheint oder dienlich ist. Manche dieser Freiheiten sind im Klassenzimmer zwar eventuell gegeben, es könnte jedoch das Klassenklima beeinflussen, zum Beispiel indem die

Konzentration von anderen Lernenden beeinflusst oder gemindert wird. Im Fall der Outdoor Situation kann dies durch die Weitläufigkeit des Geländes abgefangen werden.

Die Kriterien, an denen sich CHEMIE PUR (siehe Kapitel 3.4, Seite 33) orientiert, werden unabhängig von diesem Konzept im Chem-Tracking ebenso erfüllt. Die Phänomene, die in der Umgebung angetroffen werden, werden didaktisch aufgearbeitet und die Inhalte über Webseiten zur Verfügung gestellt, die per Handy abgerufen werden können. Wie auch bei dem Projekt CHEMIE PUR werden für die Versuche direkt Proben aus der Natur miteinbezogen. Im Chem-Tracking sind es Boden, Schneckenhäuser, Gesteine, Pflanzenteile (Blüten, Früchte, Laubblätter, ...). Anders als bei CHEMIE PUR werden nur kleine Testungen und Untersuchungen gemacht, aber keine aufwendigen Synthesen betrieben. Für den Chem-Tracking Lehrpfad werden keine aufwändigen Apparaturen benötigt. Es reichen einfache Gefäße und Hilfsmittel.

Zur Begegnung mit den Phänomenen und deren Untersuchung werden, ebenso wie bei der Betriebserkundung (siehe Kapitel 3.5, Seite 31) Fragestellungen genutzt. Diese sind jedoch bereits vorgegeben und die Aufarbeitung der Phänomene beginnt bereits in der Natur, im Rahmen des Lehrausfluges. Sie wird in der Klasse lediglich nachbereitet und erweitert. Gemeinsam haben die beiden, dass die Umgebung vorerst nicht didaktisiert ist und deshalb erst didaktisiert werden muss. Beim Chem-Tracking geschieht das durch die virtuellen Stationen auf der Webseite.

Im Chem-Tracking sind kleine Gruppen (von vier bis sechs Schülerinnen und Schülern) als Sozialform vorgesehen. Durch das Arbeiten in kleinen Gruppen erlaubt das Outdoor Learning ein relativ hohes Maß an Autonomie. Damit Schülerinnen und Schüler, die weniger eigenständig sind, durch die Lernsituation nicht überfordert werden, kann bei didaktisierter Umgebung durch weiterführende Hilfestellungen in der Webseite gegengelenkt werden. Damit ergibt sich eine Aktivität im Gelände, bei der die Selbsttätigkeit von Schülerinnen und Schülern im Vordergrund steht. Durch erforschendes Lernen und Entdecken sollen Fachinhalte erlernt und das Anwenden von fachspezifischen Methoden sowie die Handhabung von Messinstrumenten geübt werden.

Der Lehrpfad ist im Sinne des Mobile Learnings eine Lerngelegenheit mit "physischem Kontext", weil der Ort des Lernens für das Lerngeschehen unmittelbar relevant wird. Aus der Umgebung werden Informationen entnommen. Dadurch entsteht ein „physischer Kontext“. Im Chem-Tracking-Lehrpfad ergibt sich der physische Kontext sowohl durch das Entnehmen der Probenmaterialien als auch das Beobachten von Phänomenen an Ort und Stelle. Die zeitliche Dimension spielt durch den Jahreszyklus und das Wetter eine Rolle, da für gewisse Lerngelegenheiten auch der Zeitpunkt von Bedeutung ist. Im Chem-Track betrifft das z.B. die Blütezeit der Kastanie. Um aber von dieser unabhängig zu sein, wurde als Ausweg auch ein

entsprechendes Bild der Blüten von Kastanien eingefügt. Bei der Station „*Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?*“ verändert sich die Auswahlmöglichkeit der vorhandenen Naturmaterialien entsprechend der Jahreszeiten (im Frühling stehen mehr Blüten zur Verfügung, während gegen Herbst Früchte dominieren, zusätzlich zu den Sprossachsen, die fast durchgehend zur Verfügung stehen). Die Station „*Kann auch der Boden sauer oder basisch sein?*“ ist durch Frost limitiert, wenn dadurch die Probennahme nicht erfolgen kann.

Nach der allgemeinen Strukturierung folgen nun die Strukturierungen der einzelnen Stationen.

16.2. Didaktische Strukturierung der Station „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“



Abbildung 23: Startseite der Station 1

16.2.1. Intention der Station 1

Bei der Station „*Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?*“ werden unterschiedliche Naturmaterialien auf ihren pH-Wert untersucht. Dabei soll deutlich werden, dass Pflanzen im allgemeinen saure Lösungen bilden. Es soll durch die Station klar werden, dass in der Natur saure Lösungen vorhanden sind. Als

Gegenstück zu dieser Station werden in einer weiteren Station basische Lösungen behandelt. Die Station dient außerdem dazu das Säure-Basen-Konzept nach Brønsted zu wiederholen bzw. einzuführen. Die Webseite befindet sich unter: <http://augarten.chem-tracking.de/sauer/>.

16.2.2. Grundideen der Station 1

In dieser Station sollen vier Grundideen vermittelt werden. Zum einen „Es gibt saure und basische Lösungen in der Natur.“ Bei der Testung von Pflanzen finden sich überwiegend saure Lösungen. Das führt zur nächsten Grundidee: denn „Pflanzen sind durch ihre Zellsaftvakuolen meist sauer“, damit Enzyme während der Lagerung nicht aktiv sind. (Diese Grundidee wird in die Station „*In den sauren Apfel beißen*“ ausgelagert.) Eine dritte Grundidee ist: „ H^+ -Ionen bzw. H_3O^+ -Ionen sind für den „sauren Charakter“ verantwortlich“. Das gilt nicht nur für die anorganischen Säuren. Daraus ergibt sich der letzte Grundgedanke der Station, „Die Protonenübertragung ist bei anorganischen und organischen Säuren analog“.

16.2.3. Konsequenzen aus naturwissenschaftlicher Betrachtung und Perspektive der Schülerinnen und Schüler für die Strukturierung der Station 1

Schülerinnen und Schüler assoziieren Säuren oder saure Lösungen häufig mit ihrem Vorkommen im Labor (Kind, 2004). Als Gegenpol zu dieser Vorstellung, dass saure Lösungen vorrangig im Labor zu finden sind, soll im Sinne des Outdoor Learnings auch das Vorkommen von sauren Lösungen in der Natur aufgezeigt werden.

Eine gängige Assoziation mit Säuren ist die Vorstellung von ätzender Wirkung (Dörfler, 2009; Barke, 2006; Kind, 2004). Bei den sauren Lösungen, welche die Lernenden bei den Pflanzen vorfinden, werden die Schülerinnen und Schüler dieser ätzenden Wirkung nicht begegnen. In der Natur begegnen die Schülerinnen und Schüler sauren Lösungen die stark verdünnt sind. Zudem sind organische Säuren schwache Säuren, das heißt ihr Protolysegleichgewicht liegt auf der linken Seite (Riedel & Janiak, 2007). Die Reaktion, auf der die ätzende Wirkung beruht, läuft also „unvollständig“ ab. Schülerinnen und Schüler können im Lehrpfad also die Erfahrung machen, dass saure Lösungen nicht zwingend „ätzend“ wirken.

Aus naturwissenschaftlicher Sicht werden beim Thema der „Säuren und Basen“ vor allem die verschiedenen Konzepte betont und deren Erklärungen für Phänomene, wie beispielsweise Neutralisationsreaktionen und Puffersysteme. Für den Lehrpfad bedeutet es, dass, um der Naturwissenschaft zu entsprechen, die sauren Lösungen und deren Säure-Basen-Reaktion zwischen Säureteilchen und Wassermolekülen, sowie die Säure-Basen-Reaktion nach Brønsted im Allgemeinen erklärt werden. In dieser Station soll vermittelt werden, dass die zentrale Reaktion der „Säuren und Basen“ die Protonenübertragungsreaktion ist.

Während Schülerinnen und Schülervorstellungen meist von der Vorstellung geprägt sind, dass Säuren Substanzen seien, wird im Brønsted-Konzept der Teilchencharakter betont (Lembens & Becker, 2017). Im Lehrpfad werden deshalb die beobachtbaren Phänomene auf der Phänomenebene erklärt und dann wird auf die Teilchenebene verwiesen. Die Begriffe Base und Säure werden im Lehrpfad nach Brønsted verwendet und in der Station auch entsprechend definiert. Entsprechend des Brønsted-Konzepts ist auch die synonyme Handhabung, die von Schülerinnen und Schülern häufig genutzt wird, nicht zulässig. Da jedoch das Säure-Basen-Konzept nach Brønsted durchgängig genutzt werden soll, können saure Lösungen und basische Lösungen auch nicht wie im Arrhenius-Konzept als die wässrige Lösung einer Säure bzw. Base betrachtet werden, weil in dieser Aussage die Säure als Stoff betrachtet wird. Dennoch kann gezeigt werden, dass die Reaktion von Säureteilchen bzw. Baseteilchen und Wassermolekülen diesen Lösungen zu Grunde liegt. Wasser-Moleküle werden also als Reaktionspartner betont. Um zu erklären, wie eine

saure Lösung entsteht, müsste in korrekter Weise gesagt werden: „Saure Lösungen entstehen, wenn man Stoffe mit Teilchen, die als Säure reagieren können, mit Wasser zusammengibt.“ Da die Formulierung jedoch umständlich ist, wird die Herstellung selbst nicht betont, sondern mit der Erläuterung: „Bei sauren Lösungen reagieren je ein Säureteilchen und ein Wassermoleküle miteinander.“ auf die zugrundeliegende Reaktion verwiesen. Um saure Lösungen auf der Teilchenebene zu erklären, wird in diesem Lehrpfad zum einen die allgemeine Säure-Basen-Reaktion nach Brønsted dargestellt. Dann wird die Reaktion von Säureteilchen mit Wassermolekülen erklärt und als allgemeine Wortgleichung dargestellt, sowie an einem anorganischen und einem organischen Beispiel aufgezeigt, um zu betonen, dass das gleiche Reaktionsprinzip für anorganische, wie für organische Säuren gilt. Bei der anorganischen Säure wird die Ionenschreibweise genutzt, um die vorliegenden Spezies aufzuzeigen, und um zu betonen, dass Säuren in sauren Lösungen nicht primär molekular vorliegen (siehe Abbildung 24). Für organische Säuren wird zunächst ebenso die Ionenschreibweise abgebildet. Anschließend wird die Reaktionsgleichung mit Strukturformeln genutzt, da bei diesen die Protonenübertragung, die im Zentrum der Erklärung steht, besser ersichtlich ist (siehe Abbildung 25). Organische Säuren werden herangezogen, weil sie in Pflanzen vorkommen, welche als Probematerial dienen. Da organische Säuren jedoch, nicht klassisch im Rahmen der „Säure-Basen-Theorie“ herangezogen werden, wird angenommen, dass Schülerinnen und Schüler mit diesen nicht vertraut sind. Deshalb wird die Carboxygruppe der organischen Säuren und das Proton, das bevorzugt abgegeben wird, vorgestellt. Die Carboxygruppe, sowie das Wasserstoffatom, dessen Proton bevorzugt abgegeben wird, sind markiert, farblich hervorgehoben und beschriftet (siehe Abbildung 26). Um das

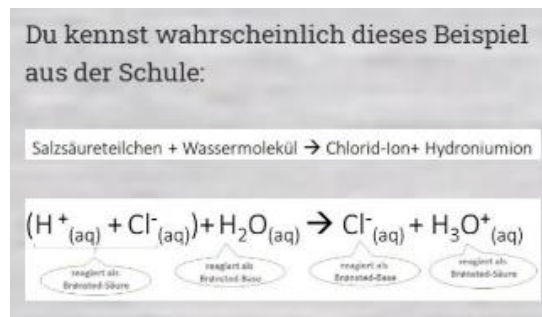


Abbildung 24: Beispielreaktion

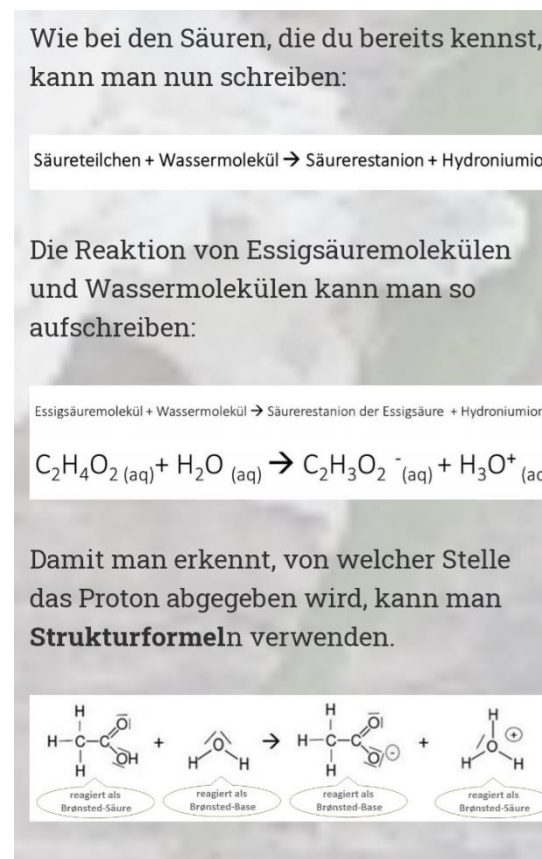


Abbildung 25: Übertragung der Säure-Basen Reaktion auf organische Säuren

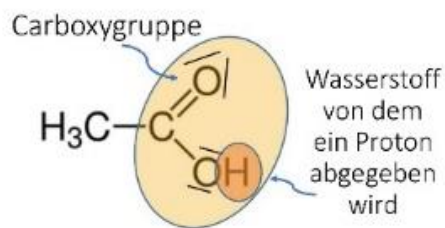


Abbildung 26: Strukturformel der Ethansäure

Fachvokabular „azider Wasserstoff“ zu meiden wird die umständliche, aber simple Formulierung „Wasserstoff, von dem ein Proton abgegeben wird“ genutzt. Zur Vorstellung der Carboxygruppe dient die Ethansäure, weil sie eine einfache organische Säure, mit nur einer Carboxygruppe und kurzem Kohlenstoffgerüst ist. Als Beispiel für eine typische organische Säure aus Früchten

dient die Zitronensäure, weil sie Bestandteil vieler Früchte ist.

Die Vorstellung von Schülerinnen und Schülern, dass Protonen abgegeben werden stimmt mit dem Brønsted-Konzept überein. Für das Prinzip von Brønsted ist jedoch zudem bedeutend, dass das Proton nicht frei vorliegt, sondern von einer Brønsted-Base im Fall einer sauren Lösung, von einem Wassermolekül, aufgenommen wird. Das wird im Lehrpfad anhand von Reaktionsgleichungen verdeutlicht und erklärt.

Gemeinsam ist der naturwissenschaftlichen Betrachtung von sauren Lösungen und dem Wissen von Schülerinnen und Schülern, dass die Protonen bzw. Hydroniumionen in einer sauren Lösung für den sauren Charakter verantwortlich sind. Wobei im Arrhenius-Konzept die Protonen genannt werden und im Brønsted-Konzept die Anlagerung der Protonen an Wassermoleküle berücksichtigt wird und deshalb von Hydroniumionen gesprochen wird. Für den Lehrpfad soll von Vorstellungen aus dem Arrhenius-Konzept, das aus der Schule bekannt sein könnte, eine Brücke zu den Erklärungen im Brønsted-Konzept geschlagen werden. Aus diesem Grund werden in der Erklärung auf der Phänomenebene beide Spezies (Protonen und Hydroniumionen) genannt. In der Erklärung auf der Teilchenebene werden nur mehr die Hydroniumionen nach Brønsted genutzt.

Bei dem Versuch der Station wird an wässrigen Lösungen von Pflanzen der pH-Wert gemessen. Deshalb ist von Bedeutung wie Schülerinnen und Schüler den pH-Wert wahrnehmen. Der pH-Wert kann nicht zur Definition von „Säuren oder Basen“ dienen, wie manche Schülerinnen und Schüler annehmen, aber zur qualitativen Bewertung, ob eine Lösung sauer oder basisch ist, bzw. wie sauer oder wie basisch eine Lösung ist. Um eine mögliche Verwechslung mit der Säurestärke zu vermeiden, soll im Lehrpfad das Wort „stark“ nicht in Zusammenhang mit dem pH-Wert gebracht werden. Deshalb wird davon gesprochen, dass der pH-Wert angibt „wie“ sauer oder basisch eine Lösung ist und nicht „wie stark“ sauer oder basisch die Lösung ist, auch wenn zweiteres ebenso richtig wäre.

Der pH-Wert kann in sauren und basischen Lösungen gemessen werden. Von Brønsted-Säuren oder -Basen kann der pH-Wert nicht gemessen werden. Deshalb wird im Lehrpfad in den Tipps zur pH-

Wert-Bestimmung betont, dass nur in wässrigen Lösungen der pH-Wert gemessen werden kann. Die Definition des pH-Wertes ist Schülerinnen und Schülern meist geläufig. Weiters wird das Wissen um die Bedeutung des pH-Wertes und die Anwendungsweise von Indikatorpapier für den Lehrpfad vorausgesetzt. Dennoch gibt es eine Hilfestellung zur pH-Wert-Testung und eine kurze Wiederholung zum pH-Wert. Für die Station ist in erster Linie wichtig, dass die Lernenden die Messungen durchführen können.

16.2.4. Methodische Einbettung der Station 1

Das Phänomen, dass saure Lösungen in der Natur vorkommen wird zur didaktischen Einbettung schon im Eingangstext aufgegriffen und ein Querverweis zur Schule und Alltagswelt hergestellt. Es wird weiters die Frage in den Raum gestellt ob saure und basische Lösungen in der Natur vorkommen. Dazu kommt die Frage welche sauren und basischen Lösungen die Schülerinnen und Schüler selbst im Augarten entdecken. Dadurch wird die Phase der Untersuchung eingeleitet. Als Untersuchung werden wässrige Lösungen von Pflanzenteilen hergestellt und deren pH-Werte gemessen. Dazu werden vor Ort verschiedenste Naturmaterialien aufgesammelt, zerdrückt oder verrieben und auf ihren pH-Wert getestet.



Abbildung 27: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/sauer/versuch/>

Die Anleitung zum Versuch befindet sich auf der Seite „Welche sauren und basischen Lösungen gibt es in der Natur? – Anleitung für einen Versuch“ (Link siehe Abbildung 27). Die Versuchsanleitung besteht im Wesentlichen aus dem Auftrag verschiedene Pflanzen und Naturmaterialien zu sammeln, deren pH-Wert zu testen und die Ergebnisse tabellarisch und per Foto festzuhalten. In der Tabelle soll zum einen das Ergebnis der pH-Wert-Testung festgehalten werden, zum anderen soll sie eine Zuordnung des Ergebnisses zu den Fotos der Pflanzenteile bzw. den Fotos der

Testung ermöglichen. Es ist deshalb nicht nötig, dass die Schülerinnen und Schüler die Pflanzen namentlich kennen. Es reicht aus, wenn sie Merkmale der Pflanze nennen, die sie wiedererkennen. Zur Orientierung ist auch eine Beispieltabelle abgebildet (Siehe Abbildung 28). Unterhalb der Versuchsanleitung sind allgemeine Hinweise zur Untersuchung. Die Hinweise beinhalten den Tipp, dass sie für den Versuch Wasser benötigen, einen Hinweis, wo die nächste Wasserstelle im Augarten ist, einen Link zu weiteren Hilfestellungen und eine

• So könnte deine Tabelle aussehen.

Bildnummer	getestetes Naturmaterial	pH-Wert der Lösung
1	Pflanze mit gezacktem Blattrand	6 (sauer)
2	Brennnessel	6-7 (leicht sauer)

Abbildung 28: Beispiel zur Protokollierung



Abbildung 29: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/sauer/tipps/>

Beispieltabelle zur Dokumentation des Versuches. Im Sinne der Autonomie kann auch das Maß der Hilfestellungen gewählt werden. Auf der Seite „Tipps zur pH-Wert Bestimmung – Was muss bei der Bestimmung des pH-Wertes beachtet werden?“ sind konkrete Hilfestellungen für jene, die Tipps zur pH-Wert-Testung wollen (Link siehe Abbildung 29). Die erste Information, die Schülerinnen und Schüler bei den Tipps erhalten, ist, dass der pH-Wert nur in wässrigen Lösungen gemessen werden kann. Dann werden zwei Varianten aufgezeigt, wie der pH-Wert gemessen werden kann und folglich, wie die Untersuchung verlaufen kann (siehe Abbildung

30). Zum einen wird die Variante, die Pflanzenteile zu zerreiben und wässrige Lösungen daraus zu bilden, vorgeschlagen. Als zweite Variante wird die Möglichkeit beschrieben, das Indikatorpapier zu befeuchten und eine Schnitt- oder Rissstelle der Pflanzenteile darauf zu tupfen. (Die wässrige Lösung entsteht dabei direkt am Indikatorpapier.) Weder die Richtigkeit der Messung noch der konkrete Messwert stehen im Vordergrund. Es soll jedoch deutlich werden, dass im Augarten vorwiegend saure Lösungen zu finden sind, da Pflanzenteile (wegen der Zellsaftvakuolen) überwiegend sauer sind. Die Variante der Messung und der Grad der Verdünnung der sauren Lösung ist dementsprechend nicht wesentlich, um das Ziel zu erreichen. Deshalb ist eine genaue Anleitung mit Mengenangaben nicht notwendig und es kann stattdessen das Freiheitsgefühl von „Outdoor Learning“ noch mehr erlebt werden. Als weitere Unterstützung wird eine kurze Information zum pH-Wert gegeben. Sie informiert darüber, dass der pH-Wert ein Maß dafür ist, wie sauer oder basisch eine wässrige Lösung ist. Zudem wird genannt, dass neutrale Lösungen einen pH-Wert von sieben aufweisen, saure Lösungen einen pH-Wert unter sieben und basische Lösungen einen über sieben. Von der Seite der Hilfestellungen kann man nur zurück zu der

Tipps zur Messung des pH-Wertes



Abbildung 30: Seite mit Tipps



Abbildung 31: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/sauer/teilchenebene/>

Startseite oder zurück zum Versuch. Auf der Seite „Was macht die Zellsäfte sauer? - Erklärung auf der Teilchenebene“ wird eine Erklärung auf Phänomenebene und auf Teilchenebene gegeben (Link siehe Abbildung 31). Dabei wird erläutert, dass die Pflanzenteile in wässriger Lösung einen pH-Wert unter sieben aufweisen und somit saure Lösungen bilden. Als Ursache werden organische Säuren genannt und folglich Hydroniumionen, die in der Reaktion mit Wasser entstehen. Es wird auch das Hintergrundwissen geboten, wie saure Lösungen, chemisch gesehen,

reagieren. Wie dies vermittelt wird wurde bereit weiter oben erklärt. Die Vorgehensweise, dass zuerst die allgemeine Formel, dann ein bekanntes Beispiel und dann ein neues Beispiel verwendet werden, greift das Prinzip „von Bekanntem zum Unbekannten“ auf, sodass das Verständnis über Säuren und Basen erweitert wird. Es soll am Bekannten angeknüpft werden und, entsprechend dem Grundgedanken des „Conceptual Change“, das Säure-Basen-Konzept der Schülerinnen und Schüler erweitert werden.



Abbildung 32: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/sauer/zitronensaure/>

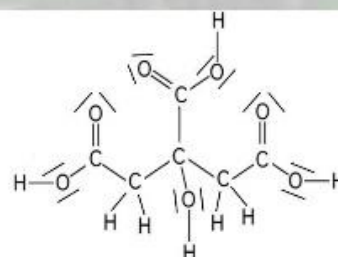
Da bei der Erklärung die verschiedenen Formelschreibweisen genutzt werden, wird ein Link zu einer Hilfestellung für das Verstehen und die Handhabung von Formelschreibweisen geboten (Link siehe Abbildung 32). Diese bietet einen Überblick und Erklärungen zu Summenformel, Strukturformel, Skelettformel und einer Summenformel, bei der die funktionellen Gruppen zusammengefasst werden. Sie werden jeweils mit einer Abbildung dargestellt und der Name der Schreibweise und deren Kennzeichen genannt (siehe Abbildung 33). Auf der Seite: „Wie kann man organische Moleküle darstellen und beschreiben?“ ist auch ein Bild eines Kalottenmodells als optische Hilfestellung für das Verstehen der räumlichen

Anordnung der Atome gegeben. In diesem Rahmen wurde auch die Möglichkeit genutzt, den Schülerinnen und Schülern vor Augen zu führen, wie Zitronensäure als „Stoff“ aussieht. Ein Bild von Zitronensäure soll vermitteln, dass Zitronensäure bei Standardbedingungen ein Feststoff ist. Es dient als Denkanstoß in die Richtung, dass nicht alle Säuren bei Raumtemperatur flüssig, sondern manche auch Feststoffe sind. Dies wird allerdings nicht genauer aufgearbeitet. Die Station soll in erster Linie aufzeigen, dass in der Natur saure Lösungen vorhanden sind.



Abbildung 34: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/sauer/weiter>

Die Strukturformel:



In dieser Schreibweise wird die Struktur der Verbindung deutlich. (Es wird deutlich, welche Atome wie verbunden sind). Die **Verknüpfungen und die Verknüpfungsart** sind durch die Striche zwischen den Atomen dargestellt. Auch die freien Elektronenpaare können eingezeichnet werden.

Abbildung 33: Beispiel anhand der Strukturformel

Zuletzt gibt es eine Verlinkung mit der Folgestation, die die Bedeutung von sauren Lösungen für Früchte behandelt, unter der Seite „Warum sind so viele Pflanzen sauer? – Die Antwort gibt's bei der nächsten Station“ (Link siehe Abbildung 34). Um zur nächsten Station weitergeleitet zu werden, müssen die Schülerinnen und Schüler einen Satz vervollständigen. Der Satz lautet: „Eine organische Säure gibt _____ an die Brønsted-Base ab.“

Hier geht's weiter!



**Sammle diesen
Puzzleteil für den
Lösungssatz.**

Abbildung 35: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/sauer/weiter/>

Zur Wahl stehen „Protonen (H^+)“ „Elektronen (e^-)“ „Neutronen (n^0)“. Bei Anklicken der richtigen Antwort „Protonen“ wird direkt die Folgestation aufgerufen. Bei falscher Beantwortung muss man zurück zur gerade bearbeiteten Station (Link siehe Abbildung 36).

Bevor die Schülerinnen und Schüler den Satz beantworten, bekommen sie einen Puzzleteil für den Lösungssatz, den sie bilden können, sobald sie alle Stationen des Lehrpfads absolviert haben. Der Teil

den sie bei dieser Station erhalten ist das Wort „Reaktionen“ (Link siehe Abbildung 35). Sie bekommen ihn nur in dieser Station vor Beantwortung der Frage, weil die Station direkt mit der Folgestationverlinkt ist.



Abbildung 36: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/sauer/leider-falsch-sauer/>

16.2.5. Weiterführendes Material zur Station 1

Die Druckversion der Station, die zur Nachbereitung im Unterricht dient, kann von Lehrerinnen und Lehrern auf der Übersichtsseite des Lehrpfades (Link zur Seite: <http://augarten.chem-tracking.de/uebersicht-ueber-alle-stationen/>) downgeloadet werden und befindet sich in dieser Arbeit im Anhang. Diese beinhaltet bei dieser Station bereits einige weiterführende Übungsaufgaben. Eine Aufgabe des Übungsblattes besteht darin, dass die Schülerinnen und Schüler ihre Erfahrungen über die Bearbeitung der Station in Erinnerung rufen und darüber austauschen. In einer anderen Aufgabe sollen sie Brønsted-Säure und Brønsted-Base in Reaktionen erkennen und beschriften. Es sind Reaktionen von organischen Säureteilchen mit Wassermolekülen. Weiters sollen die Schülerinnen und Schüler die Carboxygruppe identifizieren und markieren, ebenso wie die Wasserstoffe von denen bevorzugt das Proton abgegeben wird. Eine Reaktion ist beispielhaft vorgegeben. Auf einem Extrablatt befindet sich die Auflösung zu dieser Übung. Als Vertiefung der Übung kann eine der Reaktionen an Modellstrukturen aus dem Modellbaukasten nachgebildet werden.

Für diese Station würde es sich eignen ein Übersichtsblatt zu gestalten, bei dem das Säure-Basen-Konzept nach Brønsted vorgestellt wird. In diesem Überblick sollte eine Einleitung enthalten sein, die erklärt, dass es historisch gesehen verschiedene Auffassungen von Säuren und Basen gibt und deshalb verschiedene Säure-Basen-Konzepte existieren. Es soll begründet werden, dass das Brønsted-Konzept für den Lehrpfad herangezogen wird, weil es in der Lage ist viele verschiedene Phänomene zu erklären und, weil es sich gut auf das Lewis-Konzept erweitern lässt. Der Hauptteil des

Informationsblattes sollte dann das Säure-Basen-Konzept konkret einführen. Es sollten die Definition von Säuren und Basen genannt, eine allgemeine Reaktionsgleichung abgebildet und beispielhaft Reaktionsgleichungen in Wortformeln und Ionenschreibweise angegeben werden. Dabei sollten jeweils die Brønsted-Säuren und Brønsted-Basen markiert und beschriftet werden. Es sollte zudem die zentrale Aussage formuliert werden, dass die Reaktion durch eine Protonenübertragung gekennzeichnet ist. Als Übung könnten die Schülerinnen und Schüler aufgefordert werden die Ladung der beteiligten Teilchen zu kontrollieren und den Wasserstoff zu markieren, dessen Proton aufgenommen bzw. abgegeben wurde. Auf dem Informationsblatt sollte außerdem stehen, dass ein Teilchen als Brønsted-Säure wirken kann, wenn es einen Wasserstoff besitzt, dessen Proton abgegeben werden kann und dass ein Teilchen als Brønsted-Base reagieren kann, wenn es ein freies Elektronenpaar besitzt, durch das ein Proton von einem anderen Teilchen aufgenommen werden kann. Zu dieser Information könnte ebenfalls eine Übung geboten werden. Dazu können Strukturformeln verschiedener Teilchen angegeben werden. Schülerinnen und Schüler sollen jedes Teilchen darauf beurteilen, ob es als Brønsted-Säure oder Brønsted-Base wirken kann, und welches Kriterium dafürspricht.

Ein weiterführender Versuch, der in der Schule durchgenommen werden kann, ist die Isolation von Zitronensäure aus Zitronensaft. Für die Extraktion werden eine Zitronenpresse, ein 100ml-Erlenmeyerkolben, ein 100ml Becherglas, ein Stofftuch, ein Stativmaterial, ein Trichter, eine Tropfpipette, ein Magnetheizrührer und ein Glasstab, sowie eine Nutsche, eine Saugflasche mit Gummikonus, eine Wasserstrahlpumpe mit Vakuumschlauch, einen 50ml Messzylinder und ein Rundfilter benötigt. Abgesehen von Zitronen werden als Chemikalien 20%ige Ammoniaklösung Indikatorpapier, destilliertes Wasser und Kalziumchlorid benötigt.

Für die Durchführung der Extraktion werden zuerst die zwei Zitronen gepresst. Der Zitronensaft wird in einem Erlenmeyerkolben tropfenweise mit Ammoniaklösung versetzt, solange bis die Lösung basisch reagiert. Dafür muss der pH-Wert mit dem Indikatorpapier geprüft werden. Die Lösung wird durch ein Stofftuch in ein Becherglas überführt. Im Filtrat befindet sich das entstandene Ammoniumcitrat. Dieses wird mit einer Kalziumchloridlösung versetzt, die aus 15g Kalziumchlorid und 40mL destilliertem Wasser hergestellt wird. Zusammen werden diese gekocht, bis das unlösliche Kalziumcitrat ausfällt. Der weiße Niederschlag wird mittels Saugflasche und Nutsche durch die Wasserstrahlpumpe abgesaugt, mit destilliertem Wasser gewaschen und getrocknet (Schulversuchspraktikum SS2018).

Dieser Versuch eignet sich als Demonstrationsversuch. Dabei können auch Zwischenstufen (1. gepresste Zitronen, 2. das ausgefallene Kalziumcitrat, 3. extrahierte und getrocknete Zitronensäure) des Versuches vorbereitet und diese präsentiert werden.

16.3. Didaktische Strukturierung der Station „In den sauren Apfel beißen“



Abbildung 37: Startseite der Station 2

16.3.1. Intention der Station 2

Die Station „In den sauren Apfel beißen“ dient zur Vertiefung der Auseinandersetzung mit organischen Säuren. Zum einen werden verschiedene Inhaltsstoffe eines Apfels exemplarisch aufgezeigt. Zum anderen werden Abbildungen von Strukturformeln genutzt, um auf spielerische Weise das Erkennen der funktionellen Gruppe der Carboxygruppe zu üben. Die Station gibt zudem einen Einblick in die Bedeutung von „Säuren“ für Früchte im biologischen Sinne. Der Weblink zu dieser Station lautet: <http://augarten.chem-tracking.de/apfel/>.

16.3.2. Grundideen der Station 2

Diese Station bezieht sich auf drei Grundideen zum Thema der „Säuren und Basen“ am Beispiel des Apfels. Der erste grundlegende Gedanke, der vermittelt werden soll, ist: „Organische Säuren machen den Apfel sauer“. Die zweite Grundidee ist „Organische Säuren können an ihrer Carboxygruppe, von deren Wasserstoff bevorzugt ein Proton abgegeben wird, erkannt werden“. Diese soll durch praktische Anwendung erfasst und das Erkennen der Carboxygruppe geübt werden. Der dritte Grundgedanke ist „Der saure pH-Wert dient zur chemischen Abwehr, zur Abwehr von Fraßfeinden und zur Regulierung von Enzymtätigkeit“. Dieser Gedanke wird nur theoretisch und anhand von Beispielen und Bildern vermittelt.

Für die Vermittlung des Grundgedankens „Organische Säuren sind erkennbar an der Carboxygruppe“ ist naheliegend, dass sie als Gelegenheit genutzt wird, um das Erkennen der Struktur der Carboxygruppe zu üben.

16.3.3. Konsequenzen aus naturwissenschaftlicher Betrachtung und Perspektive der Schülerinnen und Schüler für die Strukturierung der Station 2

Da diese Station eine Weiterführung der Station „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“ ist, wurden im Allgemeinen die Konsequenzen aus naturwissenschaftlicher Betrachtung und der Perspektive von Schülerinnen und Schülern bereits dargestellt (Kapitel 16.2.3). Es werden hier nur zwei Aspekte genannt, die sich direkt auf Inhalte dieser Station beziehen. Bei der Station „In den sauren Apfel beißen“ kann sein, dass die ersten Assoziationen der Schülerinnen und Schüler sich auf den Geschmackseindruck „sauer“ richten. Schülerinnen und Schüler haben vermutlich die

Erfahrung gemacht, dass Früchte sauer schmecken können. Weshalb sie dies tun und was den sauren Charakter bewirkt, darüber soll die Station informieren. In manchen Schulbüchern wird im Zusammenhang mit organischen Säuren deren Wirkung gegen Verderben von Speisen aufgezeigt. In der Station wird dargestellt, wie diese Wirkung in Pflanzen angewendet wird, sowie weitere Nutzen von organischen Säuren für Pflanzen und deren Früchte. Es wird also die chemisch-biologische Bedeutung der sauren Lösung im Apfel betrachtet.

Der zweite Aspekt bezieht sich auf organische Säuren und Strukturen. Da die Schülerinnen und Schüler der Unterstufe organische Säuren noch nicht explizit gelernt haben, werden sie diesbezüglich noch nicht so sehr vom Chemieunterricht geprägt sein. Der Vorteil darin ist, dass dadurch das Verstehen der Gemeinsamkeit, bzw. die gleiche Wirkungsweise (Abspaltung von Protonen) bei anorganischen und organischen Säuren von vornherein gestärkt werden kann, noch bevor „in zwei getrennten Kategorien“ gedacht wird. Es kann also von Beginn an die organische Säure auch als Brønsted-Säure erkannt werden. Dass organische Säuren den Lernenden neu sind, kann jedoch auch dazu führen, dass die Schülerinnen und Schüler mit deren Struktur und mit der Strukturformelschreibweise erst vertraut werden müssen.

Weil die Thematik der organischen Säuren in dieser Form den Schülerinnen und Schülern neu ist, in der Natur aber viele organische Säuren vorkommen, wurde die Thematik der „Säuren in der Natur“ auf zwei Stationen aufgeteilt. So konnten in der Station *„Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur“* die Protolyse und das Vorkommen der Säuren in der Natur im Vordergrund stehen, während in dieser Station Zeit für die Auseinandersetzung mit den Strukturen gegeben wird. Es kann also das Erkennen der Struktur explizit geübt werden.

16.3.4. Methodische Einbettung der Station 2

Die Station wird durch die Redewendung: Da musst du *„In den sauren Apfel beißen“* eingeleitet. Diese Redewendung ist Jahrhunderte alt. Schriftlich wurde sie das erste Mal in einem Brief von Martin Luther gefunden. Sie besteht, jedoch vermutlich schon deutlich länger. „In den sauren Apfel beißen“ bedeutet, dass ein notwendiges Übel in Kauf genommen wird, dass etwas Unangenehmes, aber oft Notwendiges getan werden muss, das Überwindung kostet. So wie wenn man bei Hunger nur einen sauren Apfel zur Verfügung hat. In so einem Fall wird, um den Hunger zu stillen, der unangenehme Geschmack in Kauf genommen (Udem, 2020). Die Redewendung greift die Erfahrung auf, dass Früchte sauer schmecken können und schafft durch die Redewendung auch einen weiteren Anknüpfungspunkt an etwas „Vertrautes“. Ausgehend von der Erfahrung des sauren Geschmacks werden in der Startseite der Station *„Da musst du in den sauren Apfel beißen“* (Link unter: <http://augarten.chem-tracking.de/apfel/>) zwei Fragen in den Raum gestellt, um die

Neugierde zu wecken. Außerdem wird angekündigt, dass in dieser Station ein Lösungswort herausgefunden werden muss, um einen Hinweis für die nächste Station zu erhalten.



Abbildung 38: Link zur Seite: <http://augarten.chen-tracking.de/apfel/pflanzen>

Die erste Frage „Warum ist der Apfel überhaupt sauer?“ soll darauf hinweisen, dass Äpfel nicht zufällig Säuren besitzen, sondern, dass Pflanzen und besonders Früchte der Pflanzen einen biologischen Nutzen an den organischen Säuren haben. Diese Frage wird in der Unterseite „*Warum sind so viele Zellsäfte und Säfte von Früchten sauer? – Ein Blick in die Biologie*“ aufgeklärt (Link siehe Abbildung 38). Dabei wird in der Station die Gelegenheit genutzt, Quervernetzungen zwischen Natur und dem Thema herzustellen, sowie die Bedeutung von Säuren für Früchte und Pflanzen interdisziplinär aufzuarbeiten. Das entspricht der Qualität von Outdoor

Learning, die Möglichkeit zur Koppelung von Phänomenen in der Natur und Theorie, aber auch die Vernetzung von verschiedenen Fächern zu schaffen. Konkret werden in der Station biologische und chemische Inhalte vernetzt, indem die Bedeutung der organischen Säuren für Pflanzen als chemischer Schutz und der pH-Wert als Regler für Enzyme erläutert wird.

Zuerst wird auf die Untersuchung der vorherigen Station zurückgegriffen, dass die wässrigen Proben von Pflanzenteilen vorrangig sauer waren. Durch die Frage warum Säfte von Pflanzen sauer sind wird die Erklärung eingeleitet. Da der Zellsaft mit den darin gelösten Stoffen in den Zellsaftvakuolen den größten Beitrag zum sauren Charakter beiträgt (Lingenhöhl, 2001), werden diese auch genannt. Es wird darauf hingewiesen, dass beim Zerreiben bzw. Zerreißen der Pflanzenproben Pflanzenzellen aufgebrochen werden und so der Zellsaft freigesetzt wird. Damit die Schülerinnen und Schüler diese Information einordnen können ist auch die Abbildung einer Pflanzenzelle angeboten, bei der die Zellsaftvakuole, als Speicherorgan hervorgehoben ist (siehe Abbildung 39).

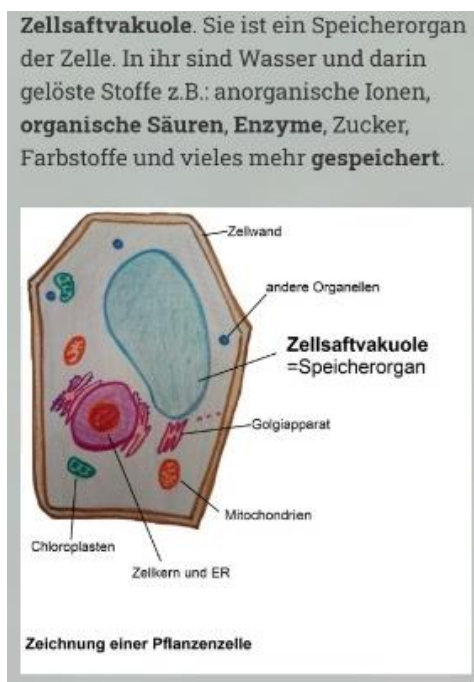


Abbildung 39: Aufbau einer Pflanzenzelle

Anschließend wird Auskunft über die biologische Bedeutung des pH-Werts des Apfels zur Regulierung von Enzymen, zur Abwehr gegen Fraßfeinde und zur chemischen Abwehr gegen

Mikroorganismen gegeben. Zur Abwehr gegen Fraßfeinde wird angegeben, dass in unreifen Früchten der saure Geschmack Tiere davon abhält die Früchte zu fressen, wodurch die Pflanzensamen ungehindert reifen können. Die reifen Früchte sollen wiederum zum Fressen einladen, damit die Samen verbreitet werden. Zur chemischen Abwehr gegen Mikroorganismen, wie Bakterien, Pilze und andere Krankheitserreger wird das saure Milieu genannt, das analog auch auf unserer Haut, als Säureschutzmantel auftritt. Dieser ist eine fettige Schicht auf der Haut, die aus Talg und Schweiß gebildet wird. Sie hat einen pH-Wert von etwa 4,5 (Senger, 2013). Hier wird an die Lebenswelt angeknüpft in dem pH-hautneutrales Duschgel erläutert wird (siehe Abbildung 40). Dieses ist leicht sauer um den Säureschutzmantel nicht zu zerstören .



Abbildung 40: pH-hautneutrales Duschgel



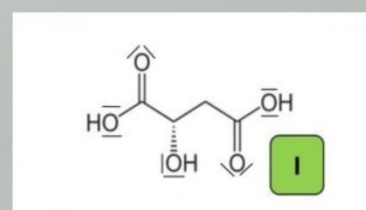
Abbildung 41: Link zur Seite:
<http://augarten.chemtracking.de/apfel/sauer/>

Die zweite Frage „Doch was genau macht den Apfel sauer?“ wird genutzt, um die Schülerinnen und Schüler in die Auseinandersetzung mit den Inhaltsstoffen eines Apfels zu führen, um dabei klarzustellen, dass Äpfel unter anderem einige organische Säuren beinhalten. Diese Frage wird in der Unterseite „Was macht den Apfel sauer? – Ein Blick auf die Inhaltsstoffe des Apfels“ behandelt (Link siehe Abbildung 41). In diesem Teil der Station findet die Aktivität statt. Die Auseinandersetzung mit den Inhaltsstoffen des Apfels geschieht rein auf dem Handy.

Zunächst wird erklärt, wie die aktive Auseinandersetzung mit dem Thema, in dieser Station aussieht. Die Schülerinnen und Schüler bekommen die Aufgabe, anhand der Strukturen von gewählten Inhaltsstoffen des Apfels zu beurteilen, ob es sich bei der jeweiligen Struktur um eine organische Säure handelt, oder eine andere organische Verbindung. Demnach wird deutlich, ob eine Verbindung zum sauren Charakter des Apfels beiträgt. Da die Schülerinnen und Schüler den Lehrpfad in Gruppen durchlaufen, die primär nicht von einer Lehrperson begleitet sind, kann nicht durch Nachfragen oder Beobachten festgestellt werden, ob die Schülerinnen und Schüler die Carboxygruppe bereits wiedererkennen. Um dies sicherzustellen wurde ein Quiz eingebaut. Die Schülerinnen und Schüler sollen ausgewählte Inhaltsstoffe eines Apfels anhand der

Beispiel 2:

Auch das folgende Molekül ist eine Säure, die Apfelsäure.



Aufgabe:

Finde nun weitere Säuren, wenn du alle gefunden hast, kannst du mit den Buchstaben in den grünen Kästen ein Lösungswort bilden. (Die Buchstaben aus den Beispielen gehören dazu) Mit diesem gelangst du **hier** dann zur nächsten Station!

Abbildung 42: Beispielstruktur vom Quiz

Strukturformel darauf beurteilen, ob sie zum sauren Charakter des Apfels beitragen. Dazu sollen sie die Strukturen mit der Carboxygruppe identifizieren. Für das Quiz sind Abbildungen von Strukturformeln beispielhafter Inhaltsstoffe aus einem Apfel auf der Webseite abgebildet. Jeder der Abbildungen ist ein Buchstabe zugeordnet (siehe Abbildung 42). Die Buchstaben der organischen Säuren können zu einem Lösungswort zusammengeführt werden. Bevor die Schülerinnen und Schüler die Inhaltsstoffe selbst beurteilen sind zwei Beispielinhaltsstoffe gegeben, die organischen Säuren sind. Die Inhaltsstoffe sind in Skelettschreibweise angegeben, damit die Carboxygruppen deutlich erkennbar sind. Die Carboxygruppen sind weder bei den Beispielsäuren noch bei den weiteren Säuren des Apfels markiert, damit die Carboxygruppe von den Schülerinnen und Schülern selbständig erkannt wird.



Abbildung 43: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/apfel/hilfe/>

Innerhalb dieser Unterseite gibt es einen Link „Hilfe zur Aufgabe. – Was sind nochmal organische Säuren?“, diese bieten Hilfestellungen zum Quiz (Link siehe Abbildung 43). Diese Seite ist für jene, die noch mehr Hilfe brauchen, die Theorie wiederholen, oder mit der Schreibweise vertraut werden wollen. Es handelt sich um

eine Verlinkung mit den Seiten „Was macht die Zellsäfte sauer?“ und „Wie kann man organische Moleküle darstellen und beschreiben?“. Die Seite „Was macht die Zellsäfte sauer?“ beinhaltet die Erklärungen der vorherigen Station, bei der die organischen Säuren und damit die Carboxygruppe vorgestellt werden. Die Seite „Wie kann man organische Moleküle darstellen und beschreiben?“ stellt verschiedene Schreibweisen am Beispiel der Zitronensäure vor. Von den beiden Hilfestellungen kommen

die Schülerinnen und Schüler nur zur jeweils anderen Hilfestellung, sowie zur Startseite der Station oder zur Aufgabe zurück.



Abbildung 45: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/apfel/weiter/>

Um zur nächsten Station zu gelangen müssen die Schülerinnen und Schüler die Strukturformeln organischer Säuren identifizieren und aus den Buchstaben, die den Bildern zugeordnet sind, das Lösungswort „WIEN“ bilden (Link siehe Abbildung 45). Gelingt es ihnen, gelangen sie durch Anklicken des Lösungswortes zu einer Auflösung über die Inhaltsstoffe eines Apfels, und die darin enthaltenen organischen Säuren. Die organischen



Abbildung 44: Beispiel zur Auflösung

Säuren sind mit ihren Namen bezeichnet und die Carboxygruppe, sowie das Wasserstoffatom der Carboxygruppe farblich markiert. (siehe Abbildung 44) Die übrigen Bestandteile bzw. Gruppen werden nur namentlich genannt. Außerdem bekommen die Schülerinnen und Schüler für den Lösungssatz des Lehrpfades das Wort „statt.“ und einen Hinweis zum Standort der Folgestation.

16.3.5. Weiterführendes Material zur Station 2

Da diese und die vorherige Station zusammengehören gibt es für beide Stationen gemeinsame weiterführende Materialien, die bereits bei der vorherigen Station beschrieben wurden. Zudem gibt es natürlich auch die Druckversion dieser Station auf der Übersichtsseite über alle Stationen.

16.4. Didaktische Strukturierung der Station „Untersuchung von Pflanzenasche“

16.4.1. Intention der Station 3



Abbildung 46: Startseite der Station 3

Die Station „Untersuchung von Pflanzenasche“ bietet das Gegenstück zur Station „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“ Hier wird eine von den Schülerinnen und Schülern hergestellte Aschelösung auf ihren pH-Wert untersucht und eine Erklärung geboten, weshalb die Pflanzensäfte in Wasser saure Lösungen bilden, aber nach Verbrennung einer Pflanze aus deren Asche, die mit Wasser angerührt wird, basische Lösungen entstehen. Als Vernetzung mit dem Alltag werden Verwendungsmöglichkeiten von Asche aufgezeigt. Außerdem wird erläutert, was Pflanzen- bzw. Holzasche ist und was im Gegensatz dazu Holzkohle ist. Der Weblink zu dieser Station ist: <http://augarten.chem-tracking.de/asche/>.

16.4.2. Grundideen der Station 3

Die Basisgrundidee, auf der alles weitere aufbaut, lautet: „basische Lösungen haben einen pH-Wert über sieben“. Am Versuch kann festgestellt werden: „Aschelösungen bilden basische Lösungen, (auch alkalische Lösungen genannt)“. Analog zu sauren Lösungen werden basische Lösungen erläutert. Es wird vermittelt „Bei basischen Lösungen reagieren Baseteilchen mit Wassermolekülen zu Hydroxidionen und Baserestkationen“. Weshalb Asche mit Wasser basische Lösungen bildet, lässt sich auch auf der Teilchenebene erklären, denn „Metalloxide bilden mit Kohlenstoffdioxid Carbonate, die in wässriger Lösung basisch reagieren“. Ein konkretes Beispiel ist die Pottasche. „Kaliumcarbonat wird Pottasche genannt“. Diese „Pottasche kann als Backtriebmittel oder Waschmittel verwendet werden“. In einem Exkurs wird auch die Unterscheidung von Asche zu

Kohle erläutert. „Holzkohle entsteht durch Pyrolyse, dabei entstehen auch Kohlenmonoxid, Methanol, Formaldehyd, Essigsäure, Ameisensäure und Wasserstoff.“

Die zentralen Grundideen der Station betreffen das Verstehen von basischen Lösungen und deren Bedeutung im Alltag und in der Natur am Beispiel von Aschelösungen.

16.4.3. Konsequenzen aus naturwissenschaftlicher Betrachtung und Perspektive der Schülerinnen und Schüler für die Strukturierung der Station 3

Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?



Sieh dich um. Am Boden liegen viele trockene Äste. Wenn man sie verbrennt, entsteht Asche. Du hast eine Holz- oder Pflanzenasche mitgebracht.

Versuch 1:

Versetze ungefähr zwei Teelöffel der Asche mit zirka der gleichen Menge Wasser. Die Asche sollte gut mit Wasser bedeckt sein. Rühre gut um und warte einige Minuten.

Teste nun den pH-Wert.

Was stellst du fest?

Mache ein **Beweisfoto**, auf dem das Indikatorpapier, die Indikatorskala und die Asche oder Aschelösung ist. *Dann kannst du dich auch später daran erinnern, welchen pH-Wert die Aschelösung hat.*

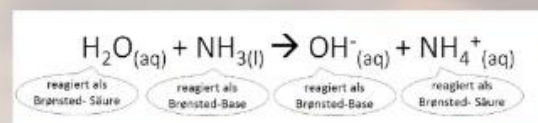
Abbildung 47: Startseite mit Versuchsanleitung

Die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu „Basen“ sind gegenüber Vorstellungen von „Säuren“ weniger ausgeprägt. Basen werden häufig vernachlässigt. Eine gängige Vorstellung von Schülerinnen und Schülern über „Basen“ besteht in einer aufhebenden oder hemmenden Wirkung von „Säuren“ und deren Wirkung. Zudem ist in Köpfen von Schülerinnen und Schülern die antagonistische Wirkung der beiden verankert, die mit dem Brønsted-Konzept übereinstimmt. Diese Wirkung wird jedoch vorrangig als Ergänzung zu „Säuren“ betrachtet. Wenn Basen nicht nur als Ausgleich für Säuren gesehen werden sollen ist wichtig, dass Schülerinnen und Schüler über Basen ebenso genau informiert werden, wie über Säuren. Deshalb ist wesentlich, dass im Lehrpfad auch eine Station ist, die von Basen handelt. Es soll deutlich werden, dass auch Basen in der Natur vorkommen, auch wenn die Station etwas inszeniert werden muss. Die wichtigste Konsequenz im Bezug zu den Schülerinnen- und Schülervorstellungen ist, zu vermitteln, dass Basen ebenso präsent sind wie Säuren. In dieser Station werden die Schülerinnen und Schüler konkret auf basische Lösungen aufmerksam gemacht. Im Augarten sind basische Lösungen schwerer zugänglich als saure Lösungen. Aufgrund der Wichtigkeit, auch basische Lösungen zu behandeln, wurde der Kompromiss gefasst, dass für diese Station Asche mitgebracht wird. Damit die Station dennoch in Bezug zur

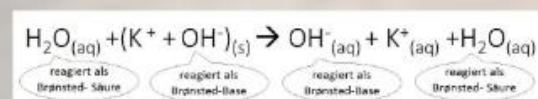
Umgebung steht wird in der Versuchsanleitung auf das Streuholz in der Umgebung aufmerksam gemacht, das durch Verbrennen zu Asche wird, wie sie auch die Asche bereits in der Schule vorbereitet haben. Dadurch soll die Brücke zwischen Lernort und Inhalt geschlagen werden.

Die Station beginnt mit dem Versuch, bei dem eine Aschelösung hergestellt und getestet wird. Bei dieser Station ist also der Versuch per se das Phänomen, das betrachtet wird, deshalb ist in dieser Station die Versuchsanleitung bereits in der Startseite integriert (siehe Abbildung 47). Für die Gruppen, die diese Station vor der Station „Farbenspiel mit Bedeutung“ durchführen, kann die selbst hergestellte Aschelösung für den Versuch der Station „Farbenspiel mit Bedeutung“ verwendet werden.

Du kennst wahrscheinlich dieses Beispiel aus der Schule:



Ein schwierigeres Beispiel ist die Entstehung der Kaliumlauge:



Das Wassermolekül (H_2O) gibt ein Proton (H^{+} -Ion) ab und reagiert als Brønsted-Säure. Das Hydroxidion (OH^{-} -Ion) des Kaliumhydroxids (KOH) nimmt ein Proton (H^{+} -Ion) auf und reagiert als Brønsted-Base. Es entsteht ein anderes Wassermolekül (H_2O) und ein Hydroxidion (OH^{-} -Ion), das in Wasser gelöst ist. Das Kaliumion (K^{+} -Ion) wird ebenfalls von Wassermolekülen (H_2O) umhüllt.

Abbildung 48: Beispiel Reaktionen

Basen werden von Schülerinnen und Schülern gesehen als das was die Wirkung der Säure aufhebt. Aus naturwissenschaftlicher Sicht ist zu betonen, dass die beiden als Antonyme wirken können. Basen bzw. basische Lösungen sollen demnach in einem analogen Erklärungsstrang bearbeitet werden. Entsprechend der Schülerinnen- und Schülervorstellungen und dem Brønsted-Konzept sollen „Basen“ als antagonistisch zu „Säuren“ dargestellt werden. Deshalb werden Brønsted-Basen und basische Lösungen in einer analogen Form aufbereitet wie Brønsted-Säuren und saure Lösungen. Sie sollen dabei nicht nur in Bezug auf Säuren behandelt werden. Deshalb wird eine ganze Station den basischen Lösungen gewidmet.

Als Beispiel dienen wässrige Lösungen von Pflanzen- oder Holzasche. Wie bei der Station über saure Lösungen soll auch bei dieser Station das Säure-Basen-Konzept nach Brønsted durchgängig genutzt werden. Es wird zunächst das allgemeine Reaktionsschema der Säure-Basen-Reaktion gezeigt. Über basische Lösungen wird gesagt, dass die Reaktion von Baseteilchen und Wassermolekülen diesen Lösungen zu Grunde liegt. Zuerst wird dazu eine allgemeine Wortformel formuliert und erläutert, dass das Baseteilchen ein Proton eines Wasserteilchens aufnimmt (siehe Abbildung 48). Im Anschluss wird ein Beispiel gegeben. Dazu dient die Reaktion von Ammoniakteilchen und

Wassermolekülen zu Hydroxidionen und Ammoniumionen, weil dieses Beispiel einfach ist, da keine Gegenionen von der Reaktion ablenken. Weiters wird das Beispiel von Kaliumhydroxidteilchen und Wassermolekülen dargestellt, bei dem die Hydroxidionen als Brønsted-Base und die Wassermoleküle als Brønsted-Säuren markiert werden. Das Beispiel wird gegeben, weil es ein Beispiel aus der Aschelösung ist. Als Begriff für die wässrige Holz- oder Pflanzenascheprobe wird das Wort Aschelösung verwendet, auch, wenn nicht alle Bestandteile in Lösung gehen. Der Begriff wird deshalb gewählt, weil die basische Lösung betrachtet wird und somit die gelösten Anteile von Bedeutung sind.

16.4.4. Methodische Einbettung der Station 3

Basische Lösungen und deren zugrundeliegende Reaktion werden exemplarisch an einer Aschelösung erarbeitet.

Die Erklärung der Entstehung von Kaliumcarbonat (=Pottasche) dient exemplarisch, um basische



Abbildung 49: Link zur Seite Untersuchung der Pflanzenasche:
<http://augarten.chem-tracking.de/asche/>

Lösungen auf der Teilchenebene zu erklären. Über die Thematik der Pottasche wird somit das Vernetzen der chemischen Inhalte auf der Teilchenebene mit der Lebenswelt angestrebt. Dabei ist die Station „Untersuchung von Pflanzenasche“ in vier Unterteile gegliedert. Die Startseite der Station „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur? – Untersuchung von Pflanzenasche“ enthält eine kurze, aber eindeutige Anleitung zur Herstellung einer Pflanzen- oder Holzaschelösung und Testung des pH-Wertes (Link siehe Abbildung 49).



Abbildung 50: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/asche/teilchenebene/>

Die Erklärungen dazu finden sich auf der Seite „Warum hat Asche diesen pH-Wert? – Ein Blick auf die Ebene der Teilchen“ (Link siehe Abbildung 50). Bei dieser Station wird zur Erklärung auf der Phänomenebene festgehalten, dass die Aschelösung einen pH-Wert über sieben hat und somit basisch ist. Wie bereits in der Station über saure Lösungen, findet die Erklärung so statt, dass zunächst die phänomenale Ebene aufgegriffen und im Anschluss die Teilchenebene erklärt wird. Dann wird erläutert, dass der basische pH-Wert, im Vergleich zum sauren pH-Wert von Pflanzenlösungen, durch die enthaltenen Metallkationen kommt, die durch die Verbrennung des organischen Anteiles zu Oxiden und Carbonaten führen. Als Beispiel wird Kaliumcarbonat (=Pottasche) angeführt. Da die Erklärung auf der Phänomenebene ist, werden die Reaktionsgleichungen als Wortformeln und Summenformeln angegeben. Der Prozess des Auslaugens wird genannt und Lauge als ein anderer

Begriff für basische Lösungen deklariert. Im Anschluss werden basische Lösungen auf der Teilchenebene behandelt, wie bereits weiter oben ausgeführt wurde.



Abbildung 51: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/asche/verwendung/>



Abbildung 52: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/asche>



Abbildung 53: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/asche/hinweis-asche/>

In der Unterseite der Station „Wofür kann man Asche verwenden? – Asche ist nützlicher als du denkst!“ bietet die Station Zukunftsrelevanz im Bereich der „life hacks“ und im „outdoor“ Kontext (Link siehe Abbildung 51). Dazu werden die Möglichkeiten Pottasche als Backtriebmittel oder Outdoorseife zu nutzen aufgezeigt. Zudem gibt die Seite weiterführende Informationen über die Bedeutung des Wortes „alkalisch“, sowie über die historische Nutzung von Pottasche.

Da im Versuch Holz- oder Pflanzenasche genutzt wird und die Verbrennung von Holz erwähnt wird, ergibt sich eine Thematik, die als Exkurs in die Station mit hineingenommen wird. Es ist davon auszugehen, dass die Schülerinnen und Schüler sowohl Asche als auch Holzkohle aus der Lebenswelt kennen. Es ist jedoch möglich, dass Schülerinnen und Schülern der Unterschied von Asche und Holzkohle nicht bekannt ist. Darüber bietet die Unterseite „Was ist eigentlich der Unterschied zwischen – Asche und Holzkohle? – Ein Blick auf die Herstellung“ Aufschluss (Link siehe Abbildung 52). Darin wird auch als Exkurs die Herstellung von Holzkohle und Holzasche erläutert.

Um zur nächsten Station zu gelangen müssen die Schülerinnen und Schüler die Frage beantworten: „Was kennzeichnet eine Brønsted-Base?“ Als Antwortmöglichkeiten stehen „1. Sie kann ein Proton (H^+) abgeben.“, „2. Sie kann ein Proton (H^+) aufnehmen.“ und „3. Sie kann ein Hydroxidion (OH^-) aufnehmen.“ zur Wahl (Link siehe Abbildung 53). Wird die Antwort richtig mit 2. beantwortet, so

bekommen die Schülerinnen und Schüler einen Hinweis für den Standort der nächsten Station und einen Teil für den Lösungssatz des Lehrpfades (Link siehe Abbildung 54), sonst werden sie zurück zur momentanen Station verlinkt (Link siehe Abbildung 55).

16.4.5. Weiterführendes Material zur Station 3

Als weiterführende Versuche eignet es sich, die hygroskopische Wirkung von Asche zu testen. Pottasche zu isolieren und Kalium spektroskopisch nachzuweisen. Anleitungen sowie

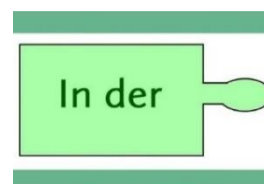


Abbildung 54: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/asche/richtig-asche/>



Abbildung 55: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/asche/falsch-asche/>

Interpretationen dazu finden sich auf der Webseite von Prof. Blume. (Link unter: https://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/02_05.htm)

16.5. Didaktische Strukturierung der Station „Stephansdom und Schneckenhaus“



Abbildung 56: Startseite der Station 4

16.5.1. Intention der Station 4

Die Station „Stephansdom und Schneckenhaus“ soll die chemische Reaktion zwischen Kalk und saurer Lösung repräsentieren. Diese soll hier exemplarisch am Schneckenhaus erprobt und deren Bedeutung anhand des Stephansdoms erläutert werden. Durch die Station sollen die Schülerinnen und Schüler die Nachweisreaktion für den qualitativen Nachweis von Kalk durch saure Lösung kennenlernen. An Naturmaterialien (Steine, Schneckenhäuser,...) können sie die Methode anwenden und testen, ob diese kalkhaltig sind, oder eben nicht. Durch die Station soll außerdem deutlich werden, dass saure Lösungen nicht vernichtend wirken, sondern mit einem Reaktionspartner zu weiteren Produkten reagieren. Der Weblink zu dieser Station ist: <http://augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus/>.

16.5.2. Grundideen der Station 4

Die Station greift auf fünf elementare Grundideen zurück. Die erste behandelt die Reaktion von Kalk mit Säure, „Kalk und saure Lösungen reagieren zu Kohlensäure und Kalzium-Ionen, Kohlensäure zersetzt sich zu Wasser und Kohlenstoffdioxid“. Diese Idee ist eng verbunden mit der Idee „alle vorkommenden Atomsorten bleiben erhalten“. Die Reaktion führt zu einer Umwandlung, aber nicht zu einer Vernichtung. Eine weitere Grundidee stellt klar, „Schneckenhäuser und der Stephansdom enthalten Kalk (Kalziumcarbonat-Verbindungen)“. Ganz allgemein soll deutlich werden: „kalkhaltige Materialien, die dem Wetter ausgesetzt sind, werden durch chemische Verwitterung abgetragen. Dabei entstehen typisch abgerundete Formen.“ Das Prinzip wird auf den Stephansdom angewendet und so gezeigt, dass der Stephansdom mit saurem Regen in gleicher Weise reagiert und deshalb laufend renoviert werden muss. Schließlich soll auch klargestellt werden „Saure Lösung kann benutzt werden, um Kalk in Gesteinen nachzuweisen“.

16.5.3. Konsequenzen aus naturwissenschaftlicher Betrachtung und Perspektive der Schülerinnen und Schüler für die Strukturierung der Station 4

Unter Schülerinnen und Schülern tritt die Vorstellung auf, dass „Säuren“ oder saure Lösungen vernichtend wirken, dass sie Material zerstören. Bei dieser Station soll dieser Vorstellung der unspezifischen „Zerstörung“ entgegengewirkt werden, indem die spezifische Reaktion aufgezeigt wird. Auf der Phänomenebene lässt sich erkennen, dass der Feststoff weniger wird und dass eine Gasentwicklung stattfindet. Darin, dass der Feststoff nach Zugabe einer sauren Lösung nichtmehr als solcher vorliegt gibt es Übereinstimmung zwischen der Schülerinnen- und Schülervorstellung sowie der naturwissenschaftlichen Betrachtung. Die Vorstellungen unterscheiden sich jedoch darin, dass aus naturwissenschaftlicher Sicht die Reaktion spezifisch ist und, dass die Masse bzw. die Atomsorten konstant bleiben, während in der Vorstellung von Schülerinnen und Schülern „Vernichtung“ stattfindet. Für den Lehrpfad wird deshalb durch die repräsentative Ebene aufgezeigt, dass keine Vernichtung, sondern eine Umwandlung stattfindet. In der Reaktionsgleichung lässt sich beispielsweise nachzählen, dass die ursprünglichen Atomsorten vorhanden bleiben. Für die Wortwahl bedeutet es, dass das Wort „lösen“ gegenüber dem Wort „auflösen“ bevorzugt wird, da zweites eine Vernichtung von Teilchen oder Stoffen suggerieren könnte. Lind und Sielaff (2009) betonen zudem, dass sich Kalk in sauren Lösungen, z.B. der Essigsäure nicht „löst“, da es sich nicht um einen physikalischen Lösungsprozess handelt, sondern um eine chemische Reaktion. Das kann verdeutlicht werden, indem die entstandenen Produkte, gasförmiges Kohlenstoffdioxid und der (gelöste) neue Feststoff Kalziumacetat, aufgezeigt werden. Der Ausdruck „lösen“ wird deshalb in Bezug auf Kalk gemieden. Einmal wird jedoch im Alltagskontext vom Kalk „lösen“ zur Reinigung eines Wasserkochers gesprochen. Dabei wird das Wort „lösen“ unter Anführungszeichen gesetzt, um zu zeigen, dass es nicht korrekt formuliert ist. Zur Wahl der Begrifflichkeiten kommt hinzu, dass für die Substanzebene der Begriff Kalk verwendet wird, aber auf der Teilchenebene von Kalziumcarbonatverbindungen gesprochen wird.

Die Reaktion von saurer Lösung und Kalk ist Schülerinnen und Schülern möglicherweise bekannt. Sie wird im Unterricht häufig nur auf der Phänomenebene betrachtet. Da sich jedoch das Säure-Basen-Konzept nach Brønsted auf die Teilchenebene bezieht, und weil auf der Teilchenebene die Erhaltung der Atomsorten deutlicher wird, soll im Lehrpfad auch dieses Phänomen auf der Teilchenebene betrachtet werden.

Die Reaktion verläuft in zwei Schritten. Die erste der beiden Reaktionen ist eine Säure-Basen-Reaktion. Die zweite, die zu den Endprodukten führt, ist es nicht. Um das Säure-Basen-Konzept nach Brønsted zu deklarieren sind für den Lehrpfad Brønsted-Säuren und Brønsted-Basen in der Reaktionsgleichung als solche gekennzeichnet. Konkret wird bei der ersten Reaktion das Carbonation als Brønsted-Base und das Hydroniumion, stellvertretend für das Säureteilchen einer

1) Zuerst reagiert ein Kalziumcarbonatteilchen (CaCO_3) mit einem Säureteilchen zu einem Kalzium-Ion und einem Kohlensäuremolekül (H_2CO_3).

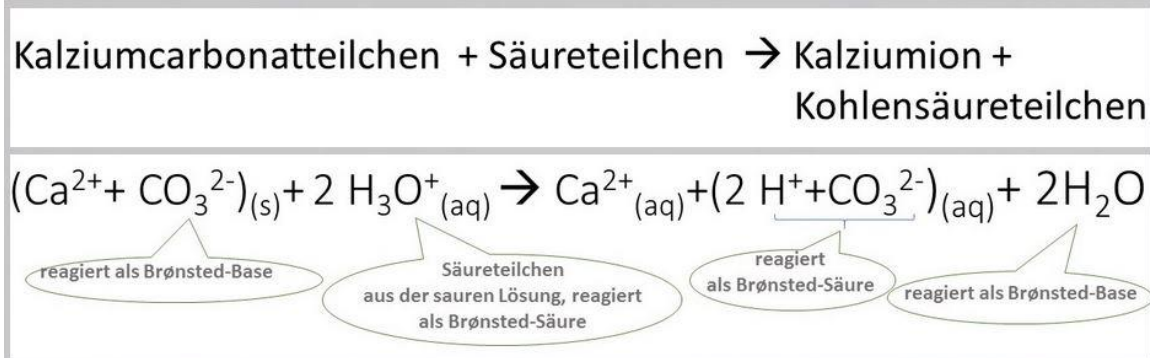


Abbildung 57: Erster Reaktionsschritt

beliebigen sauren Lösung, als Brønsted-Säure gekennzeichnet. Zur Vereinfachung wird stellvertretend für das Säureteilchen der sauren Lösung nur das Hydroniumion notiert (siehe Abbildung 57). Dadurch soll den Schülerinnen und Schülern das Beachten eines organischen Säurerestanions, das von der eigentlichen Reaktion ablenken könnte, erspart bleiben. Bei der zweiten Reaktion werden der Reaktionstyp und der Grund, weshalb die Reaktion abläuft, vernachlässigt, um beim Säure-Basen-Thema zu bleiben. In dieser Station wird die Reaktion darauf reduziert, aufzuzeigen, dass saure Lösungen Material nicht vernichten. Um das Brønsted-Konzept durchgehend anzuwenden, werden auch in dieser Station die Begriffe Säure und Base von saurer und basischer Lösung unterschieden.

16.5.4. Methodische Einbettung der Station 4

Die Station befasst sich mit dem Phänomen, dass Kalk mit sauren Lösungen reagiert. Dazu finden sich im Alltag viele kleine Beispiele (zB.: Entkalken von Haushaltsgegenständen), bei denen diese Reaktion gewünscht ist. Doch auch im Großen findet diese Reaktion statt. Sowohl bei Gebirgszügen mit kalkhaltigem Gestein, aber auch an Gebäuden aus eben diesen Gesteinen, kann chemische Verwitterung, der dieses Phänomen zugrunde liegt, beobachtet werden. In Wien ist der Stephansdom, als Wahrzeichen, dafür bekannt ständig in Renovierung zu sein. Das ist auf das Phänomen dieser Station zurückzuführen. Das Phänomen soll im Lehrpfad selbst erprobt werden. Borrowes schreibt in seinem Artikel „Chemestry outdoors“, dass die Verbindung zwischen Biologie und Umwelt leichter erfasst wird als die Verknüpfung zwischen Chemie und Umwelt, da im Moment der Beobachtung nicht der ganze chemische Prozess sichtbar wird, sondern meist nur das Resultat

oder ein Produkt (Borrows, 2006). In der Station „*Stephansdom und Schneckenhaus*“ wird der Stephansdom genutzt, um das Endstadium der Reaktion zu betrachten (siehe Abbildung 58). Der Versuch am Schneckenhaus zeigt dann exemplarisch auf, wie der Prozess verläuft. Es wird also die Schlüsselreaktion gezielt nachgestellt, um den Prozess aufzuzeigen, der in der Umwelt über einen längeren Zeitraum abläuft. Im Sinne des Outdoor Learnings werden dafür aus der Umgebung selbst aufgesammelte Schneckenhäuser herangezogen. Dabei soll Kalk als Naturmaterial wahrgenommen werden. Außerdem soll dadurch, dass das Probenmaterial direkt aus der Natur aufgesammelt und auch vor Ort getestet wird, das Naturerleben gestärkt werden und die Naturerfahrung mit der Erfahrung des chemischen Experimentierens verknüpft werden. Dass die Reaktion von den Schülerinnen und Schülern selbst erprobt werden soll, wird durch folgende Aussage angekündigt: „Probier es selbst, aber nicht am Stephansdom, sondern an einem Schneckenhaus.“ Auf der

Seite „*Wie reagieren Kalk und saure Lösungen miteinander? – Anleitung für einen Versuch*“ wird eine aktive Auseinandersetzung in Form eines Versuches durch eine prägnante Anweisung angeleitet (Link siehe Abbildung 59). Diese ermöglicht, durch eigenständiges Bearbeiten der Station, ein gewisses Maß an Autonomie. Dadurch, dass die Webseite die Aufgabe zu instruieren und anzuleiten übernimmt, wird von den Schülerinnen und Schülern eine gewisse Eigenständigkeit erfordert. Es sind nicht mehr die Lehrenden, die die Situation abstimmen, sondern eben der oder



Abbildung 59: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus/versuch/>

die Lernende selbst. Eine Wahlmöglichkeit, die den Schülerinnen und Schülern in dieser Station offensteht, betrifft auch die Form der Dokumentation. Die Schülerinnen und Schüler werden angehalten, den Versuch und die Versuchsergebnisse festzuhalten. Vorgeschlagen werden die Optionen: die Beobachtungen (Gesehenes und Gehörtes) zu notieren, oder das Phänomen zu fotografieren, bzw. den gesamten Versuch zu filmen. Bei dieser Station eignet sich für die Dokumentation ganz besonders ein Film, weil darin die Gasentwicklung, des entweichenden Kohlenstoffdioxids, dynamisch festgehalten wird. Ursprünglich sollte auch

Schneckenhaus und Stephansdom



Der Stephansdom ist das Wahrzeichen Wiens. Hast du ihn schon einmal ganz ohne Baugerüst gesehen? Vermutlich nicht!

Er ist fast immer an irgendeiner Stelle durch ein Baugerüst verdeckt. Das hat einen Grund! Der Stephansdom muss immer wieder neu renoviert werden, weil er aus Kalkstein gebaut ist.

Kalkhaltige Gesteine reagieren ganz typisch mit sauren Lösungen. Das tut auch der Stephansdom.

Probier es selbst aus, aber nicht am Stephansdom, sondern an einem Schneckenhaus.

Abbildung 58: Startseite der Station

in der Erklärung auf dieser Webseite ein Video der Reaktion von Schneckenhausplittern mit Essig eingefügt werden, doch die Datei ließ sich aus Speicherplatzgründen nicht hochladen.



Abbildung 60: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus/erklaerung/>



Abbildung 61: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus/bedeutung/>

Selbst Schülerinnen und Schüler aus anderen Bundesländern lernen ihn und sein Problem bei allgemein üblichen „Wien-Wochen/ Wien-Tagen“ kennen. Um die Reaktion noch stärker mit dem Alltag der Schülerinnen und Schüler zu verbinden werden in der Erläuterung auch Querverbindungen zum Reinigen des verkalkten Wasserkochers oder von Sanitäranlagen gesetzt. Wenn Schülerinnen und Schüler bereits wissen zu welchen Mitteln (Zitrone, Essig, Ameisensäure, ...) sie greifen müssen, wenn sie etwas entkalken möchten, dann wissen sie nach der Bearbeitung dieser Station auch, weshalb und wie es funktioniert.

Die spezifische Reaktion soll nicht nur als auftretendes Phänomen betrachtet werden, sondern es soll auch ihre Bedeutung als Nachweis für Kalk ins Zentrum gerückt werden. Die Schülerinnen und Schüler üben dabei die

Auf der Seite „Wohin ist der Kalk verschwunden? – Erklärung auf der Teilchenebene“ wird die Erklärung geboten (Link siehe Abbildung 60). Die Erklärung zu dem beobachteten Phänomen wird durch die Frage „Wohin ist der Kalk „verschwunden“?“ eingeleitet. Die Frage soll an die Vorstellung einer Vernichtung anknüpfen und die Schülerinnen und Schüler über die Erklärung zu der spezifischen Reaktion hinführen. Durch Nachzählen der Atomsorten innerhalb der Reaktionsgleichung soll die Konstanz der Atome verdeutlicht werden. Die Reaktion, die von den Schülerinnen und Schülern am Schneckenhaus beobachtet wurde, wird in der Webseite allgemein erklärt. In einer weiteren Seite, die „Bedeutung für den Stephansdom“ heißt, wird von der allgemeinen Reaktion ein Rückschluss auf das konkrete Beispiel des Stephansdomes gezogen (Link siehe Abbildung 61). Schülerinnen und Schüler, die in Wien aufwachsen oder zur Schule gehen, kennen das Wiener Wahrzeichen und sind mit großer Wahrscheinlichkeit auch schon mit seiner Renovierungsbedürftigkeit konfrontiert worden.

Selbst Schülerinnen und Schüler aus anderen Bundesländern

Wenn dein Stein mit der sauren Lösung **Bläschen** bildet, dann ist das ein Beweis, dass er auch **Kalk** enthält.



Wenn er **keine Bläschen** bildet ist es ein Beweis, dass er **keinen Kalk** enthält.



Abbildung 62: Positiv- und Negativnachweis auf Kalk

Anwendung einer Nachweisreaktion anhand einer Positivprobe (Schneckenhaus) und einer Blindprobe (beliebiges Gestein). Da nicht alle Gesteine kalkhaltig sind können Steine als Blindprobe für den Versuch herangezogen werden. Im Wesentlichen treten zwei große Gruppen an Gesteinen auf. Silikatische Gesteine, die im Allgemeinen keinen Kalk enthalten, reagieren auf den Nachweis negativ und kalkhaltige Gesteine reagieren auf den Nachweis positiv. Zur Verdeutlichung werden Beispielbilder für einen positiven und einen negativen Nachweis an Steinen abgebildet (Siehe Abbildung 62). Um den Positivnachweis zu betonen weisen einige Pfeile auf die Gasentwicklung hin.



Abbildung 63: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus/weiter/>

Auf der Seite „Bedeutung für den Stephansdom“ wird auch das Ausgangsphänomen erläutert und die Bedeutung der Reaktion für den Stephansdom gedeutet, wobei erklärt wird, dass die abgerundeten Formen auf Grund der zentralen Reaktion dieser Station entstehen. Es wird auch

die Entstehung des sauren Regens aus Stickoxiden und Schwefeldioxid aus der Luft mit Wasser zu sauren Lösungen erklärt und auf die bereits betrachtete Reaktion hingewiesen. Hier wird der Spannungsbogen zwischen Stephansdom und Schneckenhaus geschlossen.

Um zur nächsten Station zu gelangen müssen die Schülerinnen und Schüler die richtige Antwort zur Frage anklicken (Link siehe Abbildung 63). Die Frage lautet: „Welches Gas entsteht bei der Reaktion von saurer Lösung mit Kalk?“ Zur Auswahl stehen die Antwortmöglichkeiten „a) Kohlenstoffdioxid (CO_2)“, „b) Luft (N_2 , CO_2 , O_2 , ...)“ oder „c) keines“. Bei richtiger Beantwortung bekommen die Schülerinnen und Schüler einen Hinweis für den Standort der nächsten Station und das Wort „finden“ als Teil des Lösungssatzes für den Lehrpfad (Link siehe Abbildung 64). Bei falscher Beantwortung der Frage werden sie zur Startseite derselben Station weitergeleitet (Link siehe Abbildung 65).



Abbildung 64: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus/richtige-antwort/>



Abbildung 65: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus/falsch-schnecke/>

16.5.5. Weiterführendes Material 4

Als Weiterführung dieser Station im Unterricht eignet es sich den Versuch zu wiederholen und das entstandene Kohlenstoffdioxid mittels Glimmspannprobe oder durch den Versuch mit dem Löschen der Kerze nachzuweisen. Um die Aussage, dass saure Lösungen nicht vernichtend wirken zu zeigen, kann die Massenerhaltung durch einen Spritzenversuch derselben Reaktion oder durch das Auffangen der entstandenen Gase in einem Luftballon demonstriert werden. Durch Wiegen des Versuchsaufbaus vor und nach Ablauf der Reaktion kann die Massenerhaltung auch messtechnisch bekräftigt werden (Schulversuchspraktikum, 2018). Das im Luftballon aufgefangene Kohlenstoffdioxid kann in einer Gaswaschflasche mit Kalziumchlorid durch das ausfallende Kalziumcarbonat nachgewiesen werden. Wahlweise können auch die entstandenen Säurereste durch Verdampfen des Wassers auskristallisiert und nachgewiesen werden. Besonders bei Verwendung von Essig als saurer Lösung. Dazu sollte eine Versuchsanleitung ausformuliert werden, bei der ausgehend von der Reaktionsgleichung Aufgaben gestellt werden. Einerseits je Atomsorte die Anzahl im Produkt und im Edukt nachzuzählen und in vorgegebene Felder einzutragen, sowie die Masse der Ausgangs- und Endprodukte. Zudem sollten auf dem Arbeitsblatt die Nachweise zu den Edukten (Acetat und Kohlenstoffdioxid) vorgestellt werden.

16.6. Didaktische Strukturierung der Station „*Farbenspiel mit Bedeutung*“



Abbildung 66: Startseite der Station 5

16.6.1. Intention der Station 5

Die Station „*Farbenspiel mit Bedeutung*“ soll den Schülerinnen und Schülern das Phänomen des Indikators näherbringen. Ausgehend von einem Farbumschlag am Saftmal der Kastanienblüten werden auch andere Farbstoffe aus Naturmaterialien auf einfache Weise auf ihre Reaktion mit sauren und basischen Lösungen untersucht und im Weiteren auch das Thema der Indikatoren theoretisch erarbeitet. Die Webseite findet sich unter: <http://augarten.chem-tracking.de/farbe/>.

16.6.2. Grundideen der Station 5

Die Station beinhaltet sechs Grundideen. Die erste Grundidee ist: „Das Saftmal der Kastanienblüte ändert seine Farbe nach der Bestäubung.“ Davon ausgehend wird aufgedeckt: „Viele farbige Pflanzenteile können ihre Farbe ändern.“ Bei den Versuchen soll auf das bereits im Unterricht erlernte Wissen zurückgegriffen werden. Von daher sollen sie wissen „Indikatoren weisen pH-Wert abhängig eine bestimmte Farbe auf.“ bzw. „Bei verschiedenen pH-Wert-Bereichen hat ein Indikator

eine andere Farbe.“ Für die Erklärung des Phänomens auf der Teilchenebene soll den Schülerinnen und Schülern vermittelt werden: „Bei Aufnahme bzw. Abgabe eines oder mehrerer Protonen (H^+ -Ionen) kann die Länge des π -Elektronen-Systems verändert werden.“ Weiters soll der Zusammenhang zwischen dem π -Elektronen-System und der Farbänderung aufgezeigt werden. „Die Farbe ist abhängig von der Länge des π -Elektronen-Systems und damit zusammenhängend mit der Wellenlänge des Lichtes, das aufgenommen (=absorbiert) und reflektiert wird.“

16.6.3. Konsequenzen aus naturwissenschaftlicher Betrachtung und Perspektive der Schülerinnen und Schüler für die Strukturierung der Station 5

Einige Schülerinnen und Schüler gehen davon aus, dass Säure- oder Basen-Moleküle mit Farbstoffmolekülen reagieren und sich dadurch die Farbe der Lösung ändert (Dörfler, 2009). Naturwissenschaftlich betrachtet werden jedoch abhängig von der Protonenkonzentration einer Lösung Indikatormoleküle protoniert bzw. deprotoniert. Für die Entwicklung der Station mit der Thematik „Indikatoren“ wurde deshalb versucht, diese Fehlvorstellung abzufangen, indem bei der Erklärung des Wirkungsprinzips der Indikatoren die Protonierung bzw. die Deprotonierung des Indikators in Abhängigkeit des pH-Wertes betont wurde. Da den Schülerinnen und Schülern der Unterstufe die Begriffe „protoniert und deprotoniert“ vermutlich nicht bekannt sind, wird von aufnehmen bzw. abgeben von Protonen (H^+ -Ionen) gesprochen. Aus naturwissenschaftlicher Sicht kann die Protonierung oder Deprotonierung zu einer Größenänderung des π -Elektronen-Systems führen, wodurch das Licht einer anderen Wellenlänge absorbiert werden kann. Im Lehrpfad wird nur auf die Längenänderung des π -Elektronen-Systems Bezug genommen und als Einflussgröße nur der Protonierungsgrad berücksichtigt, da dieser im Falle des Indikators offensichtlich und bedeutsam ist und, weil er durch den pH-Wert beeinflusst wird, welcher zum Thema der „Säuren und Basen“ gehört. Elektronenziehende und elektronenschiebende Gruppen werden bei dieser Betrachtung nicht mitberücksichtigt, weil die Organische Chemie erst in der Oberstufe ausführlicher behandelt wird und den Schülerinnen und Schülern der Unterstufe diese Effekte nicht bekannt sind. Konkret wird im Lehrpfad formuliert, dass durch das Aufnehmen oder Abgeben von Protonen die Länge des Doppelbindungssystems geändert wird, was wiederum bedeutet, dass mehr bzw. weniger Elektronenpaare zum Doppelbindungssystem beitragen.

Aus den Rückmeldungen der Lehrerinnen und Lehrer bei der Testung der Stationen ging hervor, dass die Erklärung dieser Station vereinfacht werden soll und für das konjugierte Doppelbindungssystem ausreicht, wenn von einem Doppelbindungssystem gesprochen wird. Dementsprechend wird im Lehrpfad die Bezeichnung „Doppelbindungssystem“ eingesetzt. Da es jedoch konjugierte Doppelbindungssysteme – bei denen Doppelbindungen je durch eine

Einfachbindung getrennt sind, kumulierte Doppelbindungssysteme – bei denen Doppelbindungen direkt aufeinander folgen und isolierte Doppelbindungssysteme – bei denen Doppelbindungen durch mehr als eine Einfachbindung getrennt sind, gibt, ist der Begriff Doppelbindungssystem nicht vollständig, besonders, da der Effekt der Farbigkeit auf der abwechselnden Anordnung beruht. Um korrekt zu bleiben steht im Lehrpfad deshalb für Interessierte ein Hinweis, dass sich bei diesem



Abbildung 67: Indikator Beispiele

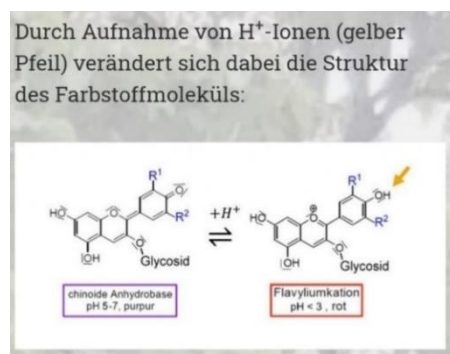


Abbildung 68: Protonierungsschritt eines Flavonoides, Quelle:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Cyanidin>

Doppelbindungssystem Doppelbindungen und Einfachbindungen regelmäßig abwechseln. Durch die Strukturänderung, in Folge der Protonierung oder Deprotonierung, wird eine andere Wellenlänge des sichtbaren Lichtes absorbiert und das übrige Licht reflektiert. Abhängig davon ob ein Farbstoff an einer oder mehreren Stellen protoniert bzw. deprotoniert vorliegen kann, ergibt sich ob der Farbstoff in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen absorbiert und seine Lösung somit verschiedene Farbstufen aufweisen kann (Bruce, 2011).

Von Schülerinnen und Schülern werden sauren und basischen Lösungen häufig verschiedene Farben zugeschrieben. Das stimmt mit naturwissenschaftlichen Konzepten darin überein, dass Farbigkeit von Lösungen, die mit einem Indikator versetzt sind, mit dem pH-Wert korrelieren. Deshalb können Säure-Basen-Indikatoren als Anzeiger genutzt werden. „Säure-Basen-Indikatoren sind organische Farbstoffe, deren Lösungen bei Änderung des pH-Wertes ihre Farbe wechseln“ (Riedel & Janiak, 2007, S.231). Die anzeigende Wirkung von Indikatoren sollte den Schülerinnen und Schülern bereits bekannt sein. Ist sie es nicht, kann diese Erfahrung im Lehrpfad nachgeholt werden, denn diese wird bei den Experimenten deutlich.

Aus naturwissenschaftlicher Betrachtung kann, durch einen einfachen Säure-Basen-Indikator über die Farbe und über den indikatorspezifischen Umschlagsbereich, festgestellt werden, ob ein gewisser pH-Wert über- oder unterschritten wurde. Die Farben, die zu sehen sind, sind abhängig vom vorliegenden Farbstoff. Während manche Farbstoffe lediglich in zwei Farbvarianten vorliegen können, weisen Universalindikatoren mehrere Farbvariationen auf. Dieses Phänomen wird in der

Station des Lehrpfades in einem Exkurs anhand von Abbildungen dargelegt (Link siehe Abbildung 67). Auf der Webseite wird zur Verdeutlichung die Abbildung einer Tüpfelplatte von Lösungen des pH-Werts 1 bis 10 gezeigt, die je mit einem Indikator, einmal mit Bromthymolblau und einmal mit Methylrot, versetzt sind. Durch die Abbildungen soll gezeigt werden, dass es einen indikatorspezifischen Umschlagsbereich gibt. Bei Universalindikatoren kann sogar ein expliziter pH-Wert gemessen werden, weil er viele verschiedene Farbstufen aufzeigt. Als Beispiel für Universalindikatoren mit vielen Farbstufen gibt es im Lehrpfad ein analoges Bild einer Tüpfelplatte mit Rotkrautsaft. Rotkrautsaft enthält den Indikatorfarbstoff Cyanidin, der ebenfalls in den Blüten der Rosskastanie auftritt (Duwe, 2020). Da beide denselben Farbstoff beinhalten und Rotkraut leichter zugänglich ist, wird für die Abbildungen jeweils Lösung von Rotkrautsaft herangezogen.

Typisch ist bei Vorstellungen zu „Säuren und Basen“, dass Schülerinnen und Schüler „Säuren und Basen“ mit gewissen Farben assoziieren. Die Farbe einer Lösung mit Indikator ergibt sich jedoch über das Protolysegleichgewicht der protonierten und deprotonierten Indikatormoleküle. Es kommt also auf das Verhältnis der protonierten und deprotonierten Indikatormoleküle an, welche Farbe wahrgenommen wird. Für den Lehrpfad soll, um es einfacher zu halten, nur die Bedeutung der Protonierung bzw. der Deprotonierung herangezogen werden (siehe Abbildung 68). Damit jedoch nicht die Fehlvorstellung entsteht, dass ein einzelnes Molekül für die Farbgebung verantwortlich ist, wird davon gesprochen welche Farbe die Lösung zeigt. Diese Protonierung wird dann auch an dem Bild eines Flavonoidfarbstoffes gezeigt. Der Flavonoidfarbstoff dient als Beispiel, weil die Blüten der Rosskastanie den Indikator Cyanidin und den gelben Farbstoff Flavon enthalten. Zur besseren Verdeutlichung ist in der Abbildung das aufgenommene Proton mit einem Pfeil markiert. Unterhalb der Strukturformeln sind die Namen der Strukturen und der pH-Wert, bei dem sie vorliegen, angegeben. Beides ist mit der Farbe umrahmt, welche die Lösung bei diesem pH-Wert zeigt. Das bietet die Möglichkeit, eine Verbindung zwischen der Teilchenebene und der Phänomenebene herzustellen.

In einem weiteren Schritt wird die Änderung der Länge des Doppelbindungssystems betont, die zur Änderung der

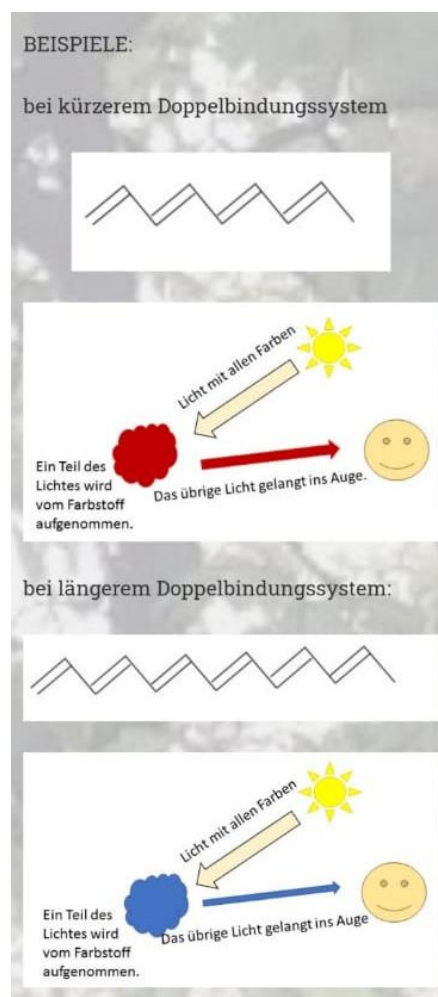


Abbildung 69: Abbildungen zur Absorption und Reflexion des Lichtes an Farbstoffen

Farbe führt, da das Licht einer anderen Wellenlänge absorbiert und reflektiert wird (Link siehe Abbildung 69). Dazu wird wieder die Struktur eines Flavonoids in verschiedenen protonierten Zuständen, mit jeweils farblich markierten π -Elektronenpaaren, gezeigt. Das Cyanidin ist ein Anthocyan. Diese sind eine Untergruppe der Flavonoide, deshalb kann ein Flavonoid als Schema dienen (Bruice, 2011).

Durch eine Abbildung wird gezeigt, dass ein Teil des einfallenden Sonnenlichtes durch den Farbstoff aufgenommen und das übrige Licht reflektiert und ans Auge weitergeleitet wird. Durch ein weiteres Bild wird veranschaulicht, dass bei einer anderen Länge des Doppelbindungssystems ein anderer Teil des Lichtes aufgenommen und wiederum das übrige Licht reflektiert wird. Um die Thematik zu vereinfachen, wird nur davon gesprochen, dass ein anderer Teil des Lichtes aufgenommen wird. Es wird bewusst nicht von Wellenlänge und Frequenz des Lichtes gesprochen. Ebenso wird auf den Begriff „komplementär“ verzichtet. Stattdessen wird vom „übrigen Licht“ gesprochen. Die Farbigkeit soll nur das Phänomen sein, über das die Indikatorfunktion untersucht wird. Es genügt, wenn die Schülerinnen und Schüler wissen, dass durch die Änderung der Länge des Doppelbindungssystems, ein anderer Teil des Lichtes zum Auge gelangt und somit eine andere Farbe wahrgenommen wird.

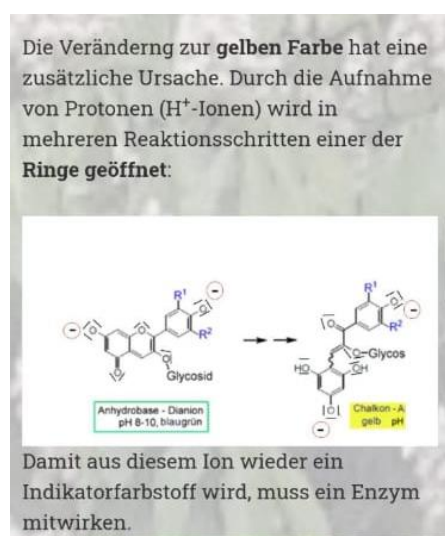


Abbildung 70: Schritt der Ringöffnung, Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Cyanidin>

Als Ursache für die Entstehung des gelben Farbeindrucks wird die Öffnung eines der Ringe genannt. Zur besseren Vorstellung wird ebenfalls eine Abbildung der Reaktion in Strukturformeln gezeigt (siehe Abbildung 70). Dass für die Umwandlung des gelben Flavons zu dem indikatorwirksamen Cyanidin eine Chalconisomerase benötigt wird, wurde im Lehrpfad darauf reduziert, dass ein Enzym mitwirken muss, damit das Ion (Chalconion) wieder zum Indikatorfarbstoff wird. Die Chalconisomerase wird dabei nicht namentlich genannt. Es reicht aus, wenn die Schülerinnen und Schüler die Information bekommen, dass der geöffnete Ring über einen anderen Weg wieder geschlossen werden kann.

16.6.4. Methodische Einbettung der Station 5

In dieser Station soll das Thema der Säure-Basen-Indikatoren in Bezug zu Alltagsphänomenen und zu in der Natur vorkommenden Stoffen gesetzt werden. Zudem sollen Farbstoffe selbst als Untersuchungsmaterial dienen. Schülerinnen und Schüler kennen Säure-Basen-Indikatoren

vermutlich aus dem Chemieunterricht. Doch auch im Alltag begegnen ihnen Indikatoren. Aus dem Alltag könnten sie den typischen Farbumschlag von Rotkraut kennen, wenn der Teller eine Weile stehen bleibt, oder beim Vorspülen der Teller. Vielleicht kennen sie auch das Phänomen, dass der Schwarztee seine Farbe ändert, wenn Zitrone zugegeben wird.

Bei der Station „*Farbenspiel mit Bedeutung*“ dient die Farbänderung, die am Saftmal der Rosskastanien auftritt, wenn eine Blüte bestäubt wurde, als Phänomen. Dieser Farbwechsel hat biologisch den Zweck, dass alle Blüten weiterhin zur Fernwirkung beitragen, um die Bestäuber aus der Entfernung anzulocken. Es sollen jedoch die Blüten besucht werden, die noch nicht bestäubt wurden, deshalb ändert sich die Farbe des Saftmals von gelb zu rot. Rot kann von Bienen nicht wahrgenommen werden, somit fliegen sie besonders die Blüten mit gelbem Saftmal an. Der Farbwechsel, der natürlich vorkommt, wird im Lehrpfad als Anlass genommen andere Farbstoffe auf ihre Reaktion mit sauren und basischen Lösungen zu untersuchen.

Die Station bietet den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit zu erfassen, dass natürliche Farbstoffe Indikatorwirksamkeit haben können. Es wird deutlich, dass Indikatoren nicht nur chemische Substanzen sind, die in der Wissenschaft oder in der Schule im Chemieunterricht vorkommen, sondern sie auch in der Natur und ihren Kreisläufen verankert sind. Durch die Station kann die Anwendungsweise von Indikatoren als Anzeiger gefestigt werden und der Hintergrund der Farbänderung der Lösungen durch die Protonierung bzw. Deprotonierung der Farbstoffmoleküle aufgezeigt werden. Es erleichtert in Folge den zweckmäßigen Einsatz von Säure-Basen-Indikatoren, etwa bei Titrations und das Verstehen der Hintergründe. Der Einblick in die Bedeutung des Doppelbindungssystems kann zudem das Verständnis über die „Farbenwelt“, die sie umgibt, erweitern.

In der Eingangssequenz wird zunächst auf das Phänomen am Saftmal von Rosskastanienblüten hingewiesen. In Bezug auf Mobile Learning handelt es sich dabei um Mobile Learning mit

Teepflanze: Wenn du in Schwarztee Zitrone gibst, dann ändert sich die Farbe von dunkelbraun auf hellbraun/gelblich.



Geflecktes Lungenkraut: Die Blüten sind zu Beginn rosa und werden mit der Zeit violett/bläulich. Oft sind an einer Pflanze rosa und bläuliche Blüten zu sehen. Daher hat die Pflanze vermutlich ihren Spitznamen „Brüderchen und Schwesterchen“.



Abbildung 71: Beispiele für natürliche Indikatoren



Abbildung 72: Saftmal der Rosskastanienblüte

“physischem Kontext“, da der Ort des Lernens für das Lerngeschehen unmittelbar relevant ist. Zusätzlich zur Ortsabhängigkeit besteht auch eine zeitliche Abhängigkeit, weil für die Lerngelegenheit auch der Zeitpunkt, aufgrund der Blütezeit der Kastanie, eine Rolle spielt. Um aber



Abbildung 73: zwei Varianten der Testung von Farbstoffen aus der Natur auf Indikatorwirksamkeit



Abbildung 74: Vergleichsbild zum Versuch am Beispiel eines Rosenblattes

von dieser unabhängig zu sein, ist die Station auch mit Bildern ausgestattet, welche die wechselnde Farbe des Saftmals deutlich abbilden (siehe Abbildung 72).

Als weitere anschauliche Fälle dienen dann die Blüten und Früchte, die für eine Untersuchung herangezogen werden. Denn im selbsttätigen Teil „Können auch andere Stoffe ihre Farbe ändern? – Anleitung für einen Versuch.“ werden andere farbige Pflanzenteile unterschiedlicher Pflanzen, auf Indikatorwirksamkeit getestet (Link siehe Abbildung 75). Das bedeutet, sie werden auf die Fähigkeit, die Farbe der Lösung, unter Einfluss von sauren oder basischen Lösungen, zu ändern, untersucht. Die Versuchsanleitung ist sehr konkret, aber kurzgehalten. Selbst die nachfolgenden Aufgaben sind in diesem Sinne formuliert: „Was beobachtest du? Notiere dir, was passiert oder halte es als Foto fest. Beschrifte die Bereiche des Papiers, damit du deine Beobachtungen zuordnen kannst. Prüfe beim vierten Farbfleck, ob du die Farbänderung wieder rückgängig machen kannst.“ Zur Orientierung ist auch ein Vergleichsbild gegeben, wie die Testung durchgeführt werden kann (siehe Abbildung 74). Bei der erstmaligen Testung des angedachten Versuches zeigte sich, dass das Abreiben der farbigen Naturmaterialien auf Papier und das jeweilige Versetzen mit wenigen Tropfen saurer und basischer Lösung die Farbänderungen unmittelbar gut aufzeigt. Beim alternativen Versuch, die zerriebenen Naturmaterialien mit saurer und basischer Lösung zu versetzen, war dies nur bei Früchten gut zu erkennen.

Deshalb wird für den Versuch die erstere Variante genutzt (siehe Abbildung 73).

Das Phänomen des Versuches, der Farbumschlag, der mit saurer Lösung eine andere Farbe als mit basischer Lösung bewirkt, soll ein Staunen auslösen. Es soll begreiflich machen, dass manche Farbstoffe mit sauren und basischen Lösungen reagieren, dass sie sich dabei verändern und dass diese Reaktion weitgehend reversierbar ist. Die Station soll auch das Interesse dafür wecken, weshalb sich die Farbe ändert, damit die Schülerinnen und Schüler das Phänomen erforschen wollen und somit zu den chemischen Hintergründen geleitet werden können.



Abbildung 75: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/farbe/versuch>

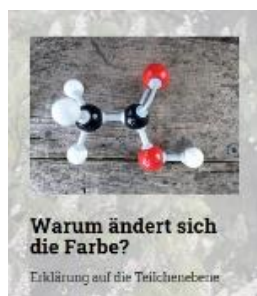


Abbildung 76: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/farbe/teilchenebene/>



Abbildung 77: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/farbe/indikator/>

Eine Erklärung für die Farbänderung bei Veränderung des pH-Werts, also die Funktionsweise von Indikatorfarbstoffen wird auf der Seite „*Warum ändert sich die Farbe? – Ein Blick auf die Ebene der Teilchen*“ geboten, wie bereits im vorherigen Unterpunkt (16.6.3.) näher erläutert wurde (Link siehe Abbildung 76). Bei der Überarbeitung wurden als weitere Hilfe zusätzlich folgende Abbildungen hinzugefügt: die Abbildungen der Umschlagsbereiche und der Farbskala von Indikatoren, die Abbildungen, die die Absorption durch Farbstoffe und den reflektierten Teil des Lichtes darstellen, sowie weitere Abbildungen von Pflanzen, die natürlicherweise einen Farbwechsel vollziehen. Letztere sind im „*Exkurs: Indikator*“ zu finden (siehe Abbildung 71). In dieser Unterseite der Station wird die Definition eines pH-Werts, die Bedeutung eines Umschlagsbereichs und die Möglichkeit eines Universalindikators als Messinstrument des pH-Werts genannt (Link siehe Abbildung 77). Zudem werden Beispiele von Pflanzen und Naturstoffen genannt, bei denen das Phänomen eines Farbumschlags auftritt und die Situation, in der man den Farbumschlag bemerkt oder die Verschiedenfarbigkeit sieht. Zur besseren Vorstellung sind die Erklärungen durch Fotos unterstützt.

Um einen Hinweis zur nächsten Station zu erhalten, müssen die Schülerinnen und Schüler die Frage beantworten: „Wann ändert sich die Farbe einer Indikatorlösung?“ (Link siehe Abbildung 78). Als Antwortmöglichkeiten sind „1. Wenn der pH-Wert gleichbleibt.“, „2. Wenn das Doppelbindungssystem unverändert bleibt“ oder „3. Wenn vom



Abbildung 78: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/farbe/hinweis-farbe/>



Abbildung 79: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/farbe/richtig-farbe/>

Indikatormolekül eine gewisse Menge an Protonen (H^+) aufgenommen oder abgegeben wird. Als Teil zum Lösungssatz des Lehrpfads bekommen die Schülerinnen und Schüler bei dieser Station das Wort „chemische“ (Link siehe Abbildung 79). Bei falscher Beantwortung der Frage werden die Schülerinnen und



Abbildung 80: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/farbe/falsch-farbe/>

Schüler auf die Inhalte dieser Station zurückgeleitet (Link siehe

Abbildung 80).

16.6.5. Weiterführendes Material zur Station 5

Als Vorbereitung wird Indikatorpapier aus Rotkrautsaft selbstständig hergestellt. Sowohl als Vorbereitung, als auch als Nachbereitung kann aus Früchten mit dem Indikatorstoff Cyanidin (Brombeeren, Heidelbeeren, Rotkraut, ...) und einer Verdünnungsreihe einer sauren und einer basischen Lösung (z.B. Salzsäure und Natronlauge) eine pH-Wert-Skala hergestellt werden. Verschiedene Alltagschemikalien sollen mit dem selbst hergestellten Indikator getestet und anhand der eigenen Skala eingeordnet werden. Die Skala sollte zur Dokumentation fotografiert und beschriftet und die ermittelten pH-Werte der Alltagschemikalien sollten auf dieser gekennzeichnet werden.

16.7. Didaktische Strukturierung der Station „Kann auch ein Boden sauer oder basisch sein?“



Abbildung 81: Startseite der Station 6

16.7.1. Intention der Station 6

Bei dieser Station wird die Frage „Kann auch der Boden sauer oder basisch sein?“ behandelt. Bei der Klärung der Frage soll den Schülerinnen und Schülern vermittelt werden, dass der Boden mit seinen Funktionen zu den Standortbedingungen von Pflanzen beiträgt, eben auch durch seinen pH-Wert. Aus dieser Station soll für die Schülerinnen und Schüler ersichtlich werden, dass auch ein Boden „sauer“ oder „basisch“ sein kann

und, dass der pH-Wert auch für die jeweilige Vegetation von Bedeutung ist, also, dass der pH-Wert eine Standortbedingung ist. Einige natürliche Prozesse (Wurzelatmung, saurer Regen, etc.) führen zu einem Säureeintrag im Boden. Daraus ergibt sich, dass der pH-Wert in Böden annähernd

konstant gehalten werden muss, was durch „Bodenpuffer“ gewährleistet wird. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen in diesem Sinne eine selbst hergestellte Bodenlösung auf ihren pH-Wert. Anhand dieses pH-Wertes sollen sie den Boden des Augartens einem Bodentyp zuordnen. In einem weiteren Versuch wird die Funktion eines Bodenpuffers aufgegriffen. Die Thematik der Puffer im chemischen Sinn wird nur sehr grundlegend behandelt. Der Link zu Webseite heißt: <http://augarten.chem-tracking.de/bodenloesung/>.

16.7.2. Grundideen der Station 6

Elementare Grundideen, die vermittelt werden sollen, sind: „Der pH-Wert von Bodenlösungen kann gemessen werden.“, „Die Art der Bodenentstehung und das Muttergestein bestimmen die vorherrschenden Ionenspezies und so auch den pH-Wert des Bodens.“, „Puffer sind ein System aus Salz und konjugierter Säure oder Base.“ und „Der Bodenpuffer kann Schwankungen des pH-Wertes ausgleichen.“ Wesentlicher Inhalt der Station ist, dass eine wässrige Bodenprobe einen pH-Wert hat und seine Stabilität vom Vorkommen eines Säure-Basen-Puffers abhängt.

16.7.3. Konsequenzen aus naturwissenschaftlichen Betrachtungen und Perspektive der Schülerinnen und Schüler für die Strukturierung der Station 6

Bei dieser Station werden zwei allgemeine Grundprinzipien aus dem Thema der „Säuren und Basen“ aufgegriffen, zum einen der pH-Wert und zum anderen die Wirkung von Säure-Basen-Puffern, den pH-Wert einer Lösung annähernd konstant zu halten. Die Konsequenzen, die sich für die Strukturierung der Station bezüglich des pH-Wertes ergeben, wurden bei der Strukturierung der Station „*Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?*“ (Kapitel 16.2) erläutert und können dort nachgelesen werden. Im Folgenden wird die Thematik des Säure-Basen-Puffers betrachtet. Das Konzept nach Brønsted, das im Lehrpfad zur Vertiefung des Themas der „Säuren und Basen“ gewählt wurde, bietet im Gegensatz zum Arrhenius-Konzept eine Erklärung für das Phänomen von Puffern. Durch das Vorkommen des Carbonat-Puffers im Boden des Augartens, bietet sich an das Phänomen zu behandeln. Es ist anzunehmen, dass Schülerinnen und Schüler mit dem Wirkungsprinzip des Puffers, als Puffersystem von Salz und konjugierter Base bzw. konjugierter Säure, deren Verhältnis sich zueinander ändert, noch kaum zu tun hatten, denn im Chemieunterricht ist die Thematik erst für die Oberstufe vorgesehen. Das Phänomen übersteigt demnach im Detail den Umfang für die Säure-Basen-Chemie der Unterstufe bei weitem. Unter anderem deshalb, weil das chemische Gleichgewicht und damit auch das Massenwirkungsgesetz noch nicht unterrichtet wurde und, weil die üblichen Berechnungen (zu Pufferkapazität, Pufferbereich, pH-Wert-Veränderung) für die Unterstufe zu ausufernd wären. Es soll darum im

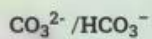
Lehrpfad nur der Effekt betrachtet werden, dass die Zugabe von kleinen Mengen an „Säure“ oder „Base“ keine oder nur eine geringe Änderung des pH-Werts der Lösung bewirkt. Schülerinnen und Schüler können das Pufferprinzip als „das Abfedern oder Abfangen“ aus dem Alltag kennen. Deshalb wird in der Station daran angeknüpft. Als bekannte Metapher wird für den Säure-Basen-Puffer das Beispiel eines „Zeitpuffers“ herangezogen. Als Beispiel dient die Überlegung, dass ein Zeitpuffer es ermöglicht trotz verpasster Straßenbahn noch rechtzeitig ans Ziel zu kommen. (Die Zeit steht für den pH-Wert, der Zeitpuffer für den Säure-Basen-Puffer, die Straßenbahn für einen Säure Zuschuss). „Puffern“ wird also als „Abfangen“ dargestellt. An diese Vorstellung wird die Funktion des Säure-Basen-Puffers geknüpft. Es bietet sich an zu zeigen, dass der pH-Wert im Boden des Augartens durch einen Carbonat-Puffer annähernd konstant gehalten wird. Im Lehrpfad wird deshalb in einem Versuch dieser Effekt beobachtet. Die Pufferfähigkeit soll durch eine

Erklärung auf der Teilchenebene:

Ein Puffer besteht immer aus einer schwachen Säure oder Base und ihrem Salz. (Die beiden unterscheiden sich nur um ein Proton). Wenn wenige Tropfen Säure oder Base dazu kommen, dann verändert sich nur das Verhältnis der Säure zu ihrer dazugehörenden Base.

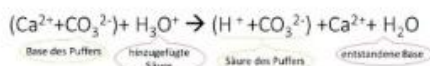
In diesem Fall sind es

Carbonat und Hydrogencarbonat



Kalziumcarbonat-Moleküle aus dem Boden reagieren mit Säureteilchen. Es entstehen Hydrogencarbonat-Ionen (HCO_3^- -Ion) und Kalzium-Ionen (Ca^{2+} -Ionen) werden frei.

Kalziumcarbonat-Verbindung + Säure-Teilchen
→ Hydrogencarbonat-Ion + Kalzium-Ion + Wasser-Molekül



Base des Puffers hinzugefügte Säure Säure des Puffers entstandene Base

Da auch schon vorher Hydrogencarbonat (HCO_3^- -Ion) im Boden war, wird die Konzentration davon nur minimal höher.

Der pH-Wert von der Bodenlösung verändert sich deshalb nicht so stark, wie der pH-Wert bei dem Versuch mit Wasser.

Untersuchung von Vergleichsansätzen einer wässrigen Bodenprobe und einer gleichen Menge Wasser aufgezeigt werden. Die Schülerinnen und Schüler nehmen dazu eine Bodenprobe und schlämmen sie in etwa der gleichen Menge Wasser auf. Das in der Bodenkunde dafür übliche Wort „Bodenlösung“, soll in diesem Lehrpfad mit wässriger Bodenprobe ersetzt werden, da es sich aus chemischer Sicht nicht um eine „Lösung“, sondern eine „Aufschlammung“, handelt. In der Untersuchung werden in beiden Versuchsansätzen vor und nach der Zugabe von ein bis drei Tropfen saurer Lösung, die pH-Werte gemessen und verglichen. Die Schülerinnen und Schüler sollen nun beurteilen, ob sich einer der pH-Werte stärker verändert hat. Um das Gesehene angemessen beurteilen zu können, gibt es eine Erklärung auf der Phänomen- und der Teilchenebene (siehe Abbildung 82). Da das Wort Puffer bzw. Säure-Basen-Puffer eingeführt wird, müssen sich auch die vereinfachten, reduzierten Erklärungen, die gegeben werden, auf detailliertere Erklärungen erweitern lassen, um keine Homonyme zu schaffen (Schanze, 2001). In diesem Fall ist das zugrundeliegende Konzept das Säure-Basen-Konzept nach Brønsted, über

Abbildung 82: Erklärung auf der Teilchenebene

das die Pufferfunktion mittels der „Henderson-Hasselbalch’schen Gleichung“ berechnet werden kann. Um die Thematik simpel zu halten, werden Schülerinnen und Schüler im Lehrpfad zuerst darüber informiert wie ein Puffer zusammengesetzt ist und was er bewirkt. Für die konkrete Untersuchung werden Carbonat und Hydrogencarbonat als Komponenten des Carbonatpuffers genannt. In der Reaktionsgleichung für eine Reaktion des Carbonatpuffers bei einer Zugabe von saurer Lösung, wird das konjugierte Säure-Basenpaar des Puffers, das Carbonation und das Hydrogencarbonat, je als „Säure bzw. Base des Puffers“ bezeichnet und beschriftet. Die Reaktion der Zufuhr von saurer Lösung zu einer Lösung mit Carbonatpuffer wird mit einfachen Worten, dann mit einer Wortformel und einer Reaktionsgleichung formuliert. Es wird gezeigt, dass die Carbonationen der Kalziumcarbonat-Moleküle aus dem Boden mit Säureteilchen der sauren Lösung zu Hydrogencarbonat-Ionen (HCO_3^- -Ion), Kalzium-Ionen (Ca^{2+} -Ionen) und Wassermolekülen reagieren. Durch die Reaktionsgleichung wird verdeutlicht, dass bei der Zugabe einer sauren Lösung lediglich das Verhältnis der „Säure und Base des Puffers“ zueinander verändert wird. Weiters wird darauf hingewiesen, dass Hydrogencarbonat bereits vorhanden war und, dass durch die Reaktion dessen Konzentration nur geringfügig geändert wird. Der Zusammenhang zwischen Säurekonstante der Reaktion und dem Verhältnis von Carbonat und Hydrogencarbonat wird nicht erwähnt, genauso wenig wie die Pufferkapazität oder Berechnungen zur Veränderung des pH-Werts, bei Zugabe einer gewissen Menge an saurer Lösung. Die Puffergleichung wird also nicht bearbeitet.

16.7.4. Methodische Einbettung der Station 6

In der Station wird die Untersuchung des Bodens über eine wässrige Bodenprobe zum Zentrum gemacht. Dass ein Boden es wert ist untersucht zu werden, soll vermittelt werden, indem die Verschiedenartigkeit von Böden aufgezeigt wird, sowie deren Bedeutung für die in Wechselbeziehung stehende Flora. Dafür werden zu Beginn der Station verschiedene Böden (Auboden, Braunerde, Tschernosem, Podsol, Gley ...) genannt. Es wird auf die Bedeutung des Muttergesteins für die Genese des Bodens hingewiesen und weiter ausgeführt, dass abhängig davon auch jeweils andere Ionen im Boden vorherrschen. In der Bodenkunde nach Blum (2007) werden darüber vier Bodentypen („Na-Boden“, „Ca-Boden“, „Al-Boden“, „H-Boden“) definiert, die bei der Betrachtung von pH-Werten bedeutsam sind, weil sie zu typischen pH-Werten

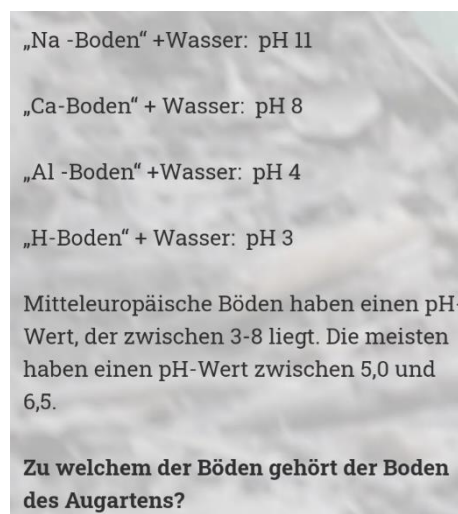


Abbildung 83: Informationen zu den Bodentypen

führen. Die Vermittlung, dass der pH-Wert abhängig ist von der Art der Bodenentstehung und vom zugrundeliegenden Muttergestein, wird im Lehrpfad dahingehend thematisiert, dass die für den Boden typischen vorherrschenden Ionenspezies und der daraus resultierende typische pH-Wert für ausgewählte „Bodentypen“ vorgestellt werden (siehe Abbildung 83). Die Frage „Zu welchen der Böden gehört der Boden des Augartens?“ auf der Startseite der Station soll die Schül*innen erinnern und



Abbildung 84: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/bodenloesung/versuch/>

Schüler*innen auf die Untersuchung neugierig machen. Durch die Outdoor Situation bietet es sich an, dass die Schüler*innen und Schüler, durch ein selbstständiges Entnehmen und Untersuchen einer Bodenprobe erfassen, dass auch der Boden (als Bodenlösung) einen pH-Wert hat. Dazu bietet die Seite „*Welchen pH-Wert hat der Boden im Augarten ? – Anleitung für einen Versuch*“ eine entsprechende Versuchsanleitung (Link

siehe Abbildung 84). Der Versuch mit sowie seine Interpretation ist in Abbildung 85 zu sehen. Klassisch wird für die pH-Wert-Messung eine wässrige Bodenprobe hergestellt, die zur besseren Reproduzierbarkeit

mit einer CaCl_2 Lösung (0,01 M) angerührt wird (bei der ein Korrektur-Term von „+0,6“ zum gemessenen pH-Wert zugegeben werden muss.). Das Mischverhältnis ist dabei 10g Erde: 25ml Wasser: 25ml CaCl_2 (Stahr, 2019). Da das Ziel der Station die Vermittlung ist, dass eine wässrige Bodenprobe überhaupt einen pH-Wert hat und somit sauer oder basisch sein kann, wird auf die Reproduzierbarkeit verzichtet und mit einer Lösung in Wasser gearbeitet. Dadurch kann wiederum die Anzahl der mitzubringenden Chemikalien geringgehalten werden, was auch eine Devise des Lehrpfades ist. Die Messung des pH- Wertes dient im Lehrpfad, um den Boden im Augarten einem der vorgestellten Typen zuzuordnen. Dabei üben die Schüler*innen und Schüler das Ziehen von Schlüssen. Die eigenen Messungen sollen mit den Daten verglichen werden und ein Rückschluss auf den Bodentyp gemacht werden (siehe Abbildung 85). Es geht nicht um exakte Messungen, sondern um den Prozess des Vergleichens und die Fähigkeit einen Boden dementsprechend zuzuordnen. Da die meisten mitteleuropäischen Böden sauer sind, kann angenommen werden, dass der leicht basische pH-Wert des Augarten-Bodens eindeutig zugeordnet werden kann. Die

Testversuche vor Ort ergaben, dass der Boden hinter den Hecken und der der Wege jeweils leicht basisch ist. Für die Untersuchung im Lehrpfad soll Erde aus dem genannten Bereich genutzt werden. Die Wiesen und künstlichen Beete sollen für den Versuch nicht als Probenmaterial herangezogen werden. Einerseits, weil durch die Bodendüngung ein anderer pH-Wert gemessen werden könnte und andererseits aus Respekt vor der gärtnerischen Arbeit in der Parkanlage. Der Hinweis, dass die Bodenprobe von den Rändern des Weges oder aus dem Bereich hinter den Hecken und nicht aus den künstlich angelegten Parkbereichen genommen werden soll, ist auch in der Versuchsanleitung in der Webseite vermerkt.

Ein zweites Naturphänomen kann durch einen weiteren Versuch aufgedeckt werden, und zwar die Fähigkeit mancher Böden, zu puffern (siehe Abbildung 86). Es gibt unterschiedliche Bodenpuffer mit folgenden Pufferbereichen: Carbonat-Pufferbereich: pH-Werte 8,6-6,2; Silikat-Pufferbereich: pH-Werte 6,2-5,0; Austauscher-Pufferbereich: pH-Werte 5,0-4,2; Aluminium-Pufferbereich: pH-Werte 4,2-3,0, und Eisen-Pufferbereich: pH-Werte < 3,0 (Star, 2019; Blum, 2007).

An die Ergebnisse des ersten Versuches, dass „der Boden“ des Augartens in wässriger Lösung leicht basisch ist und es sich darum um einen „Ca-Boden“ handelt, wird angeknüpft, und die Wirkung auf einen Carbonatpuffer zurückgeführt. Der Carbonat-Pufferbereich liegt im Bereich der pH-Werte 8,6-6,2. „Hier wird Calciumcarbonat (Kalk bzw. Kalzit) in lösliches Calciumhydrogencarbonat oder Calciumcarbonat $[Ca(HCO_3)_2]$ umgewandelt. Dieser Vorgang geht so lange von statten, bis sämtliches Calciumcarbonat gelöst ist (= Entkalkung)“ (Star, 2019, S.1). In der Unterseite der Webseite „Der Boden kann noch

Der Boden im Augarten

Der pH-Wert liegt zwischen 6,5 und 8. Somit kannst du den Boden bei den „Ca-Böden“ einordnen.



Der Boden des Augartens ist kein typischer Auboden mehr. Wenn ein Auboden nicht mehr in der Überschwemmungszone ist, verändert er sich und wird zu einem terrestrischen (=Land-) Boden. Der Kalzium Gehalt kann variieren.

Abbildung 85: Erklärung zum pH-Wert des Bodens im Augarten



Versuch:

- Halte bei jeder der Testungen die Werte /Ergebnisse fest. Du kannst dafür dein Handy verwenden.

1. Stelle wie beim Versuch 1 eine wässrige Bodenprobe her. Gib in ein zweites Gefäß die gleiche Menge Wasser, wie bei der Bodenprobe. **Teste bei beiden den pH-Wert.**
2. Gib nun bei beiden **einen Tropfen saurer Lösung dazu** und teste noch einmal die pH-Werte.
3. **Vergleiche die Veränderung.** Hat sich einer der beiden pH-Werte stärker verändert?

Abbildung 86: Versuchsanleitung zum Versuch des Bodenpuffers



Abbildung 87: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/bodenloesung/versuch2/>



Abbildung 88: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/bodenloesung/erklärung/>



Abbildung 89: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/bodenloesung/bedeutung/>



Abbildung 90: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/bodenloesung/weiter/>

mehr! – Ein zweiter Versuch zu Bodenlösungen“ ist eine konkrete Versuchsanleitung angegeben (Link siehe Abbildung 87). In der Unterseite „Der Boden im Augarten – Erklärung der Versuche auf der Teilchenebene“ werden der erste und der zweite Versuch und deren Grundlagen erklärt (Link siehe Abbildung 88). Zunächst werden die erwarteten Ergebnisse besprochen. Die Zuordnung des Bodens zu „Ca-Böden“ wird durch den pH-Wert, der zwischen 6,5 und 8 liegt, begründet. Desweiteren wird erläutert, dass der Boden des Augartens kein typischer Auboden mehr ist, da er nichtmehr in der Überschwemmungszone der Donau liegt und sich somit zu einem terrestrischen (=Land-) Boden entwickelt. Im Anschluss daran wird über den Kalziumgehalt zum Carbonatpuffer übergeleitet und die Pufferfunktion, wie bereits vorhin ausgeführt, dargelegt. Zunächst über die Metapher des Zeitpuffers und anschließend auf der Teilchenebene anhand des Carbonat-/Hydrogencarbonat-Puffers.

Durch die Erfahrung der Schülerinnen und Schüler vom Messen des pH-Wertes einer wässrigen Bodenprobe wird eine Vernetzung zum ökologischen Kontext geöffnet. Um die ökologische Bedeutung des Bodens aufzuzeigen werden Schülerinnen und Schüler auf die Wechselbeziehung zwischen Boden, Atmosphäre, Biosphäre und Grundwasser und zudem auf die Aufgabe des Bodens zu filtern und zu puffern hingewiesen. Dies erfolgt in der Unterseite „Was bringt der Bodenpuffer? – Bedeutung des Puffers für Pflanzen“ (Link siehe Abbildung 89). Dabei wird als Weiterführung die biologische Bedeutung des Bodens vorgestellt. Schülerinnen und Schülern soll aufgezeigt werden, dass der Puffer für einen konstanten pH-Wert sorgt und somit zur Standortbedingung beiträgt, die für die Vegetation bedeutsam ist. Es wird auch der Frage nachgegangen, weshalb sich der pH-Wert des „Bodens“ ändern könnte. Dazu werden natürliche Prozesse vorgestellt, die den pH-Wert in Richtung saurer triggern können. Hier werden Wurzelatmung, Humusbildung, gewisse Düngung, und saurer Regen kurz vorgestellt. Es wird auch erwähnt, dass der Boden nur ein gewisses Maß an zusätzlicher Säure puffern kann.



**Sammle diesen
Puzzleteil für den
Lösungssatz.**

Abbildung 91: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/bodenloesung/richtig-boden/>

Um zur nächsten Station zu gelangen müssen Schülerinnen und Schüler bei dieser Station die Frage: „Was bewirkt ein Säure-Basen-Puffer?“ richtig beantworten (Link siehe Abbildung 90). Zur Antwort stehen „1. Er hält den pH-Wert einer Lösung annähernd konstant.“, „2. Er verstärkt die saure Wirkung einer Lösung.“ oder „3. Er verstärkt die basische Wirkung einer Lösung.“. Wenn die Schülerinnen und Schüler die Antwort 1. anklicken bekommen sie einen Hinweis für

den Standort der nachfolgenden Station „Die nächste Station findest du in der Nähe des Spielplatzes, in der Unteren Lindenallee“ und das Wort „Natur“ als Teil für den Lösungssatz des Lehrpfades (Link siehe Abbildung 91), sonst gelangen sie zurück zur Startseite (Link siehe Abbildung 92).



Abbildung 92: Link zur Seite:
<http://augarten.chem-tracking.de/bodenloesung/falsch-boden/>

16.7.5. Weiterführendes Material zur Station 6

Die Inhalte der Station können zum einen in der Oberstufe weitergeführt werden. Dafür sollte ein Arbeitsblatt angefertigt werden, in dem ausgehend von einer allgemeinen Reaktionsgleichung einer Pufferbase und eines Säureteilchens zu einer Puffersäure und einem Wassermolekül das Massenwirkungsgesetz aufgestellt wird. Anschließend kann die allgemeine Puffergleichung formuliert werden. Nach dem allgemeinen Beispiel sollte dann die Reaktion aus dem Versuch des Augartens folgen, also die gleichen Schritte für den Carbonat-/Hydrogencarbonatpuffer abgebildet werden. Infolgedessen, dass bei dem Versuch im Augarten keine Konzentration oder definierte Volumangaben spezifiziert wurden kann für die Vertiefung in der Oberstufe im Unterricht eine Versuchsdurchführung mit definierten Konzentrationen durchgeführt werden, an dessen Beispiel dann die Pufferkapazität des Puffers berechnet werden kann.

Als Weiterführung der Station in der Unterstufe kann das Phänomen, dass verschiedene Ionen zu verschiedenen Böden und somit auch zu verschiedenen pH-Werten und Pufferbereichen führen durch „Ionenaustauscher Versuche“ verdeutlicht werden.

Diese Versuche können von den Schülerinnen und Schülern, wie im Lehrpfad, in kleinen Gruppen durchgeführt werden (jede Gruppe untersucht dann einen Boden mit einer Austauscherlösung), oder aber als Demonstrationsversuche durch die oder den Lehrenden abgehalten werden. Für den Versuch werden Aquarienwatte, Bodenproben (empfehlenswert sind Fichtenwaldboden und Auboden im Vergleich) vier Austauschersäulen (dafür können auch Spritzen mit mittigem Auslass verwendet werden), zwei Stative und vier Klemmen benötigt, sowie die Chemikalien Methylenblau und Säurefuchsin (Haumann, Engelmeier & Postl, 2012a).



Abbildung 93: Versuchsaufbau: präparierte Spritzen mit Fichtenwaldboden - links mit Säurefuchsin - rechts mit Methylenblau überschichtet

Zur Durchführung werden für jede der beiden Bodenproben jeweils zwei Spritzen mit etwas Aquarienwatte ausgelegt und darüber etwa 2cm der Bodenproben geschichtet. Dann werden die Spritzen mit Wasser durchgespült. Dabei soll die Erde so viel Wasser aufnehmen, wie sie halten kann. Jeweils eine der beiden Bodenproben wird mit Säurefuchsin überschichtet und jeweils die andere mit Methylenblau. Dann gilt es zu beobachten ob die Chromophore der farbigen Flüssigkeiten durch den Boden rinnen oder festgehalten werden. Das lässt sich an der Farbe der Lösungen erkennen, die nach dem Durchlaufen der Säule entstehen. Bei einem Fichtenwaldboden entsteht statt dem blauen Methylenblau eine braune Lösung (Siehe Abbildung 93). Eine blaue Schicht setzt sich an der Oberfläche der Bodenprobe ab. Das Wasser aus der Bodenprobe wird verdrängt. In der Humusschicht sind Elemente, wie Kalzium (Ca), Kalium (K), Magnesium (Mg), Eisen (Fe), Aluminium (Al), Mangan (Mn), die für den Aufbau der Pflanzen wichtig sind, enthalten. In der Lösung des Fichtenwaldbodens sind diese als Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} , H^+) an meist negativ geladene Bodenkolloide angelagert. Die positiv geladenen Chromophore des Methylenblaus werden, durch einen Kationenaustausch, der an den Bodenkolloiden stattfindet, durch die ursprünglichen Kationen ersetzt. Das Säurefuchsin wird beim Fichtenwaldboden durchgelassen. Da die Chromophore des Säurefuchsin anionisch sind und der Boden nicht auf die Speicherung von Anionen ausgelegt ist werden diese durchgespült. Bei Auböden findet der Ionenaustausch sowohl mit Säurefuchsin, als auch mit Methylenblau statt, ohne, dass die Chromophore festgehalten werden (Haumann, Engelmeier & Postl, 2012a).

Zu diesem Versuch sollte ein Begleitblatt ausgegeben werden, das zu den beiden Beispielböden eine Beschreibung des Bodens (Ort des Vorkommens, typische Vegetation (Nadelwald/weiche

Auhölzer), Zuordnung zum Bodentyp, vorherrschende Ionen), sowie ein Bild der typischen Böden mit entsprechender Vegetation enthält. Der Beschreibung der Böden sollte die Anleitung zur Versuchsdurchführung folgen. Zu jedem der Versuchsansätze sollte auf dem Arbeitsblatt ein leeres Textfeld für die Beobachtungen der Versuchsdurchführung, sowie eines für die eigene Schlussfolgerungen vorhanden sein. Zur Verdeutlichung des Ionenaustausches sollen Skizzen der Spritzen und der Bechergläser darunter abgebildet werden, sodass die Ionen vor und nach dem Ionenaustausch im Sinne des Becherglasmodells eingetragen werden können.

Als Böden für den Versuch werden zum einen der Boden des Augartens oder sogar eines aktuellen Auegebietes und zum anderen der Boden eines Nadelwaldes empfohlen. Durch diesen Versuch kann die Bedeutung der vorherrschenden Ionen in Böden und deren Bedeutung für die Vegetation weiter vertieft werden.

Es wurde nun die Strukturierung der Stationen im Detail dargelegt. Da nun ein Einblick in die Stationen gegeben wurde, wird nun die Testung der ersten Stationen, die zunächst im Rahmen eines Diplomseminars verlief, sowie von der darauffolgenden Testung im Rahmen der Umwelt.Wissen.Schule Tagung offengelegt. Da die Stationen im Nachhinein aufgrund des Feedbacks überarbeitet wurden, wird bei der Diskussion der Rückmeldungen auch angegeben welche Veränderungen vorgenommen wurden

17. Testung der ersten Stationen und Feedback im Diplomseminar



Abbildung 94: Beispielfolie aus der Präsentation- Station Farbenspiel mit Bedeutung

Die Testung der Stationen im Rahmen des Diplomseminars begann mit einer kurzen Einführungspräsentation über den Lehrpfad. Dabei wurden Rahmenbedingungen des Lehrpfades und allgemeine Informationen für die Lehrpersonen vorgestellt.

Die Lehrerinnen- und Lehrerinformationen gaben Auskunft über die Zielgruppe (Sekundarstufe I), die nötigen Vorkenntnisse über Säuren und Basen, den pH-Wert und seine Anwendungsweise, den zeitlichen Rahmen von zwei bis drei Stunden, sowie eine Liste von mitzubringenden Materialien und Chemikalien. Im Rahmen des Seminars wurden zwei Stationen getestet, trotzdem wurden alle geplanten Stationen vorgestellt, die Gegebenheiten des Augartens aufgezeigt und die Ziele der Station geschildert. Durch die Bilder auf der Präsentation sollten die Testenden einen Eindruck vom originalen Umfeld bekommen (siehe Abbildung 94).

Es wurde außerdem die Aufgabe gestellt die ersten vier Stationen anhand der Anleitungen auf der Webseite durchzuführen und folgende zwei Fragen zu beantworten: „Wie kommentiert ihr die Durchführung der Stationen“ und „Welche Art des Feedbackbogens haltet ihr für sinnvoller?“.

Bei der ersten Variante des Fragebogens sollte jede Frage grundsätzlich mit „Ja oder „Nein“ beurteilt werden. Es war zudem Platz, um jede der Antworten kurz zu erläutern oder begründen (siehe Abbildung 95).

	Ja (weil, aber, ...)	Nein (weil, aber, ...)
Mir gefällt diese Station.		
Das Ziel der Station ist erkennbar.		
Denken Sie, dass folgende Ziele durch die Station erreicht werden können?		
➤ Schülerinnen und Schüler erfahren und begreifen: Es gibt Farbstoffe, die auf Säuren und Basen mit Farbumschlag reagieren.		
➤ Schülerinnen und Schüler begreifen: Der Farbumschlag ist auf das konjugierte Doppelbindungssystem zurück zu führen.		
➤ Schülerinnen und Schüler können das Farbspiel des Saftmals erklären.		

Abbildung 95: Ausschnitt aus dem Fragebogen Variante 1

Bei der 2. Variante konnte zu jedem Themenbereich in vier Stufen „Ja“, „eher Ja“, „eher Nein“, „Nein“ beurteilt werden. Darunter war jeweils Platz, um die Unterfragen zu jedem Thema zu beantworten (Siehe Abbildung 96).

Bitte kreuzen Sie zur Einstufung der Statements je eines der Felder an.	Ja	eher Ja	eher nicht	Nein
Durch den Lehrpfad werden chemische Aspekte aus der Natur aufgezeigt.				
Durch die Station kann ein Aspekt aus der Thematik der Säuren und Basen in Verbindung mit der Natur erlebt werden.				

Abbildung 96: Ausschnitt aus dem Fragebogen Variante 2

Die Rückmeldungen ergaben, dass es für die Beurteilenden angenehm ist, wenn die Stufen „Ja“, „eher Ja“, „eher Nein“, „Nein“ ausgewählt werden können. Dennoch sollte Platz für Kommentare und Anmerkungen gegeben werden. Deshalb wurde bei den Fragen, bei denen genauere Antworten erwünscht wurden, ein Feld dafür bereitgestellt (siehe Abbildung 97).

Bitte kreuzen sie zur Einstufung der Statements je eines der Felder an.	Ja	eher Ja	eher nicht	Nein
Durch den Lehrpfad werden chemische Aspekte aus der Natur aufgezeigt.				
Durch die Station kann ein Aspekt aus der Thematik der Säuren und Basen in Verbindung mit der Natur erlebt werden.				
Anmerkungen:				
Ein roter Faden durch die Station ist erkennbar.				
Anmerkungen:				

Abbildung 97: Ausschnitt aus dem abgeänderten Fragebogen

Es wurden außerdem die Fragen hinzugefügt: „Würden Sie mit Ihren Klassen diesen Chemie-Lehrpfad besuchen? Weshalb? Weshalb nicht?“ und „Was würden Sie sich bei dieser Station noch erwarten? Was fehlt?“

Damit die Testung im Rahmen des Seminars durchgeführt werden konnte, mussten die entsprechenden Materialien für die Stationen aus der Natur aufgesammelt und für die Durchführung innerhalb des Seminarraumes bereitgestellt werden, mit den weiteren Materialien und Chemikalien. Die Stationen mussten auf der Webseite soweit vorbereitet werden, dass sie entsprechend genutzt werden konnten. Zur Sicherheit wurden die Stationen der Webseite auch in ausgedruckter Form bereitgestellt.

Es wurde rückgemeldet, dass das Lernmaterial ansprechend und ästhetisch gestaltet ist, dass die Versuche passend gewählt und die Versuchsanleitungen klar formuliert waren. Die Theorie wurde Großteiles als zu komplex und zu ausführlich eingestuft. Es bestand Einigkeit darüber, dass die Texte gekürzt und das Wesentliche hervorgehoben werden sollte. Zudem sollte eine einfache Sprache gewählt werden.

Aufbau der Stationen, sowie Foto- und Bildmaterial und das Layout wurden als sehr angenehm und passend empfunden. Bei der Station „*Farbenspiel mit Bedeutung*“ wurde der rote Faden nicht

erkannt. Diesbezüglich wurde geraten, die Fragestellung mehr hervorzuheben und direkt an den Anfang zu setzen, statt vor das Experiment. Bei der Station „*Gibt es saure und basischen Lösungen in der Natur?*“ wurde der rote Faden von den testenden Personen erkannt. Weitere Anregungen waren, dass als Versuchsgefäße kleine Schnapsbecher genommen werden könnten, da diese für die Größe der Probe passend wären und preislich günstig sind. Diese könnten dann auch für Maßangaben genutzt werden. Eine andere Idee war es, statt der originalen Gefäße von Zitronensaft und Essig, sowie für die Aschelösung kleine Fläschchen zu verwenden.

Zur Nutzeroberfläche der Webseite gab es ebenfalls eine Anregung. Zu dem Zeitpunkt dienten die Bilder als Link zur nächsten Seite. Es zeigte sich, dass intuitiv die Texte angeklickt wurden. Deshalb wurde vorgeschlagen, entweder die Texte zu verlinken oder einen Hinweis zu geben, dass auf das Bild zu klicken ist.

Bei der Überarbeitung der Stationen wurden die Fragen in die Einführung gesetzt und hervorgehoben. Die Texte der Erklärungen wurden gekürzt, wesentliche Inhalte „fett“ hervorgehoben und die Struktur der Station „*Farbenspiel mit Bedeutung*“ überarbeitet. Für die Testung der Stationen im Rahmen der Umwelt.Wissen.Schule. Tagung wurden auch die Idee von Schnapsbechern und kleinen Fläschchen aufgegriffen und die Texte verlinkt.

18. Feedback über die Stationen und Diskussion

Im Rahmen einer Fortbildung für Lehrerinnen und Lehrer, „Umwelt.Wissen.Schule“, fand dann die eigentliche Testung der Stationen mit Erhebung der Meinung der Expertinnen und Experten, durch Fragebögen und eine Feedbackrunde, statt. Es wurde ein Workshop über den Lehrpfad angeboten. Auch dieser begann mit einer Einführung. Dabei wurden zunächst von Dr. Spitzer allgemeine Methoden und Möglichkeiten für Outdoor Learning und Mobile Learning erläutert und das Projekt Chem-Tracking vorgestellt. Dann wurde der Lehrpfad selbst vorgestellt. Darauf folgte eine Phase, in der die ersten vier Stationen getestet wurden. Im Anschluss darauf gab es Zeit, die entsprechenden Fragebögen zu den Stationen auszufüllen. Beendet wurde der Workshop mit einer Abschlussrunde mit verbalem Feedback und der Möglichkeit Fragen zu stellen.

18.1. Setting der Testung auf der Umwelt.Wissen.Schule Tagung

Die Befragung der Lehrerinnen und Lehrer fand auf der „Umwelt.Wissen.Schule Tagung 2018 - Vom Wissen zur Erkenntnis“ im Rahmen von einem von sieben Workshops statt. Die jährliche Tagung, die vom Amt der NÖ Landesregierung Gruppe Raumordnung, Umwelt und Verkehr Abteilung Umwelt- und Energiewirtschaft [ANÖLGRUVUE, 2018] getragen wird, stand im Jahr 2018 unter dem Thema "Vom Wissen zur Erkenntnis - Experimente für lebensnahe Wissensvermittlung" und wurde am 22. November 2018 in der HTL St. Pölten abgehalten. Bei dieser Tagung trafen 215 Teilnehmerinnen und Teilnehmer „aus dem pädagogischen Umwelt- und Nachhaltigkeitsbereich“ zusammen. Eine Nachlese zu der Tagung findet sich unter: <https://www.umweltwissen.at/nachlese.asp?Seite=16>.

Es wurden sieben Workshops und 19 interaktive Stationen angeboten, um sich mit dem Thema der Tagung zu befassen. Im Workshop 3 "Chem-Tracking – Mit dem Smartphone die Umwelt chemisch erschließen" unter der Leitung von Dr. Philipp Spitzer wurde das Projekt Chem-Tracking und der Entwurf des Lehrpfads im Augarten vorgestellt (ANÖLGRUVUE, 2018). Dem folgte die Testung von vier entworfenen Stationen aus dem Lehrpfad. Es waren 16 Personen angemeldet. Tatsächlich nahmen zwölf Personen an dem Workshop teil. Darunter war eine Montessori-Pädagogin, eine Person aus der Beratung und sonst Chemielehrerinnen und -lehrer. Jede der Personen testete aus Zeitgründen zwei bis drei Stationen. Leider füllten nicht alle die Feedbackbögen aus. Zu den Stationen „*Farbenspiel mit Bedeutung*“ und „*Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?*“ gaben jeweils acht Personen einen Feedbackbogen ab. Zur Station „*In den sauren Apfel beißen*“ gaben drei Personen einen Feedbackbogen ab. Zur Station „*Untersuchung von Pflanzenasche*“ war kein Fragebogen vorhanden, weil diese kurzfristig in den Workshop mit aufgenommen wurde.

18.2. Ergebnisse des Feedbacks

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Feedbacks vorgestellt. Die Feedbackbögen wurden zum Ankreuzen von Ja, eher Ja, eher Nein und Nein angeboten. Gelegentlich kreuzte eine Person genau zwischen zwei Antwortmöglichkeiten an. Dann wurde diese Stimme jeweils halb der einen, halb der anderen Antwort zugeordnet.

18.2.1. Feedback zur Station „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“

Für die Station „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“ gaben fünf von acht Personen an, sie würden mit ihren Klassen diesen Chemie-Lehrpfad besuchen (siehe Abbildung 98). Ihre Entscheidung begründeten sie damit, dass es gut zu den Lerninhalten passt, dass der Lehrpfad gut aufgearbeitet ist und, dass durch die Interaktivität und Versuche die Möglichkeit zu „BE-GREIFEN“ ermöglicht wird, was als sehr wichtig betont wurde. Auch die Digitalisierung im Schulalltag, die Eignung für Tagesausflüge und die Infos für den Unterricht „draußen“ wurde als Grund genannt, den Lehrpfad in Anspruch zu nehmen. Eine Person würde den Lehrpfad dann nutzen, wenn er in der Nähe der Schule ist.

Sonst würde sie diese Versuche in der Schule anbieten. Eine andere Person gab an, den Lehrpfad eventuell zu besuchen und eine weitere Person gab an: „Ich bin kein Lehrer“. Der Wunsch nach einer Material- und Chemikalienliste wurde mehrfach geäußert. Andere wollten noch weiterführende Versuche, mehr Bilder bei der Erklärung oder eine Vorgabe für ein genaues Verhältnis von Wasser und Teststoff für die Untersuchung.



Abbildung 98: Feedback zur Station "Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?"

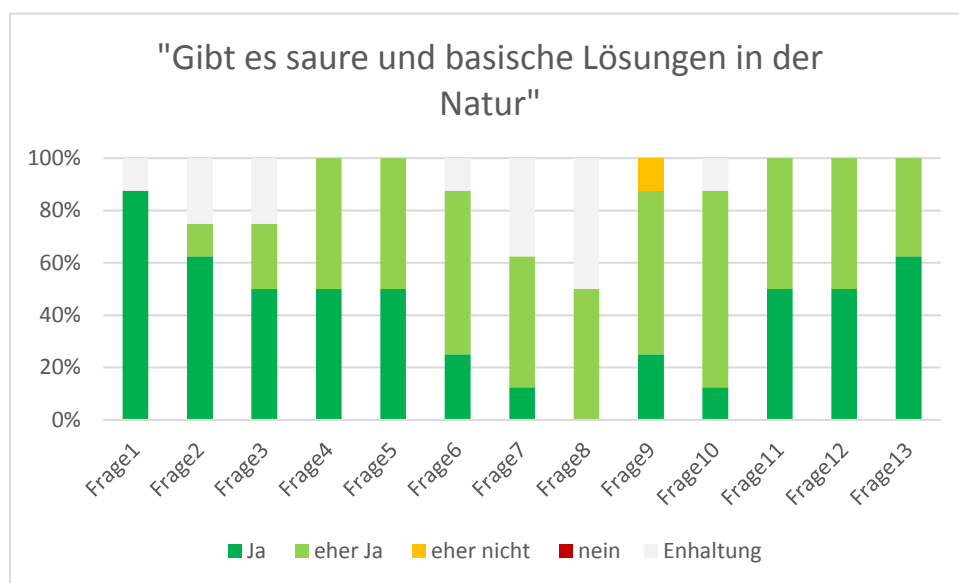


Abbildung 99: Auswertung des Feedbacks zur Station "Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?"

Tabelle 14 zeigt die Fragen des Feedbackbogens zur Station „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“. Abbildung 99 zeigt die Auswertung der Feedbacks.

Tabelle 14: Fragen des Feedbackbogens zur Station „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“

Frage1	Durch den Lehrpfad werden chemische Aspekte aus der Natur aufgezeigt.
Frage2	Durch die Station kann ein Aspekt aus der Thematik der Säuren und Basen in Verbindung mit der Natur erlebt werden.
Frage3	Ein roter Faden durch die Station ist erkennbar.
Frage4	Die Versuchserklärung ist klar. Sie erleichtert das Experimentieren.
Frage5	Das Ziel der Station ist erkennbar: <i>Schülerinnen und Schüler erleben bei pflanzlichen Naturmaterialien überwiegen saure Lösungen</i>
Frage6	Die Tipps zur pH-Wert Bestimmung sind hilfreich.
Frage7	Die Einführung der organischen Säuren ist einfach und nachvollziehbar gestaltet.
Frage8	Die Erklärung der Formelschreibweisen, am Beispiel der Zitronensäure, helfen die Strukturformeln und Skelettschreibweise lesen zu können.
Frage9	Die Station ist altersadäquat.
Frage10	Die Formulierungen der Texte sind altersangemessen.
Frage11	Die Erklärungen sind altersangemessen.
Frage12	Die Beispiele erleichtern das Verständnis.
Frage13	Die Abbildungen erleichtern das Verständnis.

Im Feedback zur Station fanden sich bei den Anmerkungen die folgenden Kommentare. Eine Person gab an, dass die Reihenfolge der Webseite selbst nicht so eindeutig sei. Zu den Tipps zur pH-Wert-Bestimmung gab eine Person an, dass sich die Seite nicht öffnen ließ. Zur Frage über die Angemessenheit der Erklärungen wurde die Anregung beigefügt, die Erklärungen auch zum Ausdrucken bereitzustellen, damit sie in der Schule besprochen werden können. Die Abbildungen wurden fast ausschließlich als hilfreich empfunden. Es wurden jedoch noch mehr Abbildungen

gewünscht. Zu der Station wurde auch angemerkt, dass für den Versuch auch eine basische Lösung zum Vergleich mitgetestet werden könnte.

18.2.2. Feedback zur Station „Farbenspiel mit Bedeutung“

Zur Station „*Farbenspiel mit Bedeutung*“ schrieben sechs von acht Lehrenden, sie würden mit ihrer Klasse den Lehrpfad besuchen, weil er eine sehr gute Idee ist und ,durch das Bearbeiten der Stationen mit dem Handy, der Lebenswelt der Kinder und Jugendlichen entspricht und, weil dabei die Naturerlebnisse mit Wissen über die Chemie gekoppelt und Medien verwendet werden, die Schülerinnen und Schüler gerne verwenden (siehe Abbildung 100). Außerdem wurde auch genannt, dass es eine gute Ergänzung zum Lehrstoff ist. Eine Person gab an, sie würde den Lehrpfad besuchen, wenn eine Verbindung zwischen Augarten und Schule besteht. Eine andere Person gab an, sie würde den Lehrpfad eher nicht besuchen, weil die Versuche überall durchführbar sind.

Anmerkungen der Lehrpersonen waren, dass die Erklärungen für 14-jährige teilweise zu schwer sind und dass sich bei der Neutralisationsreaktion das Papier gewellt hat.



Abbildung 100: Feedback zur Station „Farbenspiel mit Bedeutung“

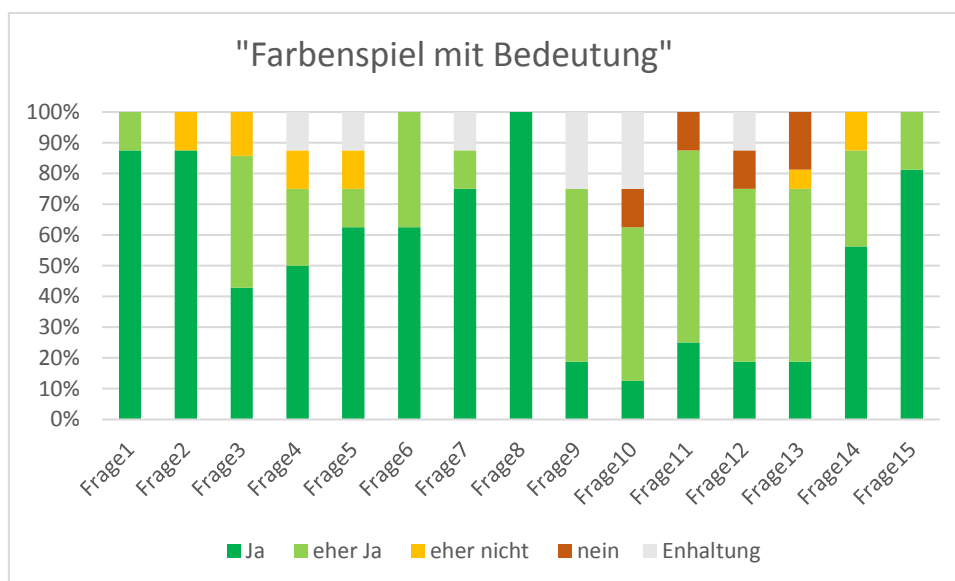


Abbildung101: Auswertung des Feedbacks zur Station "Farbenspiel mit Bedeutung"

Tabelle 15 zeigt die Fragen des Feedbackbogens zur Station „Farbenspiel mit Bedeutung“. Abbildung 101 zeigt die Auswertung der Feedbacks.

Tabelle 15: Fragen des Feedbackbogens zur Station „Farbenspiel mit Bedeutung“

Frage1	Durch den Lehrpfad werden chemische Aspekte aus der Natur aufgezeigt.
Frage2	Durch die Station kann ein Aspekt aus der Thematik der Säuren und Basen in Verbindung mit der Natur erlebt werden.
Frage3	Die Webseite ist übersichtlich.
Frage4	Die Webseite ist leicht zu bedienen.
Frage5	Die Webseite gibt einen guten Rahmen zur Durchführung der Station.
Frage6	Ein roter Faden durch die Station ist erkennbar.
Frage7	Die Versuchserklärung ist klar. Sie erleichtert das Experimentieren.
Frage8	Das Ziel der Station ist erkennbar: Schülerinnen und Schüler erfahren und begreifen: es gibt Farbstoffe, die auf saure und basische Lösungen mit Farbumschlag reagieren.
Frage9	Das Ziel der Station ist erkennbar: Schülerinnen und Schüler erfahren der Farbumschlag ist auf das konjugierte Doppelbindungssystem zurück zu führen.
Frage10	Das konjugierte Doppelbindungssystem ist für die Erklärung der Farben bedeutsam.
Frage11	Die Station ist altersadäquat.
Frage12	Die Formulierungen der Texte sind altersangemessen.
Frage13	Die Erklärungen sind altersangemessen.
Frage14	Die Beispiele erleichtern das Verständnis.
Frage15	Die Abbildungen erleichtern das Verständnis.

Im Feedback zur Station fand sich bei den Anmerkungen, dass das auf der Webseite gebotene Bild sehr hilfreich war. Zur Frage ob das konjugierte Doppelbindungssystem für die Erklärung der Farbbänderung von Bedeutung ist, schrieb eine Lehrperson: „Für mich genügt der Begriff Doppelbindung“ und „zu schwierig für 8. Schulstufe“. Eine andere Lehrperson schrieb, dass der Begriff für ältere bekannt ist, aber nicht für Schülerinnen und Schüler der Unterstufe. Zur Frage, ob die Station altersadäquat ist, ergänzte eine der Personen ihre Wertung mit dem Kommentar, dass die Erfahrungen und Durchführungen angemessen sind, dass die Erklärungen für die Oberstufe passend, aber für die Unterstufe nicht altersangemessen sind. Ein Tipp war es, Schwierigkeitsgrade zur Auswahl für Unterstufe und Oberstufe anzubieten. Die Frage, ob die Erklärungen

altersangemessen sind, wurde von einer Person mit dem Wort „teilweise“ ergänzt. Andere Anmerkungen zeigten auf, dass die Erklärungen zu komplex, aber die praktischen Anleitungen altersangemessen seien. Eine Lehrende bestärkte die Beispiele mit der Anmerkung „sehr gut“.

18.2.3. Feedback zur Station „In den sauren Apfel beißen“

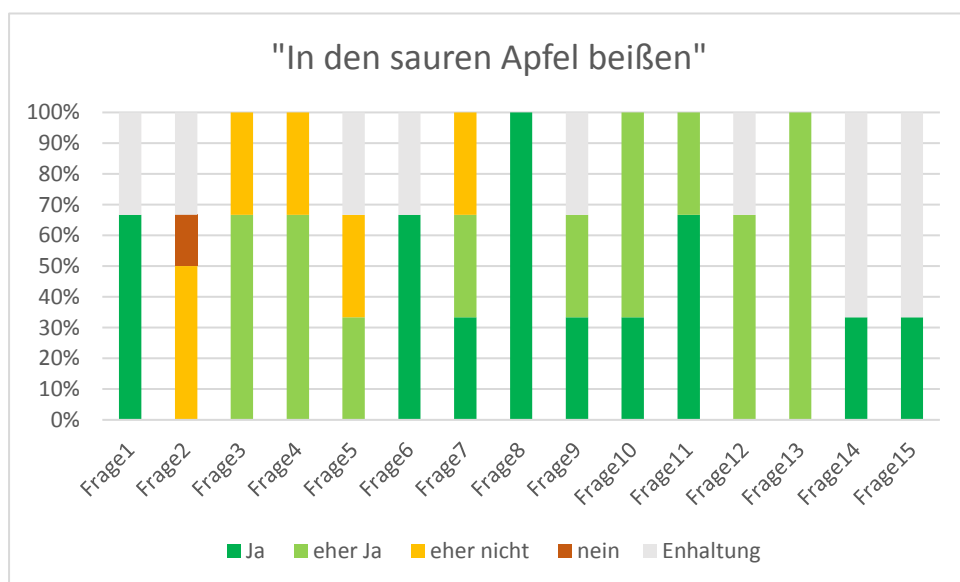


Abbildung 102: Auswertung des Feedbacks zur Station „In den sauren Apfel beißen“

Die Station „In den sauren Apfel beißen“ wurde nur von drei Personen getestet und beurteilt.

Tabelle 16 zeigt die Fragen des Feedbackbogens zur Station „In den sauren Apfel beißen“. Abbildung 102 zeigt die Auswertung des Feedbacks.

Tabelle 16: Fragen des Feedbackbogens zur Station „In den sauren Apfel beißen“.

Frage1	Durch den Lehrpfad werden chemische Aspekte aus der Natur aufgezeigt.
Frage2	Durch die Station kann ein Aspekt aus der Thematik der Säuren und Basen in Verbindung mit der Natur erlebt werden.
Frage3	Die Webseite ist übersichtlich.
Frage4	Die Webseite ist leicht zu bedienen.
Frage5	Die Webseite gibt einen guten Rahmen zur Durchführung der Station.
Frage6	Ein roter Faden durch die Station ist erkennbar.
Frage7	Das Ziel der Station ist erkennbar: Schülerinnen und Schüler erkennen die Struktur organischer Säuren
Frage8	Das Ziel der Station ist erkennbar: Schülerinnen und Schüler erfahren die Bedeutung von Säuren in Früchten
Frage9	Die Aufgabe die sauren Inhaltsstoffe zu erkennen ist nach der Einführung in der Station saure Lösungen und mit der gegebenen Hilfestellung (auf der Seite verlinkt) gut lösbar.
Frage10	Der biologische Hintergrund ermöglicht es Querverbindungen zwischen Chemie und Biologie herzustellen.
Frage11	Die Station ist altersadäquat.
Frage12	Die Formulierungen der Texte sind altersangemessen.
Frage13	Die Erklärungen sind altersangemessen.
Frage14	Die Beispiele erleichtern das Verständnis.
Frage15	Die Abbildungen erleichtern das Verständnis.

Im Feedback zur Station fanden sich bei den Anmerkungen die folgenden Kommentare. Es wurde wiederum der Tipp gegeben zwei Niveaus, eines für Unterstufe und eines für die Oberstufe, anzubieten. Zu der Frage, ob die Station altersadäquat ist äußerte eine Person den Wunsch, dass

die funktionelle Gruppe bei Auflösung als Summenformel angegeben werden soll. Zur Frage, ob die Beispiele das Verstehen erleichtern betonte eine Person, sie findet die Abbildungen gut und wichtig. Zwei Personen wünschten sich bei der Erklärung des Indikators weitere Bilder der Pflanzen.

18.3. Auswertung und Diskussion

Aus den verbalen Rückmeldungen der abschließenden Austauschrunde des Workshops, auf der Umwelt.Wissen.Schule Tagung, ging hervor, dass der Lehrpfad den Testenden gefallen hat und sie ihn für eine gute Idee halten. Besonders die praktischen Arbeiten wurden positiv beurteilt. Auch das Konzept des Mobile Learning wurde als Ansatz betont, der momentan gefragt ist. Rückmeldungen waren: „Also mir hat es auch prinzipiell gut gefallen und es ist sehr nett so praktisch zu arbeiten“ (LpD, 2018, St. Pölten), „Also man sieht da steckt wirklich, wirklich sehr viel Arbeit dahinter“ (LpE, 2018, St. Pölten) und „Ja, eine gute Idee, es ist durchaus gefragt. Schüler haben da sicher noch einen unbefangeneren Zugang als vielleicht ich als älterer Jahrgang “ (LpA, 2018, St. Pölten).

Auch das Konzept des Outdoor Learning wurde gut aufgenommen. Besonders in der Kombination mit dem Handyeinsatz. Es scheint jedoch, als wäre beim Testen der Stationen im Rahmen des Workshops, dadurch dass er in einem Seminarraum stattfand, die Vernetzung der Stationen mit der Natur nicht entsprechend deutlich geworden. Eine Lehrende meinte: „Also, wenn man hinaus geht und mit dem Handy draußen arbeitet, ja! Aber, wenn das jetzt so wie wir es hier machen ist, ist es eine reine Indoor-Geschichte.“ (LpA, 2018, St. Pölten).

Die interaktiven Elemente wurden als interessant, spannend und lehrreich empfunden. Auch von einem Erwachsenen, der nicht als Chemielehrer arbeitet: „Mir gefällt das grundsätzlich gut, [...] ich bin jetzt einmal kein Chemiker und kein Biologielehrer, muss ich dazusagen, und ich kenne mich nicht wirklich aus, aber ich finde es interessant. Ich habe jetzt irrsinnig viel dazu gelernt [...]“ (B, 2018, St. Pölten).

Im Zusammenhang mit dem Material, das mitgebracht werden muss, wurde der Wunsch, nach einer rezeptartigen Liste geäußert. Dabei wurde auch der Ansatz Materialien aus dem Alltag zu nutzen positiv bestätigt. „[...] wenn man die Experimente machen kann ist das super. Nur den Koffer muss ich irgendwie dabei haben. Also, toll wäre es, wenn es für die Lehrer das gibt, was man dabei haben muss für so viel Schüler, dass ich zumindest packen kann, und zwar wie ein Rezept“ (B, 2018, St. Pölten). „Unbedingt ein Rezept und zwar, Sie haben das eh auch angesprochen, Dinge, die ich wirklich jetzt alltagsmäßig kaufen kann, also nicht irgendwie in einem Chemishop, wo das quasi das zehnfache kostet, sondern, dass ich da einfach Schnapsgläser nehme, die ich um 20 Cent oder 30 Cent irgendwo bekomme.“ (LpB, 2018, St. Pölten).

Zu dem Punkt, dass für den Outdoor Lehrpfad Material mitgebracht werden muss wurde auch angemerkt, dass die Versuche vor Ort auch mit dem Ort zusammenhängen sollten.

Ich muss was Grundsätzliches sagen, was ich Ihnen vorher schon gesagt habe. Ich gehe mit Schülern in den Wald, was ja super ist. Ich mach das auch irrsinnig gerne, also das finde ich ganz klasse, aber ich muss dann, für die Station vieles mitbringen, wie hier, und wenn das nichts mit dem Wald, in dem ich mich befinde, zu tun hat, finde ich das schwierig. Also wenn es dort eine Feuerstelle gibt und ich dort eine Probe entnehmen kann, würde ich das wesentlich spannender finden als ich schlepp das alles dorthin mit (LpC, 2018, St. Pölten).

Diese grundsätzliche Idee, die Phänomene aus dem Augarten aufzugreifen wurde bei dem Lehrpfad verfolgt. Bei der Station „Untersuchung von Pflanzenasche“ gab es im Augarten nicht die gewünschten Möglichkeiten, wie in den Schritten der Erstellung bereits erläutert wurde (Kapitel 10). Da jedoch die Basen und basischen Lösungen häufig vernachlässigt werden, wurde mit Absicht diese Station in den Lehrpfad aufgenommen, auch wenn diese inszeniert werden muss.

Eine Schwierigkeit, die bei der Nutzung der Webseite auftrat, betraf das Internet. Die Seiten konnten teilweise nicht gefunden bzw. geöffnet werden. „Es hat manchmal einfach nicht funktioniert, mit dem Internet oder der Verbindung, die Seiten sind manchmal nicht aufgegangen“ (LpD, 2018, St. Pölten). Das führte dazu, dass die betreffende Person nicht alle Seiten der Station fand. Für diesen Fall stand jedoch für jede Station auch eine ausgedruckte Variante zur Verfügung. Eine Lehrerin ergänzte, dass sie die Lösungen, Erklärungen und Hilfestellungen zwar fand, aber dass diese weiter unten in der Webseite waren als sie erwartet hätte.

Also eine Erklärung, was im chemischen Sinn passiert gibt es schon immer, aber die ist immer so weit unten. Weil die habe ich auch einmal gesucht (...) da geht es einmal zur Startseite, das ist eh okay, dann gab es einen Punkt da kommt man wieder auf eine andere Station und dann erst, ganz unten, gab es quasi Hilfestellung zu dieser Seite. Also das hätte ich auch eher weiter oben gesucht. (LpB, 2018, St. Pölten).

Dem entspricht auch der Wunsch nach einem übersichtlicheren Layout der Webseite. „Manches könnte noch vielleicht ein bisschen übersichtlicher sein“ (LpA, 2018, St. Pölten).

Eine andere Anregung war es für den Lehrpfad ein „Gesamtergebnis“ zu definieren oder bei Bearbeitung aller Stationen eine Belohnung als Anreiz zu setzen.

Es wäre auch schön, wenn man alle Stationen durchlaufen hat und man irgendwie so ein Gesamtergebnis hat. Da finde ich einen Buchstaben und da find ich einen Buschstaben, ja so in der Art. Dass das irgendwie zusammenhängt und einen Sinn hat, wenn ich das gemacht habe (LpC, 2018, St. Pölten).

Ein weiterer Gedanke des übergeordneten Ziels ist dabei die Überprüfung, ob die Schulklasse den Lehrpfad auch tatsächlich absolviert hat. „Einfach so ein bisschen eine Überprüfung, ob sie das wirklich ordentlich gemacht haben“ (LpE, 2018, St. Pölten).

Bei dem ersten Chem-Tracking Lehrpfad gab bereits einen entsprechenden „Abschluss“.

Ja, im eigentlichen Pfad, und das ist ja an das Geo-Caching angelehnt. Und im ersten Pfad sammelt man tatsächlich Hinweise in jeder Station und es gibt eine Abschlussstation. In dem Fall, für den normalen Wanderer, ist das ein virtuelles Gästebuch, wo man sich im Geo-Caching-Forum dann offiziell als Geo-Trips sehen kann (W, 2018, St. Pölten).

Die beim ersten Chem-Tracking gewählte Zusammenführung wurde bestärkt. Auch für den Lehrpfad im Augarten wurde ein übergeordneter Zusammenhang erstellt. Bei diesem wird bei jeder Station ein Teil eines Lösungssatz in Form eines Puzzlesteinbildes mit je ein bis zwei Worten des Lösungssatzes offengelegt. Der Lösungssatz lautet: „In der Natur finden chemische Reaktionen statt.“ Die Worte „In der“ werden zusammen auf einem Puzzleteil ausgegeben.

Die Aussagen aus den Feedbackbögen und den verbalen Feedbacks werden im Folgenden analysiert, verglichen und zusammengefasst. Aus den Feedbacks geht hervor, dass bei den Stationen „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“ und „Farbenspiel mit Bedeutung“ chemische Aspekte aus der Natur aufgezeigt werden und dabei die Thematik in Verbindung mit der Natur erfahren werden kann. Bei der Station „In den sauren Apfel beißen“ wurde eher zugestimmt, dass Aspekte aus der Natur aufgezeigt werden. Bei dieser Station kann jedoch eher nicht das Naturerleben mit den chemischen Aspekten verknüpft werden. Diese Beurteilung stimmt mit der Planung der Stationen überein, da bei dieser weiterführenden Station die aktive Auseinandersetzung mit dem Thema ausschließlich auf dem Handy stattfindet und nicht, wie bei den anderen Stationen, durch einen Versuch mit Materialien aus der Umgebung. Da bei den anderen der getesteten Stationen die Vernetzung von Umwelt und Theorie wahrgenommen wurde und bei dieser Station bestätigt wurde, dass durch diese Station chemische Aspekte aus der Natur aufgezeigt werden, kann die Aufgabe des Lehrpfades, die Verknüpfung von Natur und chemischen Inhalten zu ermöglichen, als erfüllt angesehen werden.

Aus den Feedbackbögen geht auch hervor, dass alle, bis auf eine Person, die Webseite leicht zu bedienen und diese für einen guten Rahmen zur Durchführung der Stationen fanden. Zwei von acht Personen, also ein Viertel der Testenden fand die Webseite jedoch nicht übersichtlich. Auch bei der verbalen Feedbackrunde wurde von einer Person zurückgemeldet, dass die Webseite übersichtlicher sein könnte und dass die Hilfestellung innerhalb der Webseite weiter unten war als erwartet. Bei der Überarbeitung der Stationen wurde die Anordnung der Unterseiten innerhalb der Stationen überdacht. Die Reihung der Unterseiten wurde jedoch nicht verändert, da es den Inhalten nicht entsprochen hätte. Um die Stationen dennoch übersichtlicher zu machen wurden die Untertitel der Unterseiten, die angeben was in der Unterseite zu finden ist, vereinheitlicht. Die Haupttitel der Seiten behielten dabei ihren Titel, der das Interesse der Lernenden wecken soll. Damit die Hilfestellungen leichter gefunden werden können, wurden an entsprechenden Stellen der Anwendungen direkt Links zur Hilfestellung eingefügt.

Der rote Faden durch die Station wurde von allen erkannt oder eher erkannt, dennoch wurden die Stationen so überarbeitet, dass die wesentlichen Inhalte innerhalb der Absätze „fett“ hervorgehoben wurden. Diese Überarbeitung sollte auch die Übersichtlichkeit verbessern.

Das Feedback zeigte fast einstimmig, dass aus der Station *„Farbenspiel mit Bedeutung“* das Ziel deutlich hervorging. Bei der Station *„Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur“* stimmte die Hälfte der Testenden für „erkennbar“ und die andere Hälfte für „eher erkennbar“. Bei dieser Station war das Ziel also weniger eindeutig als bei der zuvor genannten Station. Das Ziel, das angegeben war, lautet „Schülerinnen und Schüler erleben bei pflanzlichen Naturmaterialien überwiegend saure Lösungen“.

Es könnte sein, dass das Ziel nicht so eindeutig war, weil der Stationsname saure und basische Lösungen lautet, während sich das Ziel jedoch auf den Überhang an sauren Lösungen bezog. Das würde auch zu einem Vermerk aus den Anmerkungen passen, dass eine basische Lösung als Vergleich schön gewesen wäre. In der aktuellen Fassung der Zielformulierungen wurde der Fokus auf die Untersuchung von Naturmaterialien auf saure oder basische Lösungen gelegt, weil die Formulierung so besser nachzuvollziehen ist, wobei die Erfahrung und die Beobachtung, die gemacht werden kann, unverändert bleibt. In der Station *„In den sauren Apfel beißen“* wurde das Ziel, dass die Schülerinnen und Schüler die Bedeutung von „Säuren“ in Früchten erfahren, von allen Testenden bestätigt. Das Ziel, dass die Schülerinnen und Schüler die Struktur von organischen Säuren erkennen, wurde von einer Person als „erkennbar“ von einer als „eher erkennbar“ und von einer als „eher nicht erkennbar“ bewertet. Zudem wurde das Ziel auf seine Erreichbarkeit einmal mit „eher Ja“ und einmal mit „eher Nein“ beurteilt. Dass das zweite Ziel von einer Person eher nicht erkannt wurde, war überraschend, da die Aufgabenstellung beinhaltet, dass Inhaltsstoffe auf Grund ihrer Strukturformel eingestuft werden sollen daraufhin, ob sie organische Säuren sind oder andere organische Verbindungen. Bei der Bearbeitung der Station sollte also deutlich werden, dass die Schülerinnen und Schüler für diese Aufgabe die Carboxygruppe erkennen können sollten. Dass das Ziel von einer Person als eher nichtzutreffend beurteilt wurde lässt vermuten, dass die Station den Lernenden nicht die benötigte Hilfe bietet, oder die entsprechende Hilfe nicht gefunden wurde, wie bereits in Bezug auf die Übersichtlichkeit erwähnt wurde. In den Rückmeldungen des besagten Feedbackbogens steht bei den Anmerkungen zur Frage über die Erleichterung des Verständnisses durch Beispiele und durch Abbildungen jeweils „Welche?“. Das deutet darauf hin, dass sich bei der Person die Seite nicht öffnen lies oder die entsprechenden Abbildungen nicht angezeigt wurden. In beiden Fällen kann dadurch die Beurteilung abgeschwächt werden, da die Station offensichtlich ohne die bereitgestellten Hilfestellungen absolviert und dementsprechend beurteilt wurde. Es betont sogar die Bedeutung und Wichtigkeit der Hilfestellungen für diese Aufgabe. Zudem weist es

noch einmal darauf hin, dass die Funktionsfähigkeit und Abrufbarkeit der Webseite für den Lehrpfad sichergestellt sein muss.

Die Bedeutung der Hilfestellungen geht auch aus den Feedbackbögen der anderen Stationen hervor. Die Bilder wurden überwiegend als hilfreich beurteilt. Das Bild bei der Versuchsanleitung der Station *„Farbenspiel mit Bedeutung“* wurde zudem in den Anmerkungen explizit als hilfreich genannt. Es wurden jedoch von einigen noch mehr Bilder erbeten, besonders bei der Seite über in der Natur vorkommende Indikatoren. Diese wurden bei der Überarbeitung der Seite dementsprechend hinzugefügt. Die Beispiele, die zum Verständnis verhelfen sollten, wurden in der Station *„Farbenspiel mit Bedeutung“* als hilfreich eingestuft und von einer Person auch mit der Anmerkung „sehr gut“, bestätigt. Bei der Station über saure und basische Lösungen wurde die Hilfestellung durch die Beispiele etwa zu gleichen Teilen als „hilfreich“ und „eher hilfreich“ bewertet. Die Beispiele wurden also im Allgemeinen positiv wahrgenommen. Die Formelschreibweisen, die als Hilfe für die Station *„Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“* und ihre Folgestation erstellt wurden, wurden im Feedback über die erste der beiden Stationen von der Hälfte der Testenden als eher hilfreich bewertet, von der anderen Hälfte nicht beurteilt. Da die Personen, die sich ihrer Stimme enthielten, auch keine Anmerkungen machten ist schwer einzuschätzen, was die Gründe dafür sind. Da jedoch die eine Hälfte der Testenden die Formelschreibweisen als eher hilfreich und nicht als hilfreich beurteilte könnte es sein, dass die Hilfestellung generell nicht als notwendig empfunden wurde oder aber, dass die Hilfestellung mangelhaft war. Für den zweiten Fall wurde die Hilfestellung überarbeitet. Dabei wurden die Informationstexte gekürzt und eine einfachere Sprache genutzt. Die Auswahl der Formelschreibweisen und deren Abbildungen, blieben jedoch erhalten.

Ein Teilbereich des Feedbacks, bei dem die Meinungen etwas mehr auseinander gingen, betraf die Abschätzung, ob die Stationen altersangemessen sind. Im Allgemeinen bewertete die Mehrheit die Stationen als „eher altersangemessen“ und einzelne bewerteten sie als „altersangemessen“ oder „eher nicht angemessen“. Eine Person bewertete die Station *„Farbenspiel mit Bedeutung“* als „nicht altersangemessen“. Überraschenderweise wurde die Station mit den organischen Strukturen von der Mehrheit als „altersangemessen“ bewertet, obwohl darin die Skelettschreibweise genutzt wurde, welche in der Unterstufe weniger üblich ist. Innerhalb der Angemessenheit der Stationen wurde deutlich, dass der praktische Teil als angemessen empfunden wurde, die Erklärungen und Formulierungen vorwiegend eher angemessen bzw. von einer Person als nicht angemessen eingestuft wurden. Die Tendenz, die bei der ersten Fassung der Stationen, also bei der Testung im Rahmen des Seminars, aufgezeigt wurde, zeigte sich bei diesem Feedback in abgeschwächter Form wieder. Deshalb wurden die Formulierungen der Erklärungen erneut überarbeitet und vereinfacht.

Die Anregung, die Erklärungen auch als Ausdruck zur Verfügung zu stellen wurde aufgegriffen und zu jeder Station eine Druckversion formuliert. Diese wird den Lehrenden gemeinsam mit den Links zu den Webseiten zur Verfügung gestellt, so dass diese für eine Nachbesprechung im Unterricht auch im Klassenzimmer genutzt werden können. Den Schülerinnen und Schülern sollen die Stationen jedoch nur über die QR- Codes verfügbar sein, damit die Stationen im Augarten vor Ort absolviert werden. Auch in den verbalen Rückmeldungen zeigten die Lehrenden Interesse daran Zugang zu dem Lehrpfad zu erhalten.

Bei der Station „*Farbenspiel mit Bedeutung*“ stellte sich die Frage, ob die Erklärung auf der Teilchenebene, die auf dem konjugierten Doppelbindungssystem aufbaut, zu komplex ist und ob das konjugierte Doppelbindungssystem für die Erklärung nötig ist. Der Großteil der Testenden fand dieses für die Erklärung „eher bedeutsam“ und je eine Lehrperson fand sie „unbedeutsam“ bzw. „bedeutsam“. Zu dieser Frage gaben einige Lehrperson ihre Meinung ab. Aus den Meinungen geht hervor, dass das konjugierte Doppelbindungssystem eher in der Oberstufe aber nicht in der Unterstufe bekannt und für die achte Schulstufe zu schwierig eingestuft wird. Eine Lehrperson fügte hinzu, dass für sie der Begriff „Doppelbindung“ ausreichen würde. Diese Vereinfachung wurde also auch für die Station genutzt, um unbekannte Worte gering zu halten.

Im Allgemeinen fanden die Lehrenden die Idee des Outdoor Learnings gut, sofern der Lehrpfad direkt in der Natur stattfindet, die Materialien, soweit es geht, von vor Ort genutzt werden können und die Phänomene der Umwelt direkt bearbeitet werden. Auch das Mobile Learning fand großen Anklang auf Grund der Aktualität und dem Interesse von Jugendlichen an modernen Medien.

Auch die Bestätigung, dass fast alle den Lehrpfad besuchen würden, besonders, wenn er von ihrer Schule aus gut erreichbar ist, spricht für sich.

19. Abschließende Zusammenfassung mit Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein Chem-Tracking Lehrpfad für den Augarten in Wien entwickelt. Dieser ist eine Outdoor und Mobile Learning Gelegenheit. Bei dieser können die Schülerinnen und Schüler außerhalb des Klassenzimmers in der Natur, an Ort und Stelle der Phänomene, etwas über Säuren und Basen lernen, vertiefen und wiederholen. Sie können Naturerfahrungen machen und diese mit chemischen Inhalten und mit Alltagserfahrungen verbinden. Schon bei Probestationen, die von Lehrenden getestet wurden, bestätigte sich, dass durch den Lehrpfad Naturerfahrungen und chemische Inhalte vernetzt werden können. Ebenso bekräftigten die Lehrenden, dass bei den Stationen (außer bei der Station „In den sauren Apfel beißen“, die nur am Smartphone stattfindet) Naturerfahrungen gemacht werden können, bei denen die Begegnung mit einem chemischen Phänomen im Zentrum steht. Die Schülerinnen und Schüler sammeln ihre Erfahrungen gemeinsam in einer Gruppe. Dabei können nebenbei auch soziale Fähigkeiten, wie zum Beispiel Kooperationsfähigkeit erworben werden. Die Schülerinnen und Schüler nutzen Smartphones für den informationsgebenden Teil der Stationen und zur Dokumentation der Versuche. Durch die Webseite und die darin didaktisch aufbereiteten Inhalte können sich die Schülerinnen und Schüler aktiv und in einem von ihnen gewählten Tempo mit den Themen auseinandersetzen. Das Lernen wird dadurch informell und situativ. Sie haben dabei auch Bewegungsfreiheit und verbringen Zeit in der Natur.

Anhand des Lehrpfades werden die folgenden Inhalte aus dem Thema der „Säuren und Basen“ behandelt. Zum einen wird die Protonenübertragungsreaktion behandelt. Diese wird insbesondere auf die organischen Säuren übertragen. Es werden saure und basische Lösungen auf ihren pH-Wert untersucht. Im Zuge dessen werden saure und basische Lösungen behandelt. Der pH-Wert wird nur qualitativ, aber nicht quantitativ behandelt. Ein weiteres Thema, das durch den Lehrpfad behandelt wird, ist der pH-Wert-Indikator. Hier wird ein Exkurs über die Bedeutung der Größe des π -Elektronen-Systems für die Farbgebung eines Stoffes angeboten. Weiters wird die Nachweisreaktion von Kalk durch Säuren bearbeitet. Es wird auch die Hauptaufgabe eines Puffers, einen pH-Wert annähernd konstant zu halten aufgezeigt.

19.1. Veränderungen anhand des Feedbacks der Lehrenden

Die Stationen wurden anhand der Rückmeldungen aus den Feedbacks überarbeitet. Die Stationen wurden weiter vereinfacht, um für 14-jährige altersadäquat zu sein. Dazu wurden lange Sätze gekürzt und einfachere, geläufiger Wörter gewählt. Es wurden auch Fachbegriffe, die für das Thema nicht wesentlich sind durch alltägliche Worte ersetzt oder die Fachbegriffe umschrieben.

Beispielsweise wurde statt „Protonierung“ vom „Aufnehmen von Protonen“ geschrieben oder bei der Erläuterung der Farbigkeit, wurde nur von „Anteilen des Lichts“ gesprochen, um die Begriffe Wellenlänge und Frequenz wegzulassen.

Um das Nachvollziehen der Theorie zu vereinfachen wurden weitere Bilder und Abbildungen eingefügt. Beispielsweise wurden Bilder zum Farbumschlag von Indikatoren bzw. eine typische Farbskala des Cyanidins (Farbstoff des Rotkrauts), sowie eine Abbildung, welche die Aufnahme und Reflexion von Licht durch einen Farbstoff darstellt, eingefügt. Es wurden auch Bilder zu Phänomenen (Asche, Holzkohle, indikatorwirksamen Pflanzen, ...) hinzugefügt.

Um den roten Faden innerhalb der Stationen deutlicher zu machen, wurden die Texte überarbeitet und wesentliche Inhalte „fett“ hervorgehoben. Um die Struktur der Webseiten klarer zu gestalten wurden die Unterseiten der verschiedenen Stationen mit einheitlichen Unterüberschriften versehen; z.B.: „Erklärung auf der Teilchenebene“ oder „Anleitung für einen Versuch“. Deren Haupttitel; z.B.: „Können auch andere Stoffe ihre Farbe verändern?“, wurden nicht abgeändert, um den einladenden Charakter beizubehalten.

Zur einfacheren Handhabung der Webseite wurden bei allen Unterseiten sowohl die Bilder als auch die Überschriften verlinkt, sodass nicht wesentlich ist, welches der beiden angeklickt wird. Zudem wurden Links zu Hilfestellungen auch direkt im Text verlinkt, damit nicht bis zum Ende der Seite gescrollt werden muss. Bei Quervernetzungen zu Inhalten anderer Stationen wurden die Webseiten doppelt angelegt, damit die Schülerinnen und Schüler nicht unbeabsichtigt zu einer anderen Station gelangen.

Die Überleitungen von einer Station zum Hinweis des Standorts der folgenden Station wurden ausgearbeitet. Dabei wurde jeweils ein Quizelement eingebaut, bei dem die Hauptaussage der Station wiederholt wird.

Schließlich wurde ein übergreifendes Gesamtergebnis über den Lehrpfad konkretisiert. Dieses soll ein Anreiz für die Lernenden sein, alle Stationen zu bearbeiten. Es bietet zudem eine grobe Kontrolle für die Lehrenden, ob dies auch tatsächlich geschehen ist. Bei richtiger Beantwortung der oben genannten Quizfrage am Ende der Station wird ein Wort auf einem Bild eines Puzzlesteins für einen Lösungssatz ausgegeben. Die Form der Puzzlesteine hilft beim Reihensetzen der Teile des Satzes. Der Lösungssatz ist (siehe Abbildung 103):



Abbildung 103: Puzzleteile des Lösungssatzes

19.2. Rückmeldungen, die bewusst nicht in die Adaptierung eingearbeitet wurden

Es wurden nicht alle Rückmeldungen bei der Überarbeitung der Stationen aufgegriffen. Im Folgenden wird kurz aufgezeigt welche Vorschläge bewusst nicht umgesetzt wurden und weshalb.

Die Abfolge der Unterseiten der Webseiten wurden in der ursprünglichen Reihe gelassen, weil sie der inhaltlichen Abfolge und der zeitlichen Abfolge der Stationen entsprechen. Die Idee die Abfolge zu ändern entstand aufgrund dessen, dass die Hilfestellungen nicht gefunden wurden. Da deshalb direkte Links zu den Hilfestellungen ergänzt wurden, kann die ursprüngliche Abfolge bestehen bleiben.

Eine weitere Idee, die nicht im ursprünglichen Sinne aufgegriffen wurde, ist das Aufsplitten der Erklärungen in zwei Niveaus, eines für die Unterstufe und eines für die Oberstufe. Diese Veränderung wurden nicht vorgenommen. Es wurde jedoch darauf geachtet, dass jede Erklärung auf der Phänomenebene und auf der Teilchenebene getrennt erklärt wird. Die Erklärung auf der Phänomenebene ist stets simpler als die auf der Teilchenebene, wobei auch zweite vereinfacht wurde. Ein zweites Niveau der Erklärung für die Oberstufe wurde nicht erstellt, da der Lehrpfad die Unterstufe als Zielgruppe hat und durch ein weiteres Niveau die Webseite wiederum unübersichtlicher werden könnte.

19.3. Weitere Ausbaumöglichkeiten

Es wurde mehrfach betont wie wichtig die Integration des Lehrpfads in den Regelunterricht ist. Das weiterführende Material wurde allerdings weitgehend nur skizziert. Es wäre also ein wesentlicher Aspekt die angedachten Weiterführungen der Versuchsanleitungen und Arbeitsblätter auszuformulieren.

Ein weiterer Aspekt, der weiter ausgebaut werden könnte, ist die Art und Weise der Dokumentation. In diesem Lehrpfad ist die Dokumentation noch uneinheitlich. Zum Großteil werden die Schülerinnen und Schüler angehalten durch Fotos, Film und kleine Notizen die Ergebnisse zu sichern. Bei einer Station werden die Schülerinnen und Schüler angeregt, eine Tabelle anzulegen und bei der Station „*Farbenspiel mit Bedeutung*“ findet der Versuch auf einem Blatt Papier statt und wird somit vorerst direkt festgehalten. Abgesehen von diesen beiden Stationen, kann die Dokumentation ohne weiteres Papier stattfinden. Eine weiterführende Idee, um Zettel zu meiden wäre es, die Antworten direkt am Handy in vorgegebene Felder einzutragen. Hier wäre dann jedoch die Frage, wie die Schülerinnen und Schüler später auf diese zugreifen können. Die

Dokumentation wurde deshalb schlicht gehalten und die Wahl der Art und Weise größtenteils der jeweiligen Gruppe überlassen. Für einen weiteren Lehrpfad könnte ein einheitliches Dokumentationssystem ausgearbeitet werden.

Eine Idee das übergreifende Gesamtergebnis noch spielerischer zu gestalten wäre es, die Puzzlesteine so zu programmieren, dass sie online „eingesammelt“ werden können um online „zusammengesetzt zu werden“. Die Idee wäre es statt eines bildhaften Informationsträgers, in Form des Puzzleteiles, ein echtes Online Puzzle zu gestalten.

Eine Rückmeldung von Lehrpersonen war, dass sie den Lehrpfad besuchen würde, sofern er in der Nähe der Schule, oder gut erreichbar wäre. Die Probestationen wurden in St. Pölten getestet, während der Lehrpfad für Wien geplant war. Es wäre also auch sinnvoll aus diesem Lehrpfad einen Lehrpfad zu gestalten, der auf verschiedene Orte, wie andere Parks oder einen Schulgarten, übertragbar ist. Derzeit wäre für eine Übertragung notwendig, dass der Ort des Lehrpfades Rosskastanienbäume, viele verschiedene Pflanzen, die auch farbige Pflanzenteile besitzen, einen kalziumcarbonathaltigen Boden, Schneckenhäuser und Steine, und einen Wasserzugang besitzt. Wenn möglich wäre zudem eine Feuerstelle z.B. einen Lagerfeuerplatz von Vorteil. Die Hinweise zum jeweils weiterführenden Standort müssten allerdings auf den jeweiligen Ort adaptiert werden.

So könnten viele Schülerinnen und Schüler von den Vorteilen des Outdoor und Mobile Learning Lehrpfades profitieren. Denn bei der Entwicklung des Lehrpfades zeigte sich, dass sich das Thema der „Säuren und Basen“ eignet um vor Ort, exemplarisch anhand von Phänomenen der Natur, mittels Smartphones zu lernen.

20. Literaturverzeichnis

- Apel, J. (1996). Blaukraut bleibt Blaukraut?... oder Säuren und Laugen auf der Spur. Eine Unterrichts Anregung. *Grundschulunterricht* 43(4), 34-35.
- Amt der NÖ Landesregierung Gruppe Raumordnung, Umwelt und Verkehr Abteilung Umwelt- und Energiewirtschaft [ANÖLGRUVUE, 2018]. (2018). *Umwelt.Wissen*. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter <https://www.umweltwissen.at>
- Anton, M. (2008). *Kompendium Chemiedidaktik*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. Au, J.(2013). Outdoor Education in Deutschland im Sekundarschulbereich – Intentionen, Möglichkeiten und Hindernisse. (Promotionsvorhaben), Pädagogische Hochschule Heidelberg.
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Barke, H.-D. (2015). Brönsted-Säuren und Brönsted-Basen: es sind nicht Stoffe, sondern Moleküle oder Ionen! *Chemie & Schule*, 30(1), 10-15.
- Barke, H.-D., Harsch, G., Marohn, A. & Kröger, S. (2018). *Chemiedidaktik kompakt. Lernprozesse in Theorie und Praxis*. Berlin: Springer Spektrum.
- Blum, W. E. H., (2007). *Bodenkunde in Stichworten*. (6. Aufl.). Berlin, Stuttgart: Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung.
- Borrows, P. (2006). Chemistry outdoors. *School Science Review*, 87(320), 23-31.
- Braund, M. & Reiss, M. (2004). Learning Science Outside the Classroom. 10.4324/9780203474044.
- Bruice, P., Y. (2011). *Organische Chemie. Studieren kompakt*. Hallbergmoos: Pearson Studium.
- Bundesinstitut Wien Zentrum für Innovation & Qualitätsentwicklung. [BFBWF, 2018] (2018). Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen. *Lp Kompetenzenmodell*, 1-5. BGBl. Nr. 88/1985 zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 395/2019 Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568&FassungVom=2018-09-01>
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung. [BFBWF, 2019] (2019). *Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne-allgemeine höhere Schulen*. BGBl. Nr. 88/1985 zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 395/2019. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter

<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568>

Carstens, O. (2020): *Duden*. Bibliographisches Institut GmbH Dudenverlag, Berlin. Verfügbar unter: <https://www.duden.de/rechtschreibung/stark/>

Deci, E. L., & Ryan, R.M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223-238.

Dettweiler, U., Lauterbach, G., Becker, C. & Simon, P. (2017). A Bayesian Mixed-Methods Analysis of Basic Psychological Needs Satisfaction through Outdoor Learning and Its Influence on Motivational Behavior in Science Class. *Froniers in Psychologie* (8), 1-20.

Dörfler, T. (2009). *Bedeutung und Notwendigkeit einer Berücksichtigung von Schülervorstellungen im Chemieunterricht. Ein Unterrichtskonzept zur Vermeidung und Korrektur von Fehlvorstellungen am Beispiel der Neutralisatiosthematik*. Münster: Schöningh.

Dörfler, T., & Barke, H.-D. (2009). Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren: Beispiel Neutralisation. *Chemkon*, 16(3), 141-146.

Drechsler, M. & Van Driel, J. (2009). Experienced Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Teaching Acid–base Chemistry. *Research in Science Education* 38(5), 611-631.

Drechsler, M. & Van Driel, J. (2009). Teacher's perceptions of the teaching of acids and bases in Swedish upper secondary schools. *Chemistry Education Research and Practice*, 10, 86-96.

Drechsler, M. & Schmidt, H.-J. (2005). Textbooks' and teachers' understanding of acid-base models used in chemistry teaching. *Chemistry Education Research and Practice* 6(1), 19-35.

Duit, R. (2010): Didaktische Rekonstruktion, PIKO-Brief Nr. 3. In: R. Duit & S. Mikelskis-Seifert (Hrsg.), *Physik im Kontext –Konzepte, Ideen, Materialien für effizienten Physikunterricht (CD-ROM)*. Seelze: Friedrich.

Duwe, K. (2020). Gewöhnliche Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*). *Pflanzenlexikon*. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter <https://www.pflanzen-lexikon.com/index.php?a=aesculus-hippocastanum&l=de>

Dziewas, A. (2007). *Chemieunterricht an außerschulischen Lernorten. Eine Interventionsstudie*. (Dissertation), Universität Duisburg, Essen.

Eilks, I., Markic, S. & Ralle, B. (Hrsg.). (2014). *Science education reseach and education for sustainable development. Learning Sustainability in a Chemistry Laboratory*. Aachen: Shaker.

- Engl, A., Schmelzer, A. & Risch, B. (2018). Chemie Pur-Unterrichten in der Natur: Ätherischen Ölen auf der Spur. *Chemkon*, 25(1), 7-15.
- Flandorfer, H., Eder, H., Fürtrauer, S., Luef, C., Mühl, H., Reisinger, S. & Schmetterer, C. (2018). *Schulversuchspraktikum 2018*. (unveröffentlichtes Praktikumsskript) Universität Wien, Wien.
- Frey, G. (2019). *Augarten: vielseitiges Angebot im französischen Parkstil*. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter <https://www.stadt-wien.at/freizeit/ausflugsziele/parks-parkanlagen/augarten-vielseitiges-angebot-im-franzoesischen-parkstil.html>
- Frühauf, d., Tegen, H. (Hrg.), Blum, J. Braun, B., Dvorak, K., Frühauf, D., Graf, E., Güntel, T., Hietel, J., Krämer-Brand, F., Kranz, S., Mathias, E., Meinhold, A., Münzinger, W., Schröer, M., Schumacher, B. & Tegen H. (2008). *Treffpunkt- Chemie, 4.Klasse*. Wien: E. Dorner GmbH.
- Gustafsson, E., Szczepanski, A., Nelson, N. & Gustafsson, A. (2012). Effects of an outdoor education intervention on the mental health of schoolchildren. *Journal of Adventure Education & Outdoor Learning*, 12(1), 63-79.
- Haim, K. & Müller, A. (2016). *Deine Umwelt mit Expedition Chemie 4, Theorieteil* . Wien: E. Dorner.
- Hand, B. M. & Treagust, D. F. (1988). Application of a conceptual conflict strategy to enhance student learning of acids and bases Research. *Science Education* 18, 53–63.
- Hale, A. (2009). *Exkursionsdidaktik Chemie, Der Betrieb als außerschulischer Lernort im Chemieunterricht. Außerschulische Lernorte im naturwissenschaftlichen Unterricht*. (Diplomarbeit), Universität Wien. Wien. Zugriff am 07.09.2020 Verfügbar unter <https://othes.univie.ac.at/5404/>
- Haumann, J., Engelmeier, D., & Postl, W., (2012a). *Pflanzenphysiologische Übungen SS 2012–Versuchsbeschreibungen*. (unveröffentlichte Versuchsbeschreibungen), Department für Molekulare Systembiologie, Wien.
- Haumann, J., Engelmeier, D., & Postl, W., (2012b). *Pflanzenphysiologische Übungen SS 2012–Vorlesungsunterlagen*. (unveröffentlichte Vorlesungsunterlagen) Department für Molekulare Systembiologie, Wien.
- Hawkes, S. J. (1992). *Arrhenius Confuses Students*. *Journal of Chemical Education*, 69(7), 542-543.
- Heynoldt, B. (2016). *Outdoor Education als Produkt handlungsleitender Überzeugungen von Lehrpersonen*, 60. (Dissertation). Universität Münster. Verfügbar unter <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8>

[https://www.uni-muenster.de/Fimperia/Fmd/Fcontent/Fgeographiedidaktische-forschungen/Fpdfdok/Fqdf_60_heyholdt.pdf&usq=AOvVaw2fY_k5-Rwbs9PEixYtLo_-](https://www.uni-muenster.de/Fimperia/Fmd/Fcontent/Fgeographiedidaktische-forschungen/Fpdfdok/Fqdf_60_heyholdt.pdf&usq=AOvVaw2fY_k5-Rwbs9PEixYtLo_-&ved=2ahUKEwjs3aeow9brAhUI1RoKHWAYA_4QFjAAegQIBhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.uni-muenster.de%2Fimperia%2Fmd%2Fcontent%2Fgeographiedidaktische-forschungen%2Fpdfdok%2Fqdf_60_heyholdt.pdf&usq=AOvVaw2fY_k5-Rwbs9PEixYtLo_-)

Jones, V., & Jo, J. H. (2004). *Ubiquitous learning environment: An adaptive teaching system using ubiquitous technology*. In R. Atkinson, C. McBeath, D. Jonas-Dwyer, & R. Phillips, (Ed.), Proceedings of the 21st ASCILITE (Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education) Conference (S.468–474), Perth, Western Australien: ASCILITE.

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.

Kirscher, D., Spitzer, P. & Gröger, M. (2016). „Chemistry is Toxic, Nature is Idyllic“, *Investigation of Pupils' Attitudes*. The Journal of Health, Environment & Education, 8(8), 7-13.

Kind, V. (2004). *Beyond appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas*. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwigZtH218rrAhVD8BQKHAC9CsUQFjAAegQIBRAB&url=http%3A%2F%2Fmodeling.asu.edu%2Fmodeling%2FKindVanessaBarkerchem.pdf&usq=AOvVaw1r0AyfKEbJ9_OlJsJ7HUpW

Klaes, E. (2008). *Außerschulische Lernorte im naturwissenschaftlichen Unterricht. Die Perspektive der Lehrkraft. Studien zum Physik- und Chemielernen*. Berlin: Logos.

Lembens, A. (2017). „Säuren und Basen“. Sprache und Konzeptwechsel als Herausforderung für den Chemieunterricht. *Chemie & Schule*, 32(4), 28-29.

Lembens, A. & Becker, R. (2017). „Säuren und Basen“. Stolpersteine für SchülerInnen, Studierende und Lehrende. *Chemie & Schule* 32(1), 12-15.

Lieberman, G. & Hoody, L. (2000). *Environment-based Education. Creating High Performance Schools and Students*. Washington, DC: The National Environmental Education & Training Foundation.

Lind, A., & Sielaff, M. (2009). B2. *Saure Lösung am Beispiel eines Badreinigers*. In H. J. Metternich (Hrsg.) *Alles Chemie- Säuren und Basen*. MINT-EC-Schriftenreihe, Deutschlandweiter Unterrichtssupport für die Sec.I. MINT-EC Das nationale Excellence Schulnetzwerk.

- Lingenhöhl, D., (2001). Vakuole. *Kompaktlexikon der Biologie*, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/vakuole/12380>
- Liu, T.-Y., Tan, T.-H., & Chu, Y.-L. (2009). Outdoor Natural Science Learning with an RFID-Supported Immersive Ubiquitous Learning Environment. *Educational Technology & Society*, 12(4), 161–175.
- MacQuarrie, S. (2016). Everyday teaching and outdoor learning: developing an integrated approach to support school-based provision. *Education*, 2018, 46(3), 345-361.
- Magyar, R., Liebhart, W., Jelinek, G. & Faber, F., (2014). *Stoffe, Chemie für die 4. Klasse*. Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch.
- Malone, K. & Waite, S. (2016). *Student outcomes and natural schooling. pathways from evidence to impact report 2016*. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter https://www.plymouth.ac.uk/uploads/production/document/path/6/6811/Student_outcomes_and_natural_schooling_pathways_to_impact_2016.pdf
- Mortimer, E. C. & Müller, U. (2010). *Chemie. Das Basiswissen der Chemie*. Stuttgart: Thieme.
- Milheim, W. D., & Martin, B. L. (1991). Theoretical bases for the use of learner control: Three different perspectives. *Journal of Computer-Based Instruction*, 18(3), 99–105.
- Musli, S. (2007). *Säure–Base–Reaktionen: Empirische Erhebung zu Schülervorstellungen und Vorschläge zu deren Korrektur*. München: GRIN.
- Müller, A., (2005). *Kognitive Zustandsanalysen von Kindern nach chemischen Verstehensprozessen in außerschulischen Handlungssituationen*. (Dissertation), Fakultät für Naturwissenschaften der Universität Paderborn. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter <https://www.fachportal-paedagogik.de/literatur/vollanzeige.html?Fld=847576#vollanzeige>
- Naismith, L., Sharples, M., & Ting, J. (2005). *Evaluation of CAERUS: A context aware mobile guide*. In H. van der Merwe, H. & T. Brown (Hrsg.), *Mobile technology: The future of learning in your hands*, mLearn 2005 book of abstracts. Kapstadt, Südafrika: mLearn 2005.
- Ötsch, V., (2017). *Ausgewählte Schülervorstellungen zur Thematik der Brønsted-Säuren und Basen sowie Unterrichtsvorschläge zum Konzeptwechsel*. München: GRIN.

- Pleasants, K. (2009). *Learning from a review of research on outdoor learning. Paper presented at 'Outdoor education research and theory: critical reflections, new directions', the Fourth International Outdoor Education Research Conference, (p. 15-18), La Trobe University, Beechworth, Victoria, Australia.*
- Reinfried, S.; Mathis, C. & Kattmann, U.(2009). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 27 (2009) 3, 404-414.
- Riedel, E. & Janiak, C. (2007). *Anorganische Chemie*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Rinschede, G. (2007). *Geographiedidaktik: Grundriss Allgemeine Geographie*. (3. Aufl.). Stuttgart: *Uni-Taschenbücher*.
- Pfeifer, P., Häusler, K.& Lutz, B. (1992). *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. München: Oldenbourg.
- Quinn, C. (2000). *mLearning: Mobile, wireless, in your pocket learning*. LineZine. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/343083598_mLearning_Mobile_Wireless_In-Your-Pocket_Learning
- Randl, D.-J., Eckert, R., Warren, B. & Kathleen, F., (2002). *Tierphysiologie*. Georg Thieme.
- Rickinson, M., Dillon, J., Teamey, K., Morris, M., Choi, M. Y., Sanders, D., & Benefield, P. (2004). *A review of research on outdoor learning. London, UK: National Foundation for Educational Research and King's College.*
- Riedel, E. & Janiak, C. (2007). *Anorganische Chemie*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Riethmayer, H. & Bartel, E. (2020) *LEO Dictionary*. LEO GmbH. Sauerlach, Deutschland. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter: <https://dict.leo.org/englisch-deutsch/learning>
- Riethmayer, H. & Bartel, E., (2020). *LEO Dictionary*. LEO GmbH. Sauerlach, Deutschland. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter <https://dict.leo.org/englisch-deutsch/mobile%20learning>
- Schanze, S. (2001). *Wissenserwerb mithilfe der internetbasierten Lernumgebung ChemNet, Eine empirische Untersuchung zum Lernen mit linearen und vernetzten Hypertexten*. (Dissertation) Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjPnOWIx9brAhUT4OAKHbYRDcAQFjABegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fm.acau.uni->

[kiel.de%2Fservlets%2FMCRFileNodeServlet%2Fdissertation_derivate_00000535%2Fd535.pdf&usq=AOvVaw29XmYcvxFeqAnGezROsBi2](http://www.kiel.de%2Fservlets%2FMCRFileNodeServlet%2Fdissertation_derivate_00000535%2Fd535.pdf&usq=AOvVaw29XmYcvxFeqAnGezROsBi2)

Scheibe, W. (1971). *Die Reformpädagogische Bewegung 1900-1932*. Berlin, Basel: Weinheim.

Senger, E., (2013). Der pH-Wert wie er Ihre Haut gesund erhält und vor Krankheiten schützt. *Hautnah aktuell das Praxismagazin*. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter <https://www.hautarzt-senger.de/blog/hautnah-aktuell/der-ph-wert/>

Sharples, M., Walker, K., Winters, N., Beale, R., Jones, A. C., Issroff, K., Scanlon, E., McAndrew, P. & Clough, G. (2006). *Big Issues in Mobile Learning*. Report of a workshop by the Kaleidoscope Network of Excellence Mobile Learning Initiative. Nottingham: University of Nottingham.

Sharples, M.; Amedillo-Sanchez, I.; Milrad, M., & Vavoula, G. (2009). Mobile learning: small devices, big issues. In: N. Balacheff; S. Ludvigsen, T. deJong, & S. Barnes, (Ed.). *Technology Enhanced Learning: Principles and Products*. (p. 233–249). Heidelberg: Springer.

Solovyev, A. (2020). *Chemische Stoffe. organische*. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter <https://apps.apple.com/at/app/chemische-stoffe-organische/id910222433>

Spitzer, P., AECC Chemie Universität Wien (Hrsg.), (2017). *Chem-Tracking*. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter <http://chem-tracking.de>

Spitzer, P., Krischer, D. & Gröger, M. (2014): Learning sustainability in an outdoor chemistry lab, In: I. Eilks, S. Markic, B. Ralle (Ed.): *Science education research and education for sustainable development*, (p.209-214), Aachen: Shaker.

Spitzer, P. & Lembens, A. (2017). Mit dem Smartphone draußen Chemie entdecken. *Chemie & Schule*, 32(4). 20-23.

Stahr, A. (o.J.). *Bodenacidität*. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter <http://www.ahabc.de/bodeneigenschaften/bodenaciditaet/>

Szczepanski, A. (2012). *The importance of place for learning and teaching*. An outdoor education perspective. MMV6-Stockholm, 262-263.

Ten Voorde, H. (1987). Die Überbrückung der Kluft des Nicht-verstehen-könnens: Eine Aufgabe des Unterrichts Teil I. *Chimica didactica*, 13(2), 117-148.

THIX Google LLC (Hrsg.), (o.J.). *BEAKER*. Mix Chemicals. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter https://play.google.com/store/apps/details?id=air.thix.sciencesense.beaker&hl=de_AT

Tóth, P. (2009). Utilisation of 2nd generation web technologies in master level vocational teacher training. *Acta Didactica Napocensia*, 2(1), 59-68.

- Traxler, J. (2005). Defining mobile learning. Proceedings *IADIS International Conference Mobile Learning*, 261-266, Malta.
- UNI Media Services Ltd.(o.J.). *Geocaching*. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter <https://www.geocaching.at/was-ist-geocaching/>
- Waite, S. (2011). Teaching and learning outside the classroom: personal values, alternative pedagogies and standards. *Education 3-13*, 39(1), 65-82.
- Warnatz, J., Maas, U. & Dibble, R. W. (2001). *Verbrennung*, (3. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wells, N. M. & Evans, G. W. (2003). Nearby nature: A buffer of life stress among rural children. *Environment and Behavior*, 3(35), 311-330.
- Wenzel, E. (1982). Der Unterscheidung von reinen Stoffen und deren wäßrigen Lösungen mehr Beachtung! *Chemie in der Schule*, 8(9), 370-372.
- Witt, C. de (2013). Vom E-Learning zum Mobile Learning-Wie Smartphones und Tablet PCs Lernen und Arbeit verbinden. In: C. de Witt, & A. Sieber (Hrsg.). *Mobile Learning. Potentiale, Einsatzscenarien und Perspektiven des Lernens mit mobilen Endgeräten* (Band. 1) (S. 13-26). Wiesbaden: Springer.
- Zwick, S. & Rauprich, J. (2020). Actionbound GmbH, (Hrsg.). *Actionbound*. Zugriff am 07.10.2020. Verfügbar unter <https://de.actionbound.com/>

21. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Didaktisches-Dreieck	18
Abbildung 2: Didaktisches Triplet der Didaktischen Rekonstruktion	18
Abbildung 3: Kompetenzmodell der Naturwissenschaften (bifie,2011, S.1)	69
Abbildung 4: Indikatoren in Anlehnung an die Tabelle aus Expedition Chemie (Haim & Müller, 2016)	77
Abbildung 5: Beispiel einer Überleitung zur nächsten Station. Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus/weiter/	94
Abbildung 6: a) Brennnessel, b) Beere, c) Rosenblüten, d) Aschelösung, e) Rindenmulch, f) Feldahorn	99
Abbildung 7: a) Rosskastanienallee, b) Rosskastanie in der Blütezeit, c) Blütenstand einer Rosskastanie	100
Abbildung 8: a) Baumstümpfe und Wurzelwerk, b) Astwerk, c) Baumstumpf und Wurzelwerk	100
Abbildung 9: a) Schneckenhaus, b) Schotterweg, c) Naturmaterialien am Weg	101
Abbildung 10: a) Regenlacke am Weg, b) Trinkwasserbrunnen	101
Abbildung 11: a) lockerer Boden hinter den Hecken b) Boden am Rande der Flaktürme, c) Boden zwischen Wegen und Hecken, d) Boden bei Schotterwegen	102
Abbildung 12: Standorte der Stationen im Augarten, Quelle: https://www.eintrachtponyhof.com/sommer-augarten	104
Abbildung 13: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/uebersicht-ueber-alle-stationen/	107
Abbildung 14: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/farbe/richtig-farbe/	107
Abbildung 15: Gartenanlage, Flakturm	108
Abbildung 16: Augarten aus Vogelperspektive	109
Abbildung 17: Integration des Lehrpfades in den Unterricht	138
Abbildung 18: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/home/materialliste-fuer-den-lehrpfad/	140
Abbildung 19: Startseite der Station "Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?"	142
Abbildung 20: verbale Erklärung auf der Phänomenebene und Abgrenzung der Erklärung auf der Teilchenebene	144
Abbildung 21: Beispiel der Ionischen Schreibweise und Beschriftung der Brønsted-Säuren und -Basen	144
Abbildung 22: Beispiel Reaktion mit Strukturformeln mit Beschriftung	145
Abbildung 23: Startseite der Station 1	147

Abbildung 24: Beispielreaktion	149
Abbildung 25: Übertragung der Säure-Basen Reaktion auf organische Säuren	149
Abbildung 26: Strukturformel der Ethansäure	150
Abbildung 27: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/sauer/versuch/	151
Abbildung 28: Beispiel zur Protokollierung	151
Abbildung 29: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/sauer/tipps/	152
Abbildung 30: Seite mit Tipps	152
Abbildung 31: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/sauer/teilchenebene/	152
Abbildung 32: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/sauer/zitronensaure/	153
Abbildung 33: Beispiel anhand der Strukturformel	153
Abbildung 34: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/sauer/weiter/	153
Abbildung 35: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/sauer/weiter/	154
Abbildung 36: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/sauer/leider-falsch-sauer/	154
Abbildung 37: Startseite der Station 2	156
Abbildung 38: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/apfel/pflanzen	158
Abbildung 39: Aufbau einer Pflanzenzelle	158
Abbildung 40: pH-hautneutrales Duschgel	159
Abbildung 41: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/apfel/sauer/	159
Abbildung 42: Beispielstruktur vom Quiz	159
Abbildung 43: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/apfel/hilfe/	160
Abbildung 44: Beispiel zur Auflösung	160
Abbildung 45: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/apfel/weiter/	160
Abbildung 46: Startseite der Station 3	161
Abbildung 47: Startseite mit Versuchsanleitung	162
Abbildung 48: Beispiel Reaktionen	163
Abbildung 49: Link zur Seite Untersuchung der Pflanzenasche: http://augarten.chem-tracking.de/asche/	164
Abbildung 50: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/asche/teilchenebene/	164
Abbildung 51: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/asche/verwendung/	165
Abbildung 52: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/asche	165
Abbildung 53: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/asche/hinweis-asche/	165
Abbildung 54: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/asche/richtig-asche/	165
Abbildung 55: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/asche/falsch-asche/	165
Abbildung 56: Startseite der Station 4	166

Abbildung 57: Erster Reaktionsschritt	168
Abbildung 58: Startseite der Station	169
Abbildung 59: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus/versuch/	169
Abbildung 60: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus/erklaerung/	170
Abbildung 61: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus/bedeutung/	170
Abbildung 62: Positiv- und Negativnachweis auf Kalk	170
Abbildung 63: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus/weiter/	171
Abbildung 64: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus/richtige-antwort/	171
Abbildung 65: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus/falsch-schnecke/	171
Abbildung 66: Startseite der Station 5	172
Abbildung 67: Indikator Beispiele	174
Abbildung 68: Protonierungsschritt eines Flavonoides, Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Cyanidin	174
Abbildung 69: Abbildungen zur Absorption und Reflexion des Lichtes an Farbstoffen	175
Abbildung 70: Schritt der Ringöffnung, Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Cyanidin	176
Abbildung 71: Beispiele für natürliche Indikatoren	177
Abbildung 72: Saftmal der Rosskastanienblüte	177
Abbildung 73: zwei Varianten der Testung von Farbstoffen aus der Natur auf Indikatorwirksamkeit	178
Abbildung 74: Vergleichsbild zum Versuch am Beispiel eines Rosenblattes	178
Abbildung 75: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/farbe/versuch/	179
Abbildung 76: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/farbe/teilchenebene/	179
Abbildung 77: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/farbe/indikator	179
Abbildung 78: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/farbe/hinweis-farbe/	179
Abbildung 79: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/farbe/richtig-farbe/	180
Abbildung 80: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/farbe/falsch-farbe/	180
Abbildung 81: Startseite der Station 6	180
Abbildung 82: Erklärung auf der Teilchenebene	182
Abbildung 83: Informationen zu den Bodentypen	183
Abbildung 84: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/bodenloesung/versuch/	184
Abbildung 85: Erklärung zum pH-Wert des Bodens im Augarten	185
Abbildung 86: Versuchsanleitung zum Versuch des Bodenpuffers	185

Abbildung 87: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/bodenloesung/versuch2/	186
Abbildung 88: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/bodenloesung/erklaerung/	186
Abbildung 89: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/bodenloesung/bedeutung/	186
Abbildung 90: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/bodenloesung/weiter/	186
Abbildung 91: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/bodenloesung/richtig-boden/	187
Abbildung 92: Link zur Seite: http://augarten.chem-tracking.de/bodenloesung/falsch-boden/	187
Abbildung 93: Versuchsaufbau: präparierte Spritzen mit Fichtenwaldboden - links mit Säurefuchsin - rechts mit Methylenblau überschichtet	188
Abbildung 94: Beispielfolie aus der Präsentation- Station Farbenspiel mit Bedeutung	190
Abbildung 95: Ausschnitt aus dem Fragebogen Variante 1	190
Abbildung 96: Ausschnitt aus dem Fragebogen Variante 2	191
Abbildung 97: Ausschnitt aus dem abgeänderten Fragebogen	191
Abbildung 98: Feedback zur Station "Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?"	194
Abbildung 99: Auswertung des Feedbacks zur Station "Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?"	195
Abbildung 100: Auswertung des Feedbacks zur Station "Farbenspiel mit Bedeutung"	196
Abbildung 101: Feedback zur Station „Farbenspiel mit Bedeutung“	197
Abbildung 102: Auswertung des Feedbacks zur Station „In den sauren Apfel beißen"	198
Abbildung 103: Puzzelteile des Lösungssatzes	206

22. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Themen und aktive Auseinandersetzungen der Stationen	95
Tabelle 2: Inhalte zu Säuren und sauren Lösungen in Schulbüchern	111
Tabelle 3: Inhalte zu Basen und basischen Lösungen in Schulbüchern	113
Tabelle 4: Inhalte zum pH-Wert in Schulbüchern	114
Tabelle 5: Inhalte zu Indikatoren in den Schulbüchern	115
Tabelle 6: Inhalte zur Neutralisationsreaktion den Schulbüchern	115
Tabelle 7: Inhalte zu organischen Säuren in Schulbüchern	116
Tabelle 8 Vorkenntnisse für den Lehrpfad	118
Tabelle 9: Inhaltsdimensionen des Lehrpfads	126
Tabelle 10: Inhaltsdimensionen der Stationen	127
Tabelle 11: Anforderungsdimensionen des Lehrpfads	130
Tabelle 12: Anforderungsdimensionen der Stationen	132
Tabelle 13: Handlungsdimensionen der Stationen	134
Tabelle 14 Fragen des Feedbackbogens zur Station „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“	195
Tabelle 15 Fragen des Feedbackbogens zur Station „Farbenspiel mit Bedeutung“	197
Tabelle 16 Fragen des Feedbackbogens zur Station „In den sauren Apfel beißen“.	198

23. Anhang

23.1. Abstract

In dieser Arbeit wird ausgehend vom Chem-Tracking Lehrpfad von Spitzer, ein chemiespezifischer Lehrpfad entwickelt. Dieser ist dem Thema „Säuren und Basen“ gewidmet und für den Augarten konzipiert. Schülerinnen und Schüler sollen, angeleitet durch eine Webseite, chemische Phänomene der Natur entdecken. Der Lehrpfad wird anhand der Didaktische Rekonstruktion entwickelt. Die fachliche Klärung zeigt die Sachstruktur der „Säuren und Basen“ aus fachwissenschaftlicher Sicht, aus der die Grundideen für die Sachstruktur des Lehrpfades folgen. Die Perspektive der Lernenden wird anhand fachdidaktischer Literatur eingebracht und der Lehrpfad ausgehend von Lehrzielen entworfen. Der Lehrpfad nützt die didaktischen Methoden Outdoor Learning und Mobile Learning. Die Entwicklung folgt den Fragestellungen wie die Thematik durch Chem-Tracking behandelt werden kann, welche chemischen Phänomene im Augarten zur Verfügung stehen und welche Aspekte der Thematik daran erarbeitet werden können. Es wird beleuchtet, wie die Phänomene didaktisch aufgearbeitet und der Lehrpfad in den Unterricht eingegliedert werden kann. Die Lernenden begegnen chemischen Phänomenen direkt und interaktiv. Bei Testungen des pH-Wertes von Naturmaterialien wird aufgezeigt, dass in der Natur saure und basische Lösungen vorkommen. Schneckenhäuser werden mit saurer Lösung auf Kalk geprüft, woran die typische Reaktion zwischen Kalk und saurer Lösung gelehrt wird. Der pH-Wert des Bodens wird getestet und seine Pufferfähigkeit festgestellt. Die Phänomene werden in der Webseite aufbereitet anhand der drei Ebenen des Johnstone Dreiecks. Um Fehlvorstellungen vorzubeugen wird durchgängig das Säure-Basen-Konzept nach Brønsted genutzt. Die Konzentration auf ein Thema des Lehrplans ermöglicht den Lehrpfad als Vertiefung und Ergänzung für den Unterricht zu nutzen.

23.2. Transkript der Rückmeldungen im Rahmen des Workshops bei der „Umwelt.Wissen.Schule Tagung“: Allgemeines Feedback zu dem Projekt

Umwelt.Wissen.Schule. Tagung, am 22.11.2018, St.Pölten

Die Kommentare der Lehrpersonen werden mit „Lp“ für Lehrperson und einem Großbuchstaben des Alphabets bezeichnet. Der Workshop-Teilnehmer, der keine Lehrperson ist wird mit „B“ für Besucher bezeichnet. „I“ steht für den Interviewer und „W“ für den Workshopleiter.

I: Was war ihr allgemeiner Eindruck, wie ist es Ihnen gegangen beim Handling von den Stationen? Und was waren Ihre Eindrücke.

LpA: Na gut ich fang jetzt gleich an. Grundsätzlich eine gute Idee. Ist durchaus gefragt. Schüler haben da sicher noch einen unbefangeneren Zugang, als vielleicht ich als älterer Jahrgang. Manches könnte noch vielleicht ein bisserl übersichtlicher sein, wenn, an jetzt sagt man sagt Natur erleben, is' es mit dem Handy arbeiten allein zu wenig. Also wenn man rausgeht und mim Handy draußen arbeit' ja, aber wenn das jetzt so wie wir. Is' es a reine Indoor g'schicht

I: Das ist ja nur hereingebracht, normal ist das im Augarten direkt.

LpA: „Ja genau, ja so gefällt es mir ganz gut, vielleicht was ich mir erwartet hätte, wäre dann noch Messen mit Handy und so, das sind jetzt eigentlich nur Anleitungen. Vielleicht habe ich's auch zu wenig genau gelesen Die ersten Apps mit denen man auch was messen kann

Jo so in die Richtung, hätte ich geglaubt krieg ich dann noch zusätzliche Informationen, aber wie g'sagt ich bin mit dem jetzt auch schon zufrieden

W: „Ja also is im kommt im Projekt kommt so nicht vor. Messen mit dem Handy. Wenn sie Informationen brauchen Ich kann ihnen mal ein Seminar Vorlesung schicken zu dem Thema.“

LpA: „Gut“

W: „Ist jetzt eigentlich nicht Workshop Thema, aber wenn Sie mir eine E-Mail schreiben schick ich ihnen das.“

LpA: „Ja chemisches Tracking, habe ich mir halt so vorgestellt, als Laie sag ich jetzt einmal, dass das auch dabei wäna, na, E-Mail adress', wo ist die von Ihnen?

W: Sogar noch am Tisch“

I: Gibt's sonst noch erste Eindrücke?

B: Ja also mein erster Eindruck. Mir gefällt das grundsätzlich gut, das Problem hab ich eh schon geschildert, für mich is ah ich bin jetzt einmal kein Chemiker und kein Biologielehrer muss

ich dazusagen und ich kenn mich mal ned wirklich aus ah, aber ich find interessant, ich hab jetzt irrsinnig viel dazu gelernt, ah mein Problem ist. Es verlangt relativ viel Vorbereitung für den Lehrer, jetzt nicht so sehr, wenn, man sich nicht auskennt, sondern ich muss extrem viel mithaben, weil es wird es bisschen fad, wenn ich es mir nur anschau und durchlese und garnichts machen kann. Also (ah) da kann ich gleich an Spaziergang machen, so find ich das jetzt, aber wenn man die Experimente machen kann is das ja super, nur den Koffer muss ich irgendwie dabeihaben. Ah, also toll wäre es wenn es für die Lehrer ewas gibt, das muss man dabei haben für so viel Schüler, dass ich zumindest packen kann und zwar

LpB: Ein Rezept

B: Unbedingt a Rezept, und zwar sie haben das eh auch angesprochen, ah Dinge, die ich wirklich jetzt alltagsmäßig kaufen kann, also ned irgendwie in am Chemie Shop wo das quasi das zehnfache kostet, sondern dass ich da einfach Schnapsgläser nimm die ich um 20cent irgendwo oder 30 Cent krieg. dann macht das wirklich Sinn, also mir hat das extrem gut gefallen, wenn man dann die Seife wirklich ... Wenn ich ein an Bunsenbrenner mitnehmen, ich mein das geht, den kann ich mitnehmen, (ahh) und dann gengan die Schüler mit einer Seife heim, ohne Verletzungen, wo du sagst super. Also mir hats gut gefallen und ich verabschied mich, wenn i derf, deswegen, weil, ich möchte unten unbedingt noch Stationen ausprobieren und ich muss nämlich früher weg. Ich will so viel mitnehmen wie nur irgend geht und ich schreib auf jeden Fall noch ein mail.

W: Super danke

B: Vielen Dank

(allgemeines Gelächter)

LpC: Ich muss was Grundsätzliches sagen, was ich vorher schon Ihnen gesagt hab. Ich geh mit Schülern in den Wald, was ja super ist, ich mach das auch irrsinnig gern, also das find ich ganz klasse, aber ich muss dann, für die Station vieles mitbringen, wie hier und das nichts mit dem Wald in dem ich mich befinde zu tun hab, finde ich das schwierig. Also wenn's dort eine Feuerstelle gibt und ich kann dort eine Probe entnehmen, würde ich das wesentlich spannender finden, als ich schlepp das alles dorthin mit. Genauso ist es mir bei der Station auch gegangen, weil es geht um Säuren und Basen in der Natur, aber die Säuren und Basen bringe ich mit, JA. Was ich in der Natur, draußen finde ist ein Indikator, da muss man vielleicht mit dem Thema a bissl aufpassen. Ja

I: Haben sie die Station auch gemacht? (Zeigt auf eine Station)

LpC: Die habe ich leider nicht gemacht.

I: DA wären dann die Säuren und Basen aus der Natur sozusagen

LpC: Okay das ist nur bei der Station aufgefallen

I: Okay

LpC: Und hier eben auch

LpC: (Ah) haben wir Zugang zu diesen, wenn man auf die Ihre Homepage dann geht, oder?

W: (Ähm) ja ich kann Ihnen die Links zu Verfügung stellen, es wird sich in den nächsten Wochen wahrscheinlich noch etliches ändern, aber (äh) ja geplant ist, dass es eine Überblickseite gibt. Beim alten Pfad gabs en Überblicksseite mit allen Stationen aufgelistet waren, wo man nachher dann auch in der Schule dann auf jede Station kommt. Also das dann

LpC: Also, dass dann mitnehmen aus dem Workshop

W: Ja

LpD: Also mir hats auch prinzipiell gut gefallen. Und es ist sehr nett so praktisch zu arbeiten. Es hat manchmal einfach nicht funktioniert, jetzt mit dem Internet oder der Verbindung, weil die Seiten sind dann manchmal nicht aufgegangen. Jetzt bin ich mir nicht ganz sicher, was ich mir erwarten würde ist jetzt eher normal macht ma' mal einen Versuch und nachher gibt's eine Lösung, das ist jetzt nicht so weit entwickelt, also das ist dann sozusagen, was erwartet man sich, was könnte das Ergebnis sein, das weiß ich jetzt nicht ob das nur daran liegt, dass man nicht weitergekommen ist, oder das"

I: Es gibt immer eine Erklärung auf der Teilchenebene

LpB: Mhm Also eine Erklärung, was im Chemischen passiert gibt's schon immer Aber die ist immer so weit unten, weil, die hab' ich auch einmal gesucht Und die ist erst, da geht's einmal zur Startseite das ist eh okay, dann gabs eine' Punkt da kommt man wieder auf eine andere Station und dann erst ganz unten gabs quasi Hilfestellung zu dieser Seite. Also das hätte ich aus eher weiter oben einfach gesucht. Also so selbstständig wäre ich nicht drauf gekommen, dass das ganz unten zu finden ist.

LpC: Es wäre halt auch schön glaub ich, wenn man alle Stationen durchlaufen hat und man hat irgendwie so ein Gesamtergebnis. Da find ich einen Buchstaben und da find ich eine Buschstaben, ja so in der Art, dass das irgendwie zusammenhängt und an Sinn hat, wenn ich das dann gemacht hab.

LpB: Na das ist, aber sehr aufwändig alles

W: „Ja, im eigentlichen Pfad und das ist ja an das GEO-Caching angelehnt und im ersten Pfad sammelt man tatsächlich Hinweise in jeder Station und es gibt eine Abschluss Station In dem Fall für den normalen Wanderer ist das ein Virtuelle Gästebuch, wo man sich im GEO-Caching Forum dann offiziell als GEO-trips sehen kann. Wenn Schulklassen kommen, war es oftmals irgendwo ein versteckter Schatz, oftmals hat die Lehrperson an einem Ort irgendeine Tüte Gummibärchen oder so

LpC: Egal was

LpB: ja

LpC: Einfach so ein „bissl“ eine Überprüfung, ob sie das wirklich ordentlich gemacht haben und nicht das Handy dann, haben sich hingesetzt und haben halt gespielt

W: Ja, ja, nein, nein, das soll dann auf jeden Fall, ja weil das ist, also das wird dann ganz zum Schluss kommen, Also hier war eine anberaumte, Wird ja noch

LpE: Also man sieht da steckt wirklich, wirklich, sehr viel Arbeit dahinter, ja

LpC: Ja das stimmt das sieht man Also grundsätzlich glaub ich sehr brauchbar

Auch sind mir einige Rechtschreibfehler, ich glaub man sollte die noch auf Fehler überprüfen Ich weiß, wenn man es selber macht, man sieht es dann nicht mehr, meinen eigenen Text, wenn ich den 20mal durchlese ich sehe den Fehler dann nicht mehr. Ein anderer der darüberliest, sieht sofort den ich weiß nicht Buchstabendreher oder, also dass man das nochmal also dass man

LpB: Den Kindern fällt's wahrscheinlich eh nicht auf

LpC: Nein, Nicht nur im Text bei den Formeln muss man auch nochmal nacharbeiten.
JA wie gesagt

W: Ja dann bedanke ich mich ganz herzlich. (Ähm) Meine E-Mail-Adresse leg ich gleich da vorne hin. Ich habe Ihnen, also sie finden die E-Mail-Adresse (zeigt zum Tisch) Es gibt auch in Chemie und Schule einen Artikel, also wenn sie Interesse haben wie das mit dem Actionbound und Lacotyfie geht, finden sie das Im Artikel drin, da finden sie zumindest unsere Postadresse, wenn sie die „googlen“ finden sie die.“

Link zur Webseite: augarten.chem-tracking.de/sauer

227

Bei sauren Lösungen reagieren Säureteilchen und Wassermoleküle miteinander.

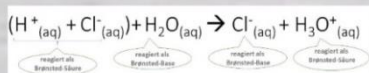
Säureteilchen + Wassermolekül → Säurerestion + Hydroniumion

Das Wassermolekül reagiert als Base. Es nimmt bei der Reaktion ein Proton (H^+ -Ion) von einem Säureteilchen auf. Dadurch **entsteht ein Hydroniumion (H_3O^+ -Ion)** und ein Säurerestion.

(In einer sauren Lösung kommen also Hydroniumionen und Säurerestionen vor. Bei einer starken Säure reagieren fast alle Säureteilchen mit Wassermolekülen. Bei einer schwachen Säure reagieren weniger Säureteilchen. In der sauren Lösung von schwachen Säuren kommen auch Säureteilchen vor, die nicht mit Wassermolekülen reagiert haben.)

Du kennst wahrscheinlich dieses Beispiel aus der Schule:

Salzsäureteilchen + Wassermolekül → Chlorid-Ion + Hydroniumion

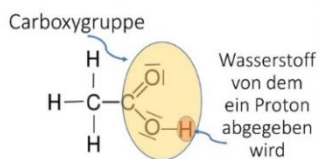


Auch organische Säuren können saure Lösungen bilden.

Dabei wird auch ein Proton (H^+ -Ion) an ein Wassermolekül abgegeben. Es wird sogar ein bestimmtes Proton (H^+ -Ion) abgegeben. Das liegt an der **typischen Struktur von organischen Säuren**.

zum Beispiel:

Eine einfache organische Säure ist die **Essigsäure (Ethansäure)**:



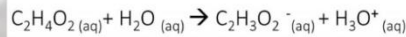
Die **Carboxygruppe** ist die **charakteristische Gruppe von organischen Säuren**. Das Proton (H^+ -Ion) des Wasserstoffatoms (H) der Carboxygruppe ($COOH$) wird bevorzugt abgegeben.

Wie bei den Säuren, die du bereits kennst, kann man nun schreiben:

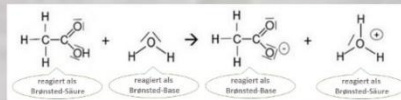
Säureteilchen + Wassermolekül → Säurerestion + Hydroniumion

Die Reaktion von Essigsäuremolekülen und Wassermolekülen kann man so aufschreiben:

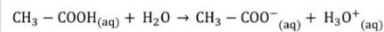
Essigsäuremolekül + Wassermolekül → Säurerestion der Essigsäure + Hydroniumion



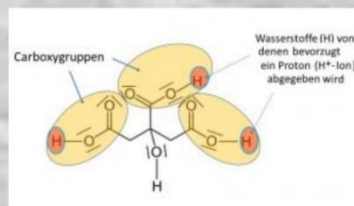
Damit man erkennt, von welcher Stelle das Proton abgegeben wird, kann man **Strukturformeln** verwenden.



Man kann dafür auch eine Mischung aus Summenformel und Strukturformel verwenden:

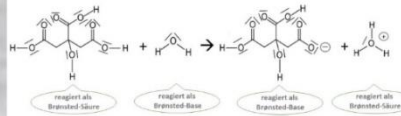
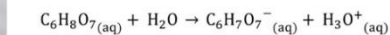


Eine bekannte organische Säure, die in vielen Früchten zu finden ist, ist die **Zitronensäure**. Diese hat 3 Carboxygruppen (gelb markiert):



Ein Zitronensäuremolekül kann somit insgesamt sogar 3 Protonen abgeben.

Zitronensäuremolekül + Wassermolekül → Säurerestion der Zitronensäure + Hydroniumion



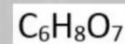
Auch in deiner Lösung sind organische Säuren, die ein Proton (H^+ -Ionen) an ein Wassermolekül (H_2O -Molekül) abgeben. Durch die Menge an entstandenen Hydroniumionen (H_3O^+ -Ionen) ist deine Lösung sauer.

Zitronensäure in verschiedenen Formelschreibweisen

Organische Moleküle kann man in verschiedenen Schreibweisen darstellen.

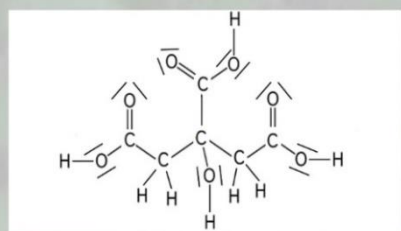


Die **Summenformel**:



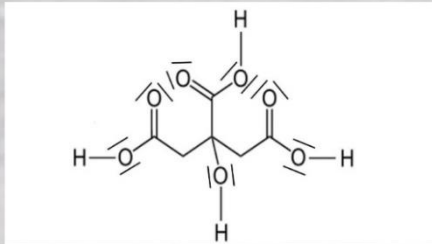
Hier werden nur die Verhältnisse der verschiedenen Atomsorten angegeben. Die Struktur und die genaue Anordnung ist aber nicht angegeben.

Die **Strukturformel**:



In dieser Schreibweise wird die Struktur der Verbindung deutlich. (Es wird deutlich, welche Atome wie verbunden sind) Die **Verknüpfungen** und die **Verknüpfungsart** sind durch die Striche zwischen den Atomen dargestellt. Auch die freien Elektronenpaare können eingezeichnet werden.

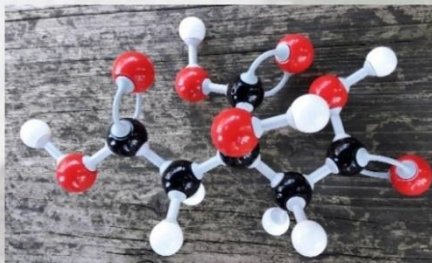
Skelettschreibweise:



Diese Schreibweise wurde auch in der Erklärung der sauren Lösungen auf Teilchenebene benutzt. Sie wird in der organischen Chemie gerne verwendet, weil sie das Wesentliche darstellt. Die vielen Kohlenstoffatome werden nicht ausgeschrieben, sondern nur durch die Kreuzungen dargestellt. **Jeder Punkt, an dem 2 oder mehr Striche zusammenlaufen, steht für ein Kohlenstoffatom** und die dazugehörigen Wasserstoffatome.

Man wählt jeweils die Schreibweise, welche die Informationen, die einem wichtig sind, am besten darstellt.

Man kann die Zitronensäure auch im **Kalottenmodell** darstellen:



Diese Darstellungsweise zeigt eine **räumliche Anordnung** der Atome und die **Größenverhältnisse** der Atomsorten im Molekül.

Hier geht's weiter!

Leider falsch - zurück zur Station



Sammle diesen Puzzleteil für den Lösungssatz.

Merke dir die Wörter oder mache einen Screenshot von den Puzzleteilen. Wenn du alle Stationen gemacht hast, kannst du aus den Teilen den Lösungssatz bilden.

Warum sind eigentlich so viele Pflanzen bzw. ihre Säfte sauer?



Die Erklärung hierfür findest du bei der nächsten Station, der Station „in den sauren Apfel beißen“.

Vervollständige den Satz richtig, dann wirst du weiter geleitet.

Organische Säuren geben _____ an Basen ab.

1. **Protonen (H^+)**
2. **Neutronen (n^0)**
3. **Elektronen (e^-)**

Die Antwort ist leider falsch.



Hier kommst du zurück zur Station

23.4. Webseite der Station 2 „In den sauren Apfel beißen“

Link zur Webseite: augarten.chem-tracking.de/apfel

Apfel

„Da musst du in den sauren Apfel beißen!“



Hast du diesen Ausspruch schon einmal gehört?

Die Redewendung bedeutet, dass man ein notwendiges Übel in Kauf nimmt, um etwas das einem wichtig ist zu erreichen. Es kann sein, dass etwas Unangenehmes aber Notwendiges getan werden muss, auch wenn es Überwindung kostet. So, wie wenn man Hunger hat und ein saurer Apfel ist das einzige Essen, das es gibt. Um den Hunger zu stillen, muss man den unangenehmen Geschmack in Kauf nehmen.

Keine Angst, heute ist das nicht der Fall, aber tatsächlich ist etwas Wahres an dem Spruch. Äpfel enthalten Säuren und der Fruchtsaft des Apfels ist eine saure Lösung.

Doch was genau macht den Apfel sauer? Und warum ist der Apfel überhaupt sauer?

Finde heraus, was den Apfel sauer macht, um zur nächsten Station zu gelangen. Mit dem Lösungswort (nur Großbuchstaben) bekommst du einen Tipp, wo sich die nächste Station befindet.

Weitere Infos
(Bitte auf eine Bild oder den Text klicken)



Warum sind so viele Zellsäfte und Säfte von Früchten sauer?

Ein Blick in die Biologie



Was macht den Apfel sauer?

Ein Blick auf die Inhaltsstoffe des Apfels



Hinweis zur nächsten Station!

Apfel

„Da musst du in den sauren Apfel beißen!“



Hast du diesen Ausspruch schon einmal gehört?

Die Redewendung bedeutet, dass man ein notwendiges Übel in Kauf nimmt, um etwas das einem wichtig ist zu erreichen. Es kann sein, dass etwas Unangenehmes aber Notwendiges getan werden muss, auch wenn es Überwindung kostet. So, wie wenn man Hunger hat und ein saurer Apfel ist das einzige Essen, das es gibt. Um den Hunger zu stillen, muss man den unangenehmen Geschmack in Kauf nehmen.

Keine Angst, heute ist das nicht der Fall, aber tatsächlich ist etwas Wahres an dem Spruch. Äpfel enthalten Säuren und der Fruchtsaft des Apfels ist eine saure Lösung.

Doch was genau macht den Apfel sauer? Und warum ist der Apfel überhaupt sauer?

Finde heraus, was den Apfel sauer macht, um zur nächsten Station zu gelangen. Mit dem Lösungswort (nur Großbuchstaben) bekommst du einen Tipp, wo sich die nächste Station befindet.

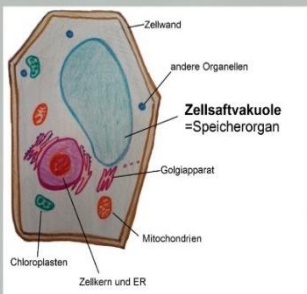
Warum sind so viele Pflanzensäfte sauer?



Du hast bei der vorherigen Station den pH-Wert verschiedener Naturmaterialien bestimmt. Dir ist sicher aufgefallen, dass die meisten Pflanzenteile bzw. ihr Saft einen pH-Wert im sauren Bereich zeigen.

Aber warum sind die Säfte so viele Pflanzen sauer?

Für den Versuch hast du Pflanzenteile zerrieben oder zerrissen. Dabei sind Zellen und ihre Zellsaftvakuolen zerstört worden. Die pflanzliche Zelle enthält im Unterschied zur tierischen Zelle eine **Zellsaftvakuole**. Sie ist ein Speicherorgan der Zelle. In ihr sind Wasser und darin gelöste Stoffe z.B.: anorganische Ionen, **organische Säuren, Enzyme, Zucker, Farbstoffe** und vieles mehr **gespeichert**.



Zeichnung einer Pflanzenzelle

Der pH-Wert der Zellsaftvakuole wird extra auf einem pH-Wert unter 5,5 gehalten. Das geschieht, damit die **Enzyme**, solange sie zwischengelagert sind, **nicht reagieren** können. Damit schützt der saure Zellsaft die Pflanze vor dem Verfall.

Aus dem Alltag weiß du, dass auch der Apfel sauer schmeckt. Dafür sind die organischen Säuren, die Carbonsäuren, verantwortlich.

Sie helfen beim Apfel und anderen Früchten zur **Abwehr gegen Fraßfeinde**. Wenn die Frucht noch unreif ist, ist sie besonders sauer. So schmeckt sie dem Fressfeind z.B. Insekten oder auch größeren Tieren nicht so gut. Der Same kann dann ungehindert reifen. Wenn die Samen reif sind, soll die Frucht den Tieren schmecken. Die Tiere wirken dann für die Verbreitung der Samen.

Carbonsäuren wirken auch als **chemische Abwehr** gegenüber Mikroorganismen, (Bakterien, Pilze und andere Krankheitserreger), die in dem sauren Milieu nicht bestehen können. Auch wir Menschen haben aus demselben Grund so einen Schutz auf unserer Haut, den Säureschutzmantel.



Der Säureschutzmantel ist eine fettige Schicht auf der Haut, die von Talgdrüsen und Schweiß gebildet wird. Sie hat einen pH-Wert von ca 4,5. Die Schicht ist also sauer. Damit sie beim Waschen nicht zerstört wird, verwenden wir pH-hautneutrales Duschgel. Das Duschgel ist also auch leicht sauer, damit der Säureschutzmantel nicht beschädigt wird.

Was macht den Apfel sauer?

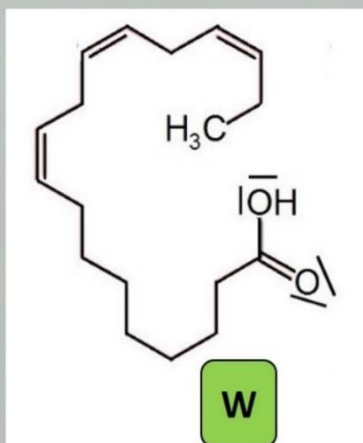
Um zur nächsten Station zu gelangen, musst du erst eine Aufgabe lösen.



Du hast schon organische Säuren auf diesem Chem-Track kennengelernt. Die folgenden Bilder zeigen einige Inhaltsstoffe des Apfels. Welche davon tragen zum sauren Charakter bei? Beurteile, bei welchem Molekül es sich um eine organische Säure handelt. Notiere dir den Buchstaben und bilde ein Lösungswort (nur Großbuchstaben).

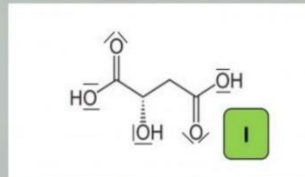
Beispiel 1:

Bei diesem ersten Molekül handelt es sich um Linolensäure. Sie ist im Apfel enthalten.



Beispiel 2:

Auch das folgende Molekül ist eine organische Säure, die Apfelsäure.

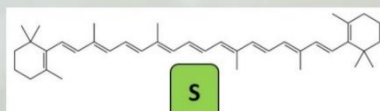
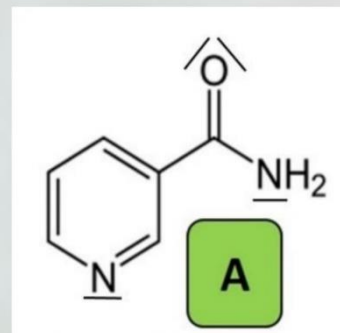
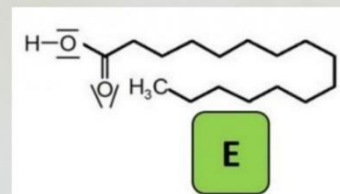
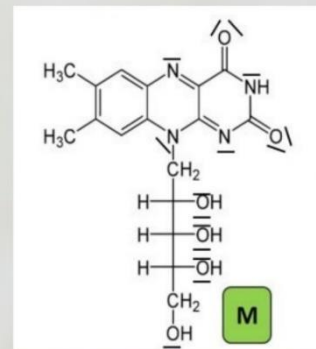
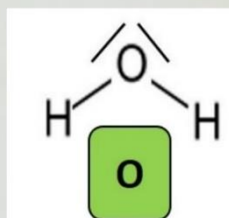
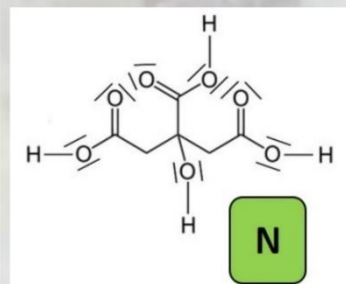
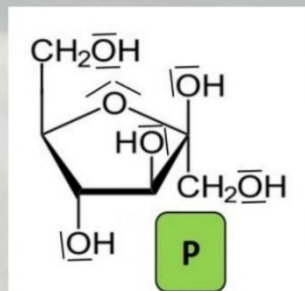


Aufgabe:

Finde nun weitere Säuren mit einer Carboxygruppe. Wenn du alle gefunden hast, kannst du mit den Buchstaben in den grünen Kästen ein Lösungswort bilden. (Die Buchstaben aus den Beispielen gehören dazu)

Über den Button am Ende der Seite bzw. über die Seite „Hinweis zur nächsten Station“ kommst du mit dem Lösungswort zur Auflösung dieser Station und zum Hinweis für den nächsten Standort.

Hier kannst du zur [Hilfe](#) nachlesen, was eine organische Säure ist.



Zur nächsten Station

Hilfe zur Aufgabe

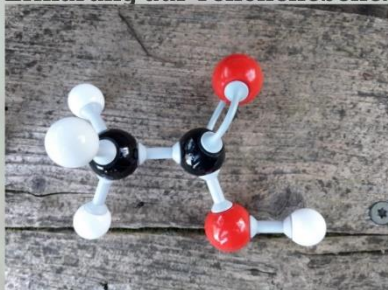
Erklärung:



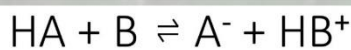
Du hast aus **Pflanzenteilen** und **Wasser** Lösungen hergestellt und deren pH-Wert gemessen. Bestimmt ist dir aufgefallen, dass **die meisten Lösungen sauer** waren. Wenn eine Lösung einen **pH-Wert unter sieben** hat, ist die Lösung sauer. Das liegt daran, dass in sauren Lösungen **viele** wasserumhüllte **Protonen (H⁺-Ionen)** bzw. **Hydroniumionen (H₃O⁺-Ionen)** sind.

In deinen Lösungen führen **organische Säuren** aus **Pflanzenteilen** zu diesen Ionen.

Erklärung auf Teilchenebene:



Nach Brønsted reagieren Säuren und Basen so:



Säureteilchen1 Basenteilchen2 Basenteilchen1 Säureteilchen2

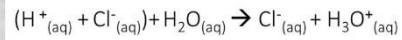
Säuren sind jene Teilchen, die ein **Proton (H⁺-Ion)** an ein anderes Teilchen **abgeben**.

Basen sind jene Teilchen, die ein **Proton (H⁺-Ion)** von einem anderen Teilchen **aufnehmen**.

Saure Lösungen entstehen, wenn Stoffe mit Teilchen, die als **Säure** reagieren können, mit Wasser zusammengegeben werden.

Säureteilchen und Wassermoleküle reagieren miteinander.

Säureteilchen + Wassermolekül → Säurerestion + Hydroniumion



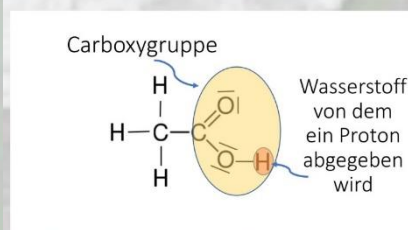
Ein Wassermolekül nimmt bei der Reaktion ein Proton (H⁺-Ion) von einem Säureteilchen auf. Dadurch entsteht ein Hydroniumion (H₃O⁺-Ion) und ein Säurerestion.

(In einer sauren Lösung kommen also Hydroniumionen und Säurerestionen vor. Bei einer starken Säure reagieren fast alle Säureteilchen mit Wassermolekülen. Bei einer schwachen Säure reagieren weniger Säureteilchen. In der sauren Lösung von schwachen Säuren kommen auch Säureteilchen vor, die nicht mit Wassermolekülen reagiert haben.)

Auch organische Säuren können saure Lösungen bilden.

Organische Säuren haben eine typische Struktur.

Eine einfache organische Säure ist die **Essigsäure (Ethansäure)**:

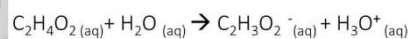


Die **charakteristische Gruppe der organischen Säuren** ist die **Carboxygruppe**. Das Proton (H⁺-Ion) vom Wasserstoffatom der Carboxygruppe wird bevorzugt abgegeben.

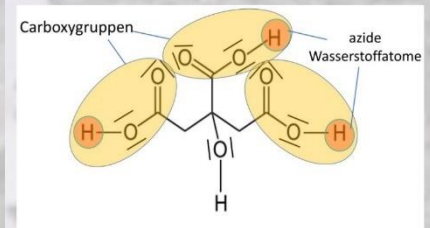
Die Säurereaktion von organischen Säuren läuft nach demselben Schema ab, wie die Säurereaktion von anorganischen Säuren. Auch bei den organischen Säuren wird ein Proton (H⁺-Ion) abgegeben.

Die Reaktion von Essigsäuremolekülen und Wassermolekülen kann man so aufschreiben.

Essigsäuremolekül + Wassermolekül → Säurerestion der Essigsäure + Hydroniumion

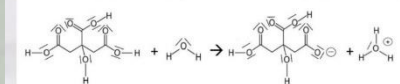
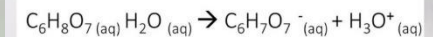


Eine bekannte organische Säure, die in vielen Früchten zu finden ist, ist die **Zitronensäure**. Diese hat 3 Carboxygruppen (gelb markiert):



Ein Zitronensäuremolekül kann somit insgesamt sogar 3 Protonen abgeben.

Zitronensäuremolekül + Wassermolekül → Säurerestion der Zitronensäure + Hydroniumion



Zitronensäure in verschiedenen Formelschreibweisen

Organische Moleküle kann man in verschiedenen Schreibweisen darstellen.

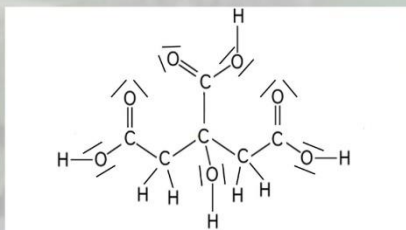


Die **Summenformel**:



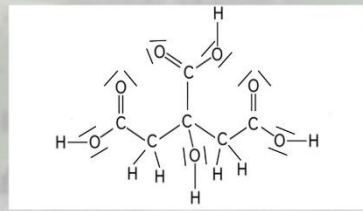
Hier werden nur die Verhältnisse der verschiedenen Atomsorten angegeben. Die Struktur und die genaue Anordnung ist aber nicht angegeben.

Die **Strukturformel**:



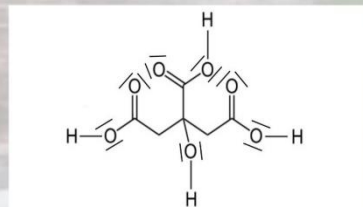
In dieser Schreibweise wird die Struktur der Verbindung deutlich. (Es wird deutlich, welche Atome wie verbunden sind). Die **Verknüpfungen und die Verknüpfungsart** sind durch die Striche zwischen den Atomen dargestellt. Auch die freien Elektronenpaare können eingezeichnet werden.

Die **Strukturformel**:



In dieser Schreibweise wird die Struktur der Verbindung deutlich. (Es wird deutlich, welche Atome wie verbunden sind). Die **Verknüpfungen und die Verknüpfungsart** sind durch die Striche zwischen den Atomen dargestellt. Auch die freien Elektronenpaare können eingezeichnet werden.

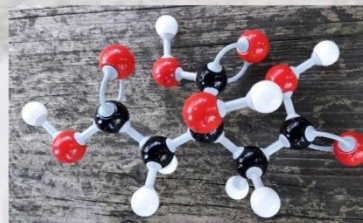
Skelettschreibweise:



Diese Schreibweise wurde auch in der Erklärung der sauren Lösungen auf Teilchenebene benutzt. Sie wird in der organischen Chemie gerne verwendet, weil sie das Wesentliche darstellt. Die vielen Kohlenstoffatome werden nicht ausgeschrieben, sondern nur durch die Kreuzungen dargestellt. **Jeder Punkt, an dem 2 oder mehr Striche zusammenlaufen, steht für ein Kohlenstoffatom** und die dazugehörigen Wasserstoffatome.

Man wählt jeweils die Schreibweise, welche die Informationen, die einem wichtig sind, am besten darstellt.

Man kann die Zitronensäure auch im **Kalottenmodell** darstellen:



Diese Darstellungsweise zeigt eine **räumliche Anordnung** der Atome und die **Größenverhältnisse** der Atomsorten im Molekül.

Geschützt: Hinweis zur nächsten Station

Welche Antwort ist richtig? Klicke sie an, dann bekommst du den Hinweis, wo die nächste Station ist.

Das Lösungswort aus dem Quiz ist:

1. WIEN

2. WIESO

3. WIE

Leider falsch- zurück zur Station

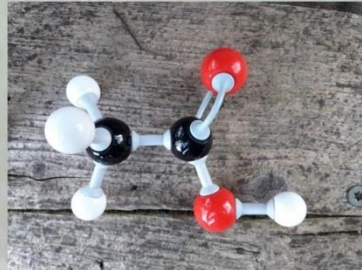
Auflösung und weiter zur nächsten Station

Die Antwort ist leider falsch.



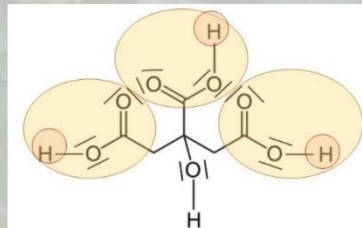
Hier kommst du zurück zur Station

Du hast die Aufgabe erfolgreich gelöst!

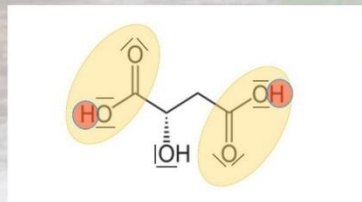


Wie du richtig erkannt hast, sind organische Säuren für den sauren Geschmack des Apfels verantwortlich. Ein Apfel enthält vor allem die folgenden Säuren:

Zitronensäure:

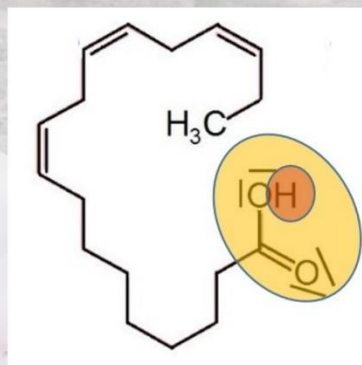


Apfelsäure:



verschiedene Fettsäuren:

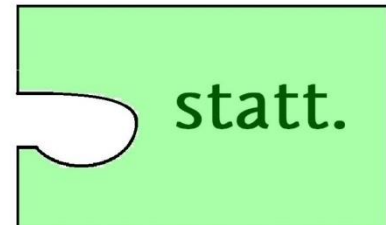
z.B. Linolensäure



Außer den Säuren enthält ein Apfel noch verschiedene Zucker, Kohlenhydrate, Eiweiße, Vitamine und Mineralstoffe.

Die nächste Station findest du

in der Nähe der Quer-Kastanienallee auf der Seite der Wasser Allee.



Samme diesen Puzzleteil für den Lösungssatz.

Merke dir die Wörter oder mache einen Screenshot von den Puzzleteilen. Wenn du alle Stationen gemacht hast, kannst du aus den Teilen, den Lösungssatz bilden.

23.5. Webseite der Station 3 „Untersuchung von Pflanzenasche“

Link zur Webseite: augarten.chem-tracking.de/asche

Untersuchung von Pflanzenasche

Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?



Sieh dich um. Am Boden liegen viele trockene Äste. Wenn man sie verbrennt, entsteht Asche. Du hast eine Holz- oder Pflanzenasche mitgebracht.

Versuch 1:

Versetze ungefähr zwei Teelöffel der Asche mit zirka der gleichen Menge Wasser. Die Asche sollte gut mit Wasser bedeckt sein. Rühre gut um und warte einige Minuten.

Teste nun den pH-Wert.

Was stellst du fest?

Mache ein **Beweisfoto**, auf dem das Indikatorpapier, die Indikatorkala und die Asche oder Aschelösung ist. Dann kannst du dich auch später daran erinnern, welchen pH-Wert die Aschelösung hat.

Weitere Infos

Warum hat Asche diesen pH-Wert?

Ein Blick auf die Teilchenebene

Wofür kann man Asche verwenden?

Asche ist nützlich, aber sie ist dunkel!

Was ist eigentlich der Unterschied zwischen Asche und Holzkohle?

Ein Blick, auf die Herstellung

Hier geht's zur nächsten Station!

Untersuchung von Pflanzenasche

Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?



Sieh dich um. Am Boden liegen viele trockene Äste. Wenn man sie verbrennt, entsteht Asche. Du hast eine Holz- oder Pflanzenasche mitgebracht.

Versuch 1:

Versetze ungefähr zwei Teelöffel der Asche mit zirka der gleichen Menge Wasser. Die Asche sollte gut mit Wasser bedeckt sein. Rühre gut um und warte einige Minuten.

Teste nun den pH-Wert.

Was stellst du fest?

Mache ein **Beweisfoto**, auf dem das Indikatorpapier, die Indikatorkala und die Asche oder Aschelösung ist. Dann kannst du dich auch später daran erinnern, welchen pH-Wert die Aschelösung hat.

Versuch 2:

Gib nun einen Teelöffel Asche in einen Becher und einige Tropfen saurer Lösung dazu. Was kannst du beobachten?

Warum ist die Aschelösung basisch?

Warum erhält man eine basische Lösung, wenn man Wasser zur Asche hinzugibt?



Du hast bereits Wasser zu deiner mitgebrachten Asche gegeben und festgestellt, dass es sich nun um eine **basische Lösung** handelt. Dies scheint zunächst verwunderlich, weil der pH- bei Lösungen von Pflanzen doch im sauren Bereich liegt. Blickt man jedoch einmal auf die Teilchenebene, findet man sehr schnell eine Erklärung. Pflanzen enthalten verschiedene **Metalloxide**, wie zum Beispiel **Kaliumoxid**. Verbrennt man nun die Pflanzen, entsteht **Kohlenstoffdioxid** und dieses reagiert zum Beispiel mit Kaliumoxid zu **Kaliumcarbonat**.

$$K_2O + CO_2 \rightarrow K_2CO_3$$

Kaliumoxid + Kohlenstoffdioxid → Kaliumcarbonat

Bei der Zugabe von Wasser zur Asche wird der Asche das **Kaliumcarbonat** entzogen und reagiert dann mit Wasser zu **Kalilauge** (Kaliumhydroxid):

$$K_2CO_3 + H_2O \rightarrow KOH$$

Kaliumcarbonat + Wasser → Kaliumhydroxid

Man nennt diesen Prozess auch **auslaugen**. Lauge ist ein anderer Begriff für basische Lösung.

Erklärung auf der Teilchenebene:

Nach Brønsted reagieren Säuren und Basen so:

$$HA + B \rightleftharpoons A^- + HB^+$$

Säureteilchen1 Basenteilchen2 Basenteilchen1 Säureteilchen2

Säuren sind jene Teilchen, die ein Proton (H⁺-Ion) an ein anderes Teilchen abgeben.

Basen sind jene Teilchen, die ein Proton (H⁺-Ion) von einem anderen Teilchen aufnehmen.

Bei **basischen Lösungen** reagieren **Basenteilchen** und **Wassermoleküle** miteinander.

Basenteilchen + Wassermolekül → Hydroxidion + Basenrestkation

Ein Basenteilchen nimmt bei der Reaktion ein Proton (H⁺-Ion) von einem Wassermolekül auf. Dadurch entsteht ein Hydroxidion (OH⁻-Ion) und ein Basenrestkation.

(In einer basischen Lösung kommen also das Hydroxidion und das Basenrestkation vor. Bei einer starken Base reagieren fast alle Basenteilchen mit Wassermolekülen. Bei einer schwachen Base reagieren weniger Basenteilchen. In der basischen Lösung von schwachen Basen kommen auch Basenteilchen vor, die nicht mit Wassermolekülen reagiert haben.)

Du kennst wahrscheinlich dieses Beispiel aus der Schule:

$$H_2O(aq) + NH_3(l) \rightarrow OH^-(aq) + NH_4^+(aq)$$

reagiert als Brønsted-Säure reagiert als Brønsted-Base reagiert als Brønsted-Base reagiert als Brønsted-Säure

Ein schwierigeres Beispiel ist die Entstehung der Kaliumlauge:

$$H_2O(aq) + (K^+ + OH^-)_{(s)} \rightarrow OH^-(aq) + K^+(aq) + H_2O(aq)$$

reagiert als Brønsted-Säure reagiert als Brønsted-Base reagiert als Brønsted-Base reagiert als Brønsted-Säure

Das Wassermolekül (H₂O) gibt ein Proton (H⁺-Ion) ab und reagiert als Brønsted-Säure. Das Hydroxidion (OH⁻-Ion) des Kaliumhydroxids (KOH) nimmt ein Proton (H⁺-Ion) auf und reagiert als Brønsted-Base. Es entsteht ein anderes Wassermolekül (H₂O) und ein Hydroxidion (OH⁻-Ion), das in Wasser gelöst ist. Das Kaliumion (K⁺-Ion) wird ebenfalls von Wassermolekülen (H₂O) umhüllt.

Wofür kann man Asche verwenden?

Holzkohle vs. Holz- und Pflanzenasche

Kann man Asche für etwas Sinnvolles verwenden?



Versetzt man Pflanzenasche mit Wasser, entsteht eine basische oder alkalische Lösung. Dass eine alkalische Lösung entsteht, kann man mit einem pH-Teststreifen nachweisen. Er verfärbt sich blau und zeigt einen Wert über pH = 7 an.

Interessant ist der Ursprung des Wortes „alkalisch“. Es kommt vom dem arabischen Wort „al-quali (القالية)“, das Pflanzenasche bedeutet.

Pflanzenasche bzw. das darin enthaltene Kaliumcarbonat (auch Pottasche genannt) ist auch heute noch ein wichtiger Rohstoff. Früher war dieser so begehrt, dass es den Beruf des Aschesammlers gab. Diese zogen von Haus zu Haus und haben die Asche aus den Öfen eingesammelt. Durch Zugabe von Wasser konnte dann Kalilauge gewonnen werden. Verdampft man anschließend das Wasser, so erhält man Kaliumcarbonat (Pottasche).

Das gewonnene Kaliumcarbonat wurde früher dann als **günstiges Waschmittel** verwendet. In vielen Outdoor- und Survivalforen findet man auch heute noch Beschreibungen zur Verwendung von **Aschelösungen als Seife und Duschgel**. Die gewonnene Kalilauge kann durch Zugabe von Fett und durch Erhitzen auch verseift werden. Man erhält so eine richtige Seife.

Pottasche kann auch als **Backtriebmittel** verwendet werden. Gibt man Pottasche mit einer sauren Lösung zusammen, entsteht Kohlenstoffdioxid.

Bei deinem zweiten Versuch hast du genau das gemacht. Das Carbonat vom Kaliumcarbonat (K_2CO_3) aus der Asche reagiert mit saurer Lösung zu Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasser (H_2O). In der Station Stephansdom und Schneckenhaus wird diese Reaktion genauer erklärt.

Was ist der Unterschied zwischen Holzkohle und Asche?



Holzkohle:



Holzkohle entsteht, wenn man luftgetrocknetes Holz **ohne Luftzufuhr** (also auch ohne Sauerstoffzufuhr) erhitzt. Bei Temperaturen von zunächst **275°C** und später zwischen **350°C** und **400°C** findet die sogenannte **Pyrolyse** statt. Dabei werden große Moleküle gespalten. Im Gegensatz zur Verbrennung ist dafür jedoch kein Sauerstoff nötig. Der Pyrolyseprozess läuft dabei in mehreren Schritten oder Phasen ab. Bei der Starttemperatur **220°C** wird das Holz getrocknet und aufgeheizt. Bis **280°C** nimmt die Pyrolyse zu. Dort kommt es zu einer starken Zunahme der Reaktion. Bis **280°C** muss Wärme zugeführt werden (endothermer Prozess). Ab da heizt sich die Reaktionstemperatur bis über **500°C** auf. Die Energie wird in Form von Wärme freigesetzt (exotherme Reaktion).

Bei der Pyrolyse werden große Moleküle zur mehreren kleinen gespalten. Es

entstehen hauptsächlich: Kohlenmonoxid (CO), Methan (CH_4), Formaldehyd ($HCHO$), Essigsäure (CH_3COOH), Methanol (CH_3OH) und Wasserstoff (H_2). Alle diese Stoffe sind brennbar und treten in Form von Rauch aus.

Die **typischen Eigenschaften** und das Aussehen der **Holzkohle** erhält das Holz bei Temperaturen um **400°C**. Hier **wandelt sich die faserige Struktur** des Holzes in die **kristalline Struktur** des Graphit um. Die Holzkohle erhält hier ihre charakteristische Brüchigkeit und Form.

Die entstehenden brennbaren Gase werden dabei auch als „Holzgas“ bezeichnet. Neben der Essigsäure (auch „Holzessig“ genannt), dem Holzgas und der Holzkohle entsteht auch der sogenannte Holzteer. In modernen Anlagen können die Nebenprodukte separat gewonnen und genutzt werden. Je nach Holzart entsteht bei der Holzkohleherstellung 25-30 % Holzkohle.

Holzasche:



Asche besteht im wesentlichen aus dem anorganischen Anteil, der nach der Verbrennung des Holzes übrig bleibt. Es ist ein mineralisches Stoffgemisch aus **Oxiden von Metallen** z.B. Kaliumoxid (K_2O), Aluminiumoxid (Al_2O_3), Kalziumoxid (CaO), Eisen(II)oxid (Fe_2O_3), Magnesiumoxid (MgO), Phosphorpentoxid (P_2O_5), Siliciumoxid (SiO_2), ... und **Carbonaten von Metallen** z.B. Kaliumcarbonat (K_2CO_3), Natriumcarbonat (Na_2CO_3), Natriumhydrogencarbonat ($NaHCO_3$), ...

Holzasche entsteht durch **Verbrennung von Holz unter Luftzufuhr**. Die Verbrennung beginnt mit einer Erhitzung von außen. Bis zu **100°C** verdampft das vorhandene Wasser. Ab **150°C** beginnt die Verkohlung. **Kohlenwasserstoffe ($C_xH_2O_x$) reagieren mit dem Sauerstoff (O_2) der Luft zu Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasser (H_2O)**. Dabei wird Wärme frei. Auch Stickoxide (NO_x) und Ruß (unverbrannte Kohlenwasserstoffe) können entstehen. Bei hohen Temperaturen werden große Kohlenwasserstoffe durch Pyrolyse in kleinere Kohlenwasserstoffe gespalten. Diese reagieren, wie vorher beschrieben, mit Sauerstoff weiter. Die Asche bleibt zurück. Zum Teil bleibt auch Kohle zurück.

Hinweis zur nächsten Station	Leider falsch- zurück zur Station	Richtige Antwort
Welches ist die richtige Antwort? Klicke die richtige Antwort an, dann bekommst du einen Hinweis, wo die nächste Station ist. Was kennzeichnet eine Brønsted Base? 1. Sie kann ein Proton (H^+) abgeben. 2 Sie kann ein Proton (H^+) aufnehmen. 3.Sie kann ein Hydroxidion (OH^-) aufnehmen.	Die Antwort ist leider falsch.  Hier kommst du zurück zur Station	Die nächste Station findest du In der Kastanien-Hauptallee in der Nähe des Cafe-Restaurants. In der Sammle diesen Puzzleteil für den Lösungssatz. Merke dir die Wörter oder mache einen Screenshot von den Puzzleteilen. Wenn du alle Stationen gemacht hast, kannst du aus den Teilen, den Lösungssatz bilden.

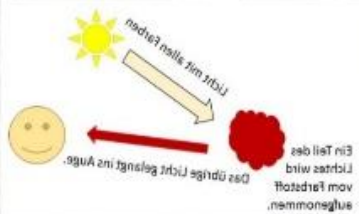
23.6. Webseite der Station 4 „Farbenspiel mit Bedeutung“

Link zur Webseite: augarten.chem-tracking.de/farbe

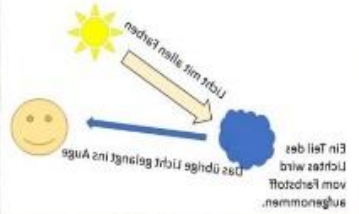
Farbengel	Farbenspiel	Versuch zur Station	Erklärung auf Teilchenebene
 Farbenspiel mit Bedeutung Ein kleiner Reagenzglas mit Blauem, der sich nach dem Zugabe von Essigsaft zu Gelbem verändert. Einige Pflanzen werfen ihre Blütenblätter ab, wenn die Blüten bestäubt sind. Doch bei der Rosskastanie bleiben zunächst alle Blütenblätter an der Blüte. Das hat den Vorteil der „Fernwirkung“. Das heißt Insekten sehen die Blüten schon von weiter weg, weil es viele sind. Wenn du genau schaut, erkennst du, dass nicht alle Blüten gleich sind. Manche tragen einen gelben und andere einen rosafarbenen Fleck. Dieser Fleck wird „Saftmal“ genannt. Bei schon bestäubten Blüten ist das Saftmal rosa. Blüten, die noch nicht bestäubt wurden, haben ein gelbes Saftmal. Bienen fliegen speziell zu den Blüten mit gelbem Saftmal, weil sie rote Farbe nicht sehen. Spannend ist, dass hier in der Natur eine Farbänderung stattfindet. Bei dieser Station sollst auch du Farbveränderungen untersuchen! Exkurs Indikator Ein Indikator ist eine chemische Substanz, die eine Farbänderung zeigt. Hinweis zur nächsten Station Beim Versuch der nächsten Station sollst du auch die Farbänderung untersuchen. Chem-Tracking @Augarten HERSTELLT: MATHIAS KREIBER	 Farbenspiel mit Bedeutung Blütenstand einer Rosskastanie/caption] Insekten fliegen nur die Blüten an, die noch nicht bestäubt wurden. Die meisten Pflanzen werfen ihre Blütenblätter ab, wenn die Blüten bestäubt sind. Doch bei der Rosskastanie bleiben zunächst alle Blütenblätter an der Blüte. Das hat den Vorteil der „Fernwirkung“. Das heißt Insekten sehen die Blüten schon von weiter weg, weil es viele sind. Wenn du genau schaut, erkennst du, dass nicht alle Blüten gleich sind. Manche tragen einen gelben und andere einen rosafarbenen Fleck. Dieser Fleck wird „Saftmal“ genannt. Bei schon bestäubten Blüten ist das Saftmal rosa. Blüten, die noch nicht bestäubt wurden, haben ein gelbes Saftmal. Bienen fliegen speziell zu den Blüten mit gelbem Saftmal, weil sie rote Farbe nicht sehen. Spannend ist, dass hier in der Natur eine Farbänderung stattfindet. Bei dieser Station sollst auch du Farbveränderungen untersuchen! Exkurs Indikator Ein Indikator ist eine chemische Substanz, die eine Farbänderung zeigt. Hinweis zur nächsten Station Beim Versuch der nächsten Station sollst du auch die Farbänderung untersuchen. Chem-Tracking @Augarten HERSTELLT: MATHIAS KREIBER	Finde heraus, welche Blüten noch ihre Farbe ändern können! In diesem Park sind viele Pflanzen mit bunten Blütenblättern und Früchten. Nicht alle können ihre Farbe wechseln. Finde heraus, ob sie ihre Farbe in saurer oder basischer Umgebung ändern. Für den Versuch brauchst du: • bunte Blütenblätter oder Früchte von verschiedenen Pflanzen • (Bei Pflanzen aus den Beeten, nimm bitte nur bereits heruntergefallene Blütenblätter!) • 1 Blatt Papier • saure Lösung (z.B. Essig oder Zitronensaft) • basische Lösung (deine „Aschelösung“) • 2 Einwegpipetten oder einige Wattestäbchen Durchführung: Reibe ein Blütenblatt auf dem Papier und mache so vier Farbflecken (siehe Bild). Früchte kannst du zerdrücken. Gib mit einer Pipette oder einem neuen Wattestäbchen etwas von der basischen Lösung auf den ersten Farbfleck. Gib nun mit einer anderen Pipette oder einem Wattestäbchen etwas von der sauren Lösung auf den zweiten Farbfleck. Lasse einen Farbfleck zum Vergleich unverändert. Was beobachtest du? Notiere dir, was passiert oder halte es als Foto fest. Idee für die Durchführung des Versuchs Beschrifte die Bereiche des Papiers, damit du deine Beobachtungen zuordnen kannst. Prüfe beim vierten Farbfleck, ob du die Farbänderung wieder rückgängig machen kannst.	Warum verändert sich die Farbe der Farbstoffe? Ein Indikator ist ein Farbstoff, der je nach pH-Wert, eine andere Farbe aufweist. Indem du saure oder basische Lösung zu einem Indikator gibst, verändert sich der pH-Wert der Lösung. Wenn dabei ein gewisser pH-Wert Bereich (Umschlagsbereich) über- oder unterschritten wird, siehst du eine andere Farbe. Die Rosskastanienblüte hat den selben Farbstoff wie Rotkraut- Cyanidin. Erklärung auf der Teilchenebene: Die Moleküle solcher Farbstoffe können an geeigneten Stellen Protonen (H⁺-Ionen) aufnehmen oder abgeben. Umso saurer eine Lösung ist, umso eher nimmt der Farbstoff ein Proton (H⁺-Ion) oder mehrere Protonen auf. Umso basischer eine Lösung ist, desto eher spaltet der Farbstoff ein Proton (H⁺-Ion) oder mehrere ab. Durch das Aufnehmen oder Abgeben (gelber Pfeil) der Protonen ändert sich die Struktur des Farbstoffmoleküls: Chemische Struktur: Strukturformel des Farbstoffmoleküls (Cyanidin) in saurer und basischer Umgebung. Farbskala: Farbskala von pH 1 bis pH 12, die die Farbänderung des Indikators zeigt. Warum verändert sich die Farbe der Farbstoffe? Ein Indikator ist ein Farbstoff, der je nach pH-Wert, eine andere Farbe aufweist. Indem du saure oder basische Lösung zu einem Indikator gibst, verändert sich der pH-Wert der Lösung. Wenn dabei ein gewisser pH-Wert Bereich (Umschlagsbereich) über- oder unterschritten wird, siehst du eine andere Farbe. Die Rosskastanienblüte hat den selben Farbstoff wie Rotkraut- Cyanidin. Erklärung auf der Teilchenebene: Die Moleküle solcher Farbstoffe können an geeigneten Stellen Protonen (H⁺-Ionen) aufnehmen oder abgeben. Umso saurer eine Lösung ist, umso eher nimmt der Farbstoff ein Proton (H⁺-Ion) oder mehrere Protonen auf. Umso basischer eine Lösung ist, desto eher spaltet der Farbstoff ein Proton (H⁺-Ion) oder mehrere ab. Durch das Aufnehmen oder Abgeben (gelber Pfeil) der Protonen ändert sich die Struktur des Farbstoffmoleküls: Chemische Struktur: Strukturformel des Farbstoffmoleküls (Cyanidin) in saurer und basischer Umgebung. Farbskala: Farbskala von pH 1 bis pH 12, die die Farbänderung des Indikators zeigt.

BEISPIELE:

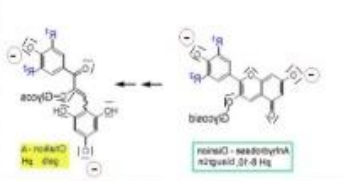
bei kürzerem Doppelbindungssystem

bei längerem Doppelbindungssystem:

Die Veränderung zur gelben Farbe hat eine zusätzliche Ursache. Durch die Aufnahme von Protonen (H^+ -Ionen) wird in mehreren Reaktionsschritten einer der Ringe geöffnet.



Damit aus diesem Ion wieder ein Indikatorfarbstoff wird, muss ein Enzym mitwirken.

Exkurs: Säure-Basen-Indikator

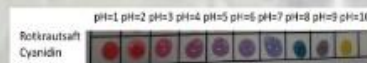
Was ist ein Säure-Basen-Indikator?

Bei deinem Experiment hast du beobachten können, was ein Säure-Basen-Indikator ist. Säure-Basen-Indikatoren beinhalten Farbstoffe, die je nach pH-Wert eine andere Farbe zeigen. Du erkennst einen Säure-Basen-Indikator also, wenn sich beim dazugeben von saurer oder basischer Lösung die Farbe der Lösung ändert und du die Reaktion rückgängig machen kannst. Also z.B. wenn du nach der sauren Lösung eine basische Lösung dazu gibst und sich die Farbe dabei zurück verändert, auch in umgekehrter Reihenfolge.

Du kennst vielleicht Säure-Basen-Indikatoren, die abhängig vom pH-Wert zwei verschiedene Farben zeigen können.



Rotkraut ist ein Universalindikator mit dem Farbstoff Cyanidin. Er kann je nach pH-Wert verschiedene Farben anzeigen.



Du siehst, auch Pflanzen können einen Farbstoffen haben, der als Indikator wirkt. Es gibt in der Natur noch viel mehr Pflanzen, die solche Farbstoffe besitzen z.B. Malvenblüten (Hibiskus, Teestrauchgewächse) oder das gefleckte Lungenkraut, Mohnblumen und Kornblumen, ...

BEISPIELE:

Rotkraut/Blaukraut: Die beiden Namen verraten schon die Möglichkeit, die Farbe zu ändern. Wird Rotkraut mit Essig gekocht, erhält es die charakteristische rote Farbe. Im basischen ist die Farbe eher blau.

Teepflanze: Wenn du in Schwarztee Zitrone gibst, dann ändert sich die Farbe von dunkelbraun auf hellbraun/gelblich.



Geflecktes Lungenkraut: Die Blüten sind zu Beginn rosa und werden mit der Zeit violett/bläulich. Oft sind an einer Pflanze rosa und bläuliche Blüten zu sehen. Daher hat die Pflanze vermutlich ihren Spitznamen „Brüderchen und Schwesterchen“.



Hibiskus: Hibiskus kann viele verschiedene Grundfarben haben. Auf diesem Bild sind frische Blüten lila und verblühte Blüten sind bläulich.



Hinweis zur nächsten Station

Leider falsch- zurück zur Station

Richtige Antwort

Welches ist die richtige Antwort?

Klicke die richtige Antwort an, dann bekommst du einen Hinweis, wo die nächste Station ist.

Wann ändert sich die Farbe der Indikatorlösung?

1. Wenn der pH-Wert gleich bleibt.
2. Wenn das Doppelbindungssystem unverändert bleibt.
3. Wenn vom Indikatormolekül eine gewisse Menge an Protonen (H^+) aufgenommen oder abgegeben wird.

Die Antwort ist leider falsch.



Hier kommst du zurück zur Station

Die nächste Station findest du

in der Nähe des Einganges (Nordwestbahnstraße, Lampiggasse). Natürlich im Augarten!

chemische

Sammle diesen Puzzleteil für den Lösungssatz.

Merke dir die Wörter oder mache einen Screenshot von den Puzzleteilen. Wenn du alle Stationen gemacht hast, kannst du aus den Teilen, den Lösungssatz bilden.

23.7. Webseite der Station 5 „Schneckenhaus und Stephansdom“

Link zur Webseite: augarten.chem-tracking.de/schneckenhaus

Schneckenhaus und Stephansdom	Schneckenhaus und Stephansdom	Wie reagieren Kalk und saure Lösung miteinander?	Wohin ist der Kalk "verschwunden"?
Schneckenhaus und Stephansdom  Der Stephansdom ist das Wahrzeichen Wiens. Hast du ihn schon einmal ganz ohne Baugerüst gesehen? Vermutlich nicht! Er ist fast immer an irgendeiner Stelle durch ein Baugerüst verdeckt. Das hat einen Grund! Der Stephansdom muss immer wieder neu renoviert werden, weil er aus Kalkstein gebaut ist. Kalkhaltige Gesteine reagieren ganz typisch mit sauren Lösungen. Das tut auch der Stephansdom. Probiere es selbst aus, aber nicht am Stephansdom, sondern an einem Schneckenhaus. Weitere Infos  Wie reagieren Kalk und saure Lösungen miteinander? Anleitung für einen Versuch  Wohin ist der Kalk „verschwunden“? Erklärung auf der Teilchenebene  Bedeutung für den Stephansdom  Hinweis für die nächste Station	Schneckenhaus und Stephansdom  Der Stephansdom ist das Wahrzeichen Wiens. Hast du ihn schon einmal ganz ohne Baugerüst gesehen? Vermutlich nicht! Er ist fast immer an irgendeiner Stelle durch ein Baugerüst verdeckt. Das hat einen Grund! Der Stephansdom muss immer wieder neu renoviert werden, weil er aus Kalkstein gebaut ist. Kalkhaltige Gesteine reagieren ganz typisch mit sauren Lösungen. Das tut auch der Stephansdom. Probiere es selbst aus, aber nicht am Stephansdom, sondern an einem Schneckenhaus.	Versuche es selbst!  Schneckenhäuser sind ein typisches Naturmaterial aus Kalk. Deshalb kannst du sie für den Versuch verwenden. Versuch 1: Suche ca. 3 leere Schneckenhäuser. Zerdrücke und zerreiße sie an einer festen Oberfläche z.B. zwischen zwei Steinen. Sammle die Splitter in einem Schnapsglas. Nimm nun die Flasche mit der sauren Lösung und tropfe davon ca. 10 Tropfen auf die Splitter des Schneckenhauses. Was beobachtest du? Beschreibe, was du siehst und hörst,... Notiere deine Beobachtung und halte sie mit einem Foto oder Video fest. Versuch 2: Suche einen Stein. Tropfe etwa 10 Tropfen deiner sauren Lösung auf den Stein. Beobachtest du dasselbe wie beim Schneckenhaus? Halte auch davon die Ergebnisse fest.	Erklärung:  Hast du gesehen, dass sich Bläschen gebildet haben und hast du das Prickeln gehört? Das Schneckenhaus besteht aus Kalk. Wenn eine saure Lösung auf Kalk gegossen wird, dann reagieren die Kalk-Moleküle mit den Säureteilchen. Dabei entstehen Kohlenstoffdioxid und Wasser. Das Kohlenstoffdioxid ist gasförmig. Es entweicht aus der Flüssigkeit in Form von Bläschen. Genau genommen läuft die Reaktion in zwei Schritten. Erklärung auf der Teilchenebene: Chemisch gesehen ist Kalk ist eine Kalziumcarbonat Verbindung (CaCO_3). 1) Zuerst reagiert ein Kalziumcarbonatteilchen (CaCO_3) mit einem Säureteilchen zu einem Kalzium-Ion und einem Kohlensäuremolekül (H_2CO_3). Kalziumcarbonatteilchen + Säureteilchen → Kalziumion + Kohlensäureteilchen $(\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-})_{\text{fest}} + 2 \text{H}_3\text{O}^+_{\text{(aq)}} \rightarrow \text{Ca}^{2+}_{\text{(aq)}} + (2 \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-})_{\text{(aq)}} + 2 \text{H}_2\text{O}$ Die entstandenen Kohlenstoffdioxidteilchen entweichen gasförmig. 2) Danach zersetzt sich das Kohlensäuremolekül (H_2CO_3) zu einem Wassermolekül (H_2O) und einem Kohlenstoffdioxidmolekül (CO_2). Kohlensäureteilchen → Wassermolekül + Kohlenstoffdioxidmolekül $(2 \text{H}^+_{\text{(aq)}} + \text{CO}_3^{2-}_{\text{(aq)}}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{\text{(l)}} + \text{CO}_{2\text{(g)}} \uparrow$

An den Reaktionen kannst du erkennen, dass eine Umwandlung stattfindet. Alle Atomsorten bleiben vorhanden. Du kannst es an den Reaktionsgleichungen abzählen. Von jeder Atomsorte sind links vom Reaktionspfeil gleichviele wie rechts davon.



Der Effekt, dass sich Kalk durch saure Lösungen löst, wird z.B. zum Entkalken von Wasserkochern oder Sanitäranlagen genutzt.

Bedeutung als Nachweis für Kalk:

Das **Schäumen** ist ein **sicheres Zeichen** dafür, dass das Schneckenhaus aus Kalk besteht. Man kann mit saurer Lösung auch prüfen, ob ein Stein **Kalk enthält**.

(Es gibt zwei große Gruppen an Gesteinen. Die einen sind kalkhaltig die anderen silikatisch.)

Hat dein Stein Kalk enthalten?



Wenn dein Stein mit der saurer Lösung **Bläschen** bildet, dann ist das ein Beweis, dass er auch **Kalk** enthält.



Wenn er **keine Bläschen** bildet ist es ein Beweis, dass er **keinen Kalk** enthält.



Bedeutung für den Stephansdom



Da der Wiener Stephansdom aus kalkhaltigem Gestein besteht, reagiert er mit sauren Lösungen genauso. Konkret passiert es **durch sauren Regen**.

Wie kommt es zu saurem Regen? Bei Verbrennung von Kohle kann bis zu 5% Schwefeldioxid (SO_2) entstehen und in die Luft gelangen. Das löst sich in Wasser (H_2O) zu Schwefelsäure (H_2SO_4). Die Säureteilchen der schwefelsauren Lösung reagieren, wie die Säureteilchen in deinem Versuch, mit den Carbonatteilchen (CO_3^{2-}) zu Wassermolekülen (H_2O) und Kohlenstoffdioxidmolekülen (CO_2).

Dort, wo der saure Regen mit dem kalkhaltigen Gestein in Berührung kommt, wird also Kalk „gelöst“. Die **filigranen Verzierungen** des Stephansdomes werden dabei **abgetragen**.

Das ist der Grund, weshalb der Stephansdom laufend renoviert wird. Nur so bleibt Wiens Wahrzeichen schön erhalten.

Bedeutung für den
Stephansdom

Leider falsch- zurück zur
Station

Richtige Antwort

Den Hinweis zur nächsten Station erhältst du, wenn du die richtige Antwort anklickst.

Was für ein Gas entsteht bei der Reaktion einer sauren Lösung und Kalk?

- a) Kohlenstoffdioxid (CO_2)
- b) Luft (N_2 , CO_2 , O_2 ,...)
- c) keines

Die Antwort ist leider falsch.



Hier kommst du zurück zur Station

Die nächste Station findest du

In der Nähe des großen (achteckigen) Flakturms.



**Sammle diesen
Puzzleteil für den
Lösungssatz.**

Merke dir die Wörter oder mache einen Screenshot von den Puzzleteilen. Wenn du alle Stationen gemacht hast, kannst du aus den Teilen, den Lösungssatz bilden.

23.8. Webseite der Station 6 „Kann auch der Boden sauer oder basisch sein?“

Link zur Webseite: augarten.chem-tracking.de/bodenloesung

Kann auch der Boden sauer oder basisch sein?



Nicht alle Böden sind gleich. Es gibt verschiedene Bodentypen (zB.: Auboden, Braunerde, Tschernosemboden, Podsol, Gley...). Alle diese Böden entstehen auf typische Art und Weise. Je nachdem, auf welchem und aus welchem Gestein der Boden entsteht, sind andere Ionen mehr vorhanden. Das beeinflusst auch den pH-Wert, der für einen Boden typisch ist.

(Die Salze reagieren mit dem Wasser)

„Na -Boden“ + Wasser: pH 11
 „Ca-Boden“ + Wasser: pH 8
 „Al -Boden“ + Wasser: pH 4
 „H-Boden“ + Wasser: pH 3

Mitteleuropäische Böden haben einen pH-Wert, der zwischen 3-8 liegt. Die meisten haben einen pH-Wert zwischen 5,0 und 6,5.

Zu welchem der Böden gehört der Boden des Augartens?

Weitere Infos



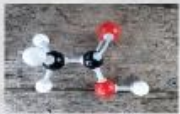
Welchen pH-Wert hat der Boden im Augarten?

Anleitung für einen Versuch



Der Boden kann noch mehr!

Anleitung für einen zweiten Versuch



Der Boden im Augarten

Erklärung der Versuche auf der Teilchenebene



Was bringt der Bodenpuffer?

Technisierung des Puffers für Pflanzen



Hinweis für die nächste Station

Kann auch der Boden sauer oder basisch sein?



Nicht alle Böden sind gleich. Es gibt verschiedene Bodentypen (zB.: Auboden, Braunerde, Tschernosemboden, Podsol, Gley...) Alle diese Böden entstehen auf typische Art und Weise. Je nachdem, auf welchem und aus welchem Gestein der Boden entsteht sind **andere Ionen mehr vorhanden**. Das beeinflusst auch den pH-Wert, der für einen Boden typisch ist.

(Die Salze reagieren mit dem Wasser)

„Na -Boden“ + Wasser: pH 11
 „Ca-Boden“ + Wasser: pH 8
 „Al -Boden“ + Wasser: pH 4
 „H-Boden“ + Wasser: pH 3

Mitteleuropäische Böden haben einen pH-Wert, der zwischen 3-8 liegt. Die meisten haben einen pH-Wert zwischen 5,0 und 6,5.

Zu welchem der Böden gehört der Boden des Augartens?

Was für einen pH-Wert hat der Augarten?

Versuch 1



Miss den pH-Wert und ordne ihn einem der „Böden“ zu.

Hinweise:

- Bitte nimm bei diesem Versuch Erde aus den Bereichen hinter den Hecken! (nicht die Wiese zerstören, die wurde extra von Gärtnern angelegt)
- Auf der Startseite der Station findest du die typischen pH-Werte der Bodentypen.

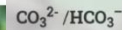
Versuch:

1. Fülle dein Gefäß mit ca. 1 cm Erde. Gib etwa die gleiche Menge Wasser hinzu. Rühre um bzw. schwenke das Gefäß, damit sich Erde und Wasser gut durchmischen. Lass es stehen, bis sich die Feststoffe abgesetzt haben und die Flüssigkeit darübersteht. Jetzt kannst du den pH-Wert testen.
2. Miss den pH-Wert in der Flüssigkeit. (Wenn dich Bestandteile an der Oberfläche bei der Messung stören, kannst du sie abschütten).
3. Nun überlege aufgrund des pH-Wertes, um welchen Boden es sich handelt.

Der Boden kann noch mehr! Der Boden im Augarten

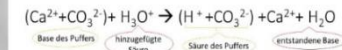
In diesem Fall sind es

Carbonat und Hydrogencarbonat



Kalziumcarbonat-Moleküle aus dem Boden reagieren mit Säureteilchen. Es entstehen Hydrogencarbonat-Ionen (HCO_3^- -Ion) und Kalzium-Ionen (Ca^{2+} -Ionen) werden frei.

Kalziumcarbonat-Verbindung + Säure-Teilchen
→ Hydrogencarbonat-Ion + Kalzium-Ion + Wasser-Molekül



Base des Puffers hinzugefügte Säure Säure des Puffers entstandene Base

Da auch schon vorher Hydrogencarbonat (HCO_3^- -Ion) im Boden war, wird die Konzentration davon nur minimal höher.

Der pH-Wert von der Bodenlösung verändert sich deshalb nicht so stark, wie der pH-Wert bei dem Versuch mit Wasser.

Versuch 2



Wusstest du, dass der Boden Aufgaben hat?

Er bietet zum Beispiel den Pflanzen einen Ort zur Verankerung und trägt zu ihrer Nährstoffversorgung bei. Außerdem speichert und filtert er auch Wasser.

Eine weitere Funktion von Böden kannst du gleich testen.

Die meisten Böden können etwas, das Wasser nicht kann. Für den Versuch dazu brauchst du jetzt 2 Gefäße gleichzeitig. Dann kannst du den gleichen Versuch einmal mit Wasser und einmal mit einer wässrigen Bodenprobe machen und diese vergleichen.



Versuch:

- Halte bei jeder der Testungen die Werte /Ergebnisse fest. Du kannst dafür dein Handy verwenden.

1. Stelle wie beim Versuch 1 eine wässrige Bodenprobe her. Gib in ein zweites Gefäß die gleiche Menge Wasser, wie bei der Bodenprobe. **Teste** bei beiden den **pH-Wert**.
2. Gib nun bei beiden **einen Tropfen saurer Lösung** dazu und teste noch einmal die pH-Werte.
3. **Vergleiche die Veränderung.** Hat sich einer der beiden pH-Werte stärker verändert?

Der Boden im Augarten

Der pH-Wert liegt zwischen 6,5 und 8. Somit kannst du den Boden bei den „Ca-Böden“ einordnen.



Der Boden des Augartens ist kein typischer Auboden mehr. Wenn ein Auboden nicht mehr in der Überschwemmungszone ist, verändert er sich und wird zu einem terrestrischen (=Land-) Boden. Der Kalzium Gehalt kann variieren.

Der Boden hat eine sogenannte **Puffer-Funktion**.

Du kennst das Wort vielleicht aus einem anderen Zusammenhang, als Zeitpuffer. Wenn du für den Schulweg einen Zeitpuffer einrechnest, kommst du auch dann noch zurecht, wenn du die Straßenbahn verpasst.

Beim Puffer in der Chemie ist es ähnlich: Wenn eine **kleine Menge saurer Lösung zur Bodenlösung** dazu kommt, **verändert sich der pH-Wert nicht so stark**, wie man annehmen würde.

Der Boden ist ein „Ca-Boden“. Er hat einen **Carbonat-Puffer**.

Der Carbonat-Puffer hält den pH-Wert im Bereich zwischen 8 und 6,5 relativ konstant, während bei Wasser ein Tropfen saurer Lösung eine größere Veränderung des pH- Werts bewirkt.

Erklärung auf der Teilchenebene:

Ein Puffer besteht immer aus einer **schwachen Säure oder Base und ihrem Salz**. (Die beiden unterscheiden sich nur um ein Proton). Wenn wenige Tropfen Säure oder Base dazu kommen, dann verändert sich nur das Verhältnis der Säure zu ihrer dazugehörenden Base.

Was bringt der Bodenpuffer?



Bedeutung des Bodenpuffers für Pflanzen

Boden, Atmosphäre, Biosphäre (Tiere und Pflanzen) und das Grundwasser beeinflussen sich gegenseitig.

Ein Aufgabenbereich des Bodens (von vielen) ist es zu filtern, zu puffern und umzuwandeln.

Warum ist es wichtig, dass ein Boden puffern kann?

Pflanzen brauchen, damit sie wachsen können, eine gewisse Temperatur, die richtige Menge Wasser, Licht, Nährstoffe, und Spurenelemente. Sie brauchen aber auch **den richtigen pH-Wert**. Das sind die sogenannten **Standortbedingungen**. Nicht alle Pflanzen brauchen dieselben Standortbedingungen, sondern sie sind für einen gewissen Lebensraum gut angepasst.

Der Bodenpuffer sorgt dafür, dass der pH-Wert zirka gleich bleibt. Dadurch können Pflanzen wachsen, ohne dass plötzlich der pH-Wert des Bodens ganz anders ist.

Warum sollte sich der pH-Wert des Bodens ändern?

Der Boden ist in Verbindung mit Pflanzen, Tieren und Luft. Diese können dazu führen, dass der Boden saurer wird.

Hier einige Beispiele:

- Bei der **Wurzelatmung** wird CO_2 in den Boden abgegeben.
- Mit Wasser reagiert CO_2 zu Kohlensäure.
- Pflanzenwurzeln nehmen kationische Nährstoffe auf und geben Protonen (H^+ -Ionen) ab.
- Bei der **Humusbildung** werden organische Bestandteile zu Huminstoffen und Huminsäuren zersetzt.
- Es entstehen auch Säuren bei der **Oxidation von Fe^{2+} und Mn^{2+}**
- Auch **saurer Regen** führt mit SO_2 , NO_x und F zu saurerem pH-Wert
- Auch **Düngen** mit sauer wirkenden Düngemitteln verändert den pH-Wert.

Wenn zu viel Säure in den Boden dringt, kann auch der Puffer nicht verhindern, dass der Boden versauert, aber bei kleinen Mengen hält er den pH-Wert konstant.

Hinweis zur nächsten Station

Welches ist die richtige Antwort?

Klicke die richtige Antwort an, dann bekommst du einen Hinweis, wo die nächste Station ist.

Was bewirkt ein Säure-Basen Puffer?

1. Er hält den pH-Wert einer Lösung annähernd konstant.
2. Er verstärkt die saure Wirkung einer Lösung.
3. Er verstärkt die basische Wirkung einer Lösung.

Leider falsch- zurück zur Station

Richtige Antwort

Die Antwort ist leider falsch.



Hier kommst du zurück zur Station

Die nächste Station findest du

In der Nähe des Spielplatzes,
in der Unteren Lindenallee.



**Sammle diesen
Puzzleteil für den
Lösungssatz.**

Merke dir die Wörter oder mache einen
Screenshot von den Puzzleteilen. Wenn
du alle Stationen gemacht hast, kannst du
aus den Teilen, den Lösungssatz bilden.

23.9. Druckversion der Station 1 „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“

Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?

Im Chemieunterricht hast du von Säuren und Basen gehört. Vielleicht hast du auch saure und basische Lösungen kennengelernt. Sicherlich hast du zu Hause schon welche verwendet.

Auch in der Natur kommen saure und basische Lösungen vor. Sie sind vielleicht nicht immer direkt erkennbar.



Bei dem Versuch im Augarten hast du aus Pflanzenteilen und Wasser Lösungen hergestellt und deren pH-Wert gemessen. Bestimmt ist dir aufgefallen, dass die meisten Lösungen sauer waren. Wenn eine Lösung einen pH-Wert unter sieben hat ist die Lösung sauer. Das liegt daran, dass in sauren Lösungen viele wasserumhüllte Protonen (H^+ -Ionen) bzw. Hydroniumionen (H_3O^+ -Ionen) sind.



Der pH-Wert ist ein Maß dafür, wie sauer oder basisch eine wässrige Lösung ist.

Destilliertes Wasser hat einen pH-Wert von 7. Dieser pH-Wert wird als **neutral** definiert.

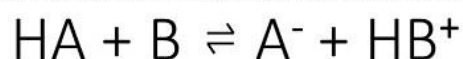
Saure Lösungen haben einen pH-Wert kleiner als 7.

Basische Lösungen haben einen pH-Wert größer als 7.

Erklärung auf der Teilchenebene:

Nach Brønsted reagieren Säuren und Basen so:

Säureteilchen1 + Basenteilchen2 → Basenteilchen1 + Säureteilchen2



Säuren sind jene Teilchen, die ein Proton (H^+ -Ion) an ein anderes Teilchen abgeben.

Basen sind jene Teilchen, die ein Proton (H^+ -Ion) von einem anderen Teilchen aufnehmen.

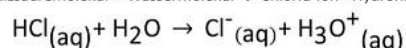
Bei **sauren Lösungen** reagieren Säureteilchen und Wassermoleküle mit einander. Ein Wassermolekül nimmt bei der Reaktion ein Proton (H^+ -Ion) von einem Säureteilchen auf. Dadurch entsteht ein Hydroniumion (H_3O^+ -Ion) und ein Säurerestanon.

(In einer sauren Lösung kommen also Hydroniumion und ein Säurerestanon vor. Bei einer starken Säure reagieren fast alle Säureteilchen mit Wassermolekülen. Bei einer schwachen Säure reagieren weniger Säureteilchen. In der sauren Lösung von schwachen Säuren kommen auch Säureteilchen vor, die nicht mit Wassermolekülen reagiert haben.)

Du kennst wahrscheinlich dieses Beispiel aus der Schule:

Säureteilchen + Wassermolekül → Säurerestanon + Hydroniumion

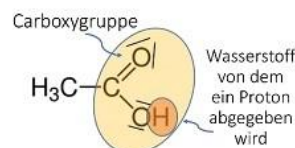
Salzsäuremolekül + Wassermolekül → Chlorid-Ion + Hydroniumion



Auch organische Säuren können saure Lösungen bilden. Diese geben wegen ihrer typischen Struktur ein bestimmtes (Proton H^+ -Ion) ab.

Ein Beispiel für eine einfache organische Säure ist die **Essigsäure** (**Ethansäure**):

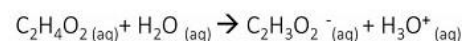
Die **charakteristische Gruppe der organischen**



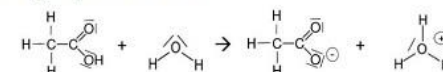
Säuren ist die **Carboxygruppe**. Das Proton (H^+ -Ion) des Wasserstoffatoms der Carboxygruppe wird bevorzugt abgegeben.

Die Reaktion von Essigsäuremolekülen und Wassermolekülen kann man so aufschreiben:

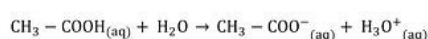
Essigsäuremolekül + Wassermolekül → Säurerestanon der Essigsäure + Hydroniumion



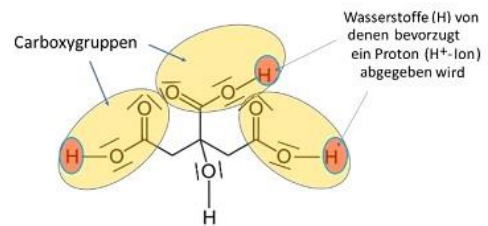
Bei Strukturformeln wird deutlich welches Proton abgespalten wird.



Man kann auch eine Mischung aus Summenformel und Strukturformel verwenden:

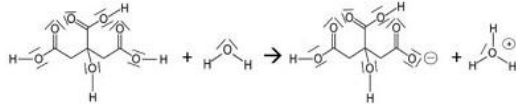
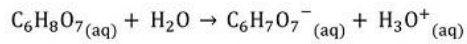


Eine bekannte organische Säure, die in vielen Früchten zu finden ist, ist die **Zitronensäure**. Diese hat 3 Carboxygruppen (gelb markiert):



Ein Zitronensäuremolekül kann somit insgesamt sogar 3 Protonen abgeben.

Zitronensäuremolekül + Wassermolekül → Säurerestanion der Zitronensäure + Hydroniumion



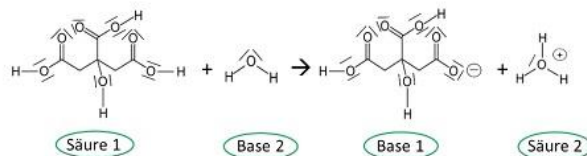
Übungen:

- ✓ Welche Pflanzen und Pflanzenteile hast du gefunden? Welchen pH-Wert hast du in der Lösung gemessen?

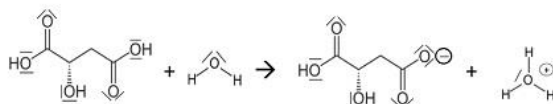
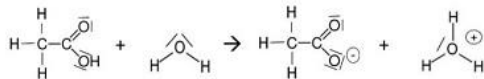
Pflanzenname oder Merkmal	pH-Wert, (sauer oder basisch?)
1	
2	
3	
4	
5	

- ✓ Tausch dich mit deinem Nachbarn über den Versuch im Augarten aus. Wenn du Bilder hast, kannst du sie herzeigen. Erkläre wie du den pH-Wert gemessen hast. Woran hast du erkannt, ob eine Lösung sauer oder basisch ist? Warst du von Ergebnis überrascht?

- ✓ Welches Molekül reagiert in dieser Reaktion nach Brønsted als Säure und welches als Base?



Probiere es selbst!



In den sauren Apfel beißen

„Da musst du in den sauren Apfel beißen!“

Hast du diesen Ausspruch schon einmal gehört? Die Redewendung bedeutet, dass man ein notwendiges Übel in Kauf nimmt, um etwas, das einem wichtig ist, zu erreichen. Es kann sein, dass etwas Unangenehmes aber Notwendiges getan werden muss, auch wenn es Überwindung kostet. So wie wenn man Hunger hat und ein saurer Apfel ist das einzige Essen, das es gibt. Um den Hunger zu stillen, muss man den unangenehmen Geschmack in Kauf nehmen.

Keine Angst, heute ist das nicht der Fall, aber tatsächlich ist etwas Wahres an dem Spruch. Äpfel enthalten Säuren und der Fruchtsaft des Apfels ist eine saure Lösung.



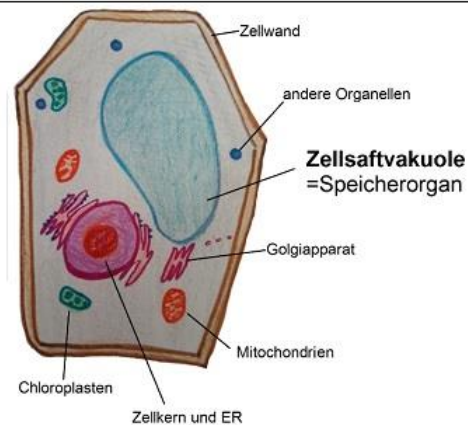
Doch was genau macht den Apfel sauer? Und warum ist der Apfel überhaupt sauer?

Im Augarten hast du den pH-Wert verschiedener Naturmaterialien bestimmt. Dir ist sicher aufgefallen, dass die meisten Pflanzenteile bzw. ihr Saft einen pH-Wert im sauren Bereich zeigen.

Warum sind die Säfte so vieler Pflanzen sauer?

Zum Vorbereiten der Lösungen hast du Pflanzenteile zerrieben oder zerrissen. Dabei sind Zellen und ihre Zellsaftvakuolen zerstört worden. Die pflanzliche Zelle enthält im Unterschied zur tierischen Zelle eine **Zellsaftvakuole**. Sie ist ein Speicherorgan der Zelle. In ihr sind Wasser und darin gelöste Stoffe z.B.: anorganische Ionen, organische Säuren, Enzyme, Zucker, Farbstoffe und vieles mehr gespeichert.

Der pH-Wert der Zellsaftvakuole wird extra auf einem pH-Wert unter 5,5 gehalten. Das geschieht, damit die **Enzyme**, solange sie zwischengelagert sind, **nicht reagieren** können. Damit schützt der saure Zellsaft die Pflanze vor dem Verfall.



Zeichnung einer Pflanzenzelle

Aus dem Alltag weißt du, dass auch der Apfel sauer schmeckt. Dafür sind die organischen Säuren, die Carbonsäuren, verantwortlich.

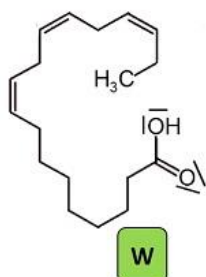
Sie helfen beim Apfel und anderen Früchten zur **Abwehr gegen Fraßfeinde**. Wenn die Frucht noch unreif ist, ist sie besonders sauer. So schmeckt sie dem Fressfeind z.B. Insekten oder auch größeren Tieren nicht so gut. Der Same kann dann ungehindert reifen. Wenn die Samen reif sind, soll die Frucht den Tieren schmecken. Die Tiere wirken dann für die Verbreitung der Samen.

Carbonsäuren wirken auch als **chemische Abwehr** gegenüber Mikroorganismen, (Bakterien, Pilze und andere Krankheitserreger) die in dem sauren Milieu nicht bestehen können. Auch wir Menschen haben aus demselben Grund so einen Schutz auf unserer Haut, den Säureschutzmantel.

Übung: Welche Inhaltsstoffe des Apfels tragen zum sauren Charakter bei?

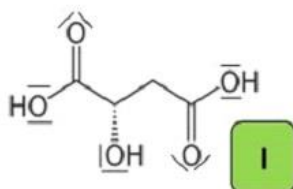
Du hast bei einer anderen Station organische Säuren kennengelernt. Die folgenden Bilder zeigen einige Inhaltsstoffe des Apfels. Welche davon tragen zum sauren Charakter bei? *Beurteile, bei welchem Molekül es sich um eine Säure handelt. Notiere dir die Buchstaben und bilde ein Lösungswort.*

Beispiel 1:



Bei diesem ersten Molekül handelt es sich um Linolensäure. Sie ist im Apfel enthalten.

Beispiel 2:



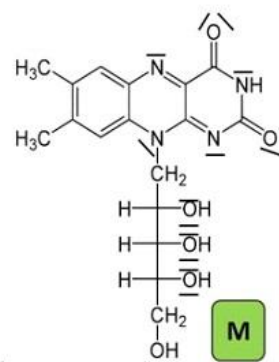
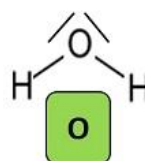
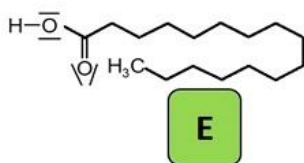
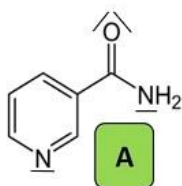
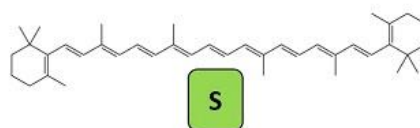
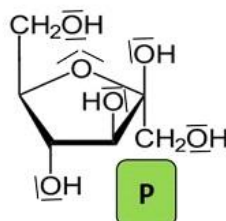
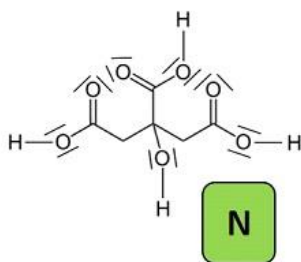
Auch das zweite Molekül ist eine Säure, die Apfelsäure.

Aufgabe:

Finde nun weitere Säuren mit einer Carboxygruppe.

Kreise die Carboxygruppe ein und markiere das Protonen die bevorzugt abgegeben werden.

Wenn du organischen Säuren gefunden hast, kannst du mit den Buchstaben in den grünen Kästen ein Lösungswort bilden.

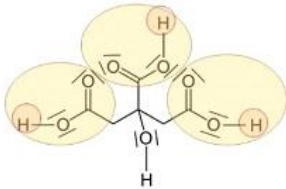


Lösungswort: W I _____

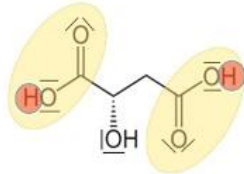
Auflösung der Aufgabe

Wie du richtig erkannt hast, sind organische Säuren für den sauren Geschmack des Apfels verantwortlich. Ein Apfel enthält vor allem die folgenden Säuren:

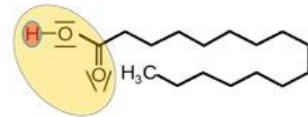
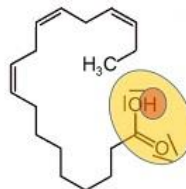
Zitronensäure:



Apfelsäure:



verschiedene Fettsäuren:



Außer den organischen Säuren enthält ein Apfel noch verschiedene Zucker, Kohlenhydrate, Eiweiß, Vitamine und Mineralstoffe.

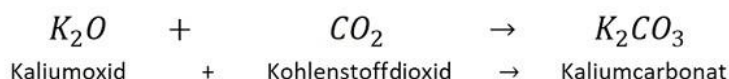


Untersuchung von Pflanzen-/Holzasche

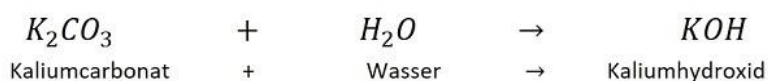
Am Boden des Augartens liegen viele trockene Äste. Wenn man sie verbrennt, entsteht Asche. Du hast bei einem Versuch Holz- oder Pflanzenasche mit zirka der gleichen Menge Wasser verrührt. Einige Minuten später hast du von der entstandenen Lösung den pH-Wert gemessen. Du hast bestimmt festgestellt, dass es eine **basische Lösung** war.

Warum erhält man eine basische Lösung wenn man Wasser zur Asche hinzugibt?

Es scheint zunächst verwunderlich, weil der pH-Wert bei Lösungen von Pflanzen im sauren Bereich liegen. Blickt man jedoch einmal auf die Teilchenebene, findet man sehr schnell eine Erklärung. Pflanzen enthalten verschiedene Metalloxide, wie z.B. Kaliumoxid. Verbrennt man nun die Pflanzen entsteht Kohlenstoffdioxid und dieser reagiert zum Beispiel mit Kaliumoxid zu Kaliumcarbonat.



Bei der Zugabe von Wasser zur Asche wird der Asche das **Kaliumcarbonat** entzogen und **reagiert dann mit Wasser zu Kalilauge**:



Man nennt diesen Prozess auch **auslaugen**. Lauge ist ein anderer Begriff für basische Lösung.

Erklärung auf der Teilchenebene:

Nach Brønsted reagieren Säuren und Basen so:

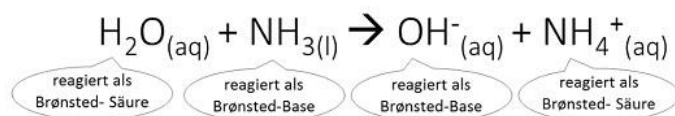


Säuren sind jene Teilchen, **die ein Proton** (H^+ -Ion) an ein anderes Teilchen **abgeben**.

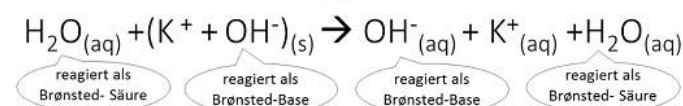
Basen sind jene Teilchen, **die ein Proton** (H^+ -Ion) von einem anderen Teilchen **aufnehmen**.

Bei **basischen Lösungen** reagieren **Baseteilchen und Wassermoleküle mit einander**. Ein Baseteilchen nimmt bei der Reaktion ein Proton (H^+ -Ion) von einem Wassermolekül auf. Dadurch entsteht ein Hydroxidion (OH^- -Ion) und ein Baserestkation.

Du kennst wahrscheinlich dieses Beispiel aus der Schule:



Ein schwierigeres Beispiel ist die Entstehung der Kaliumlauge:



Das Wassermolekül (H_2O) gibt ein Proton (H^+ -Ion) ab und reagiert als Brønsted-säure. Das Hydroxidion (OH^- -Ion) des Kaliumhydroxids (KOH) nimmt ein Proton(H^+ -Ion) auf und reagiert als Brønsted-

In einer basischen Lösung kommen also das Hydroxidion und das Baserestkation vor. Bei einer starken Base reagieren fast alle Baseteilchen mit Wassermolekülen. Bei einer schwachen Base reagieren weniger Baseteilchen. In der basischen Lösung von schwachen Basen kommen auch Baseteilchen vor, die nicht mit Wassermolekülen reagiert haben.

Base. Es entsteht ein anderes Wassermolekül (H_2O) und ein Hydroxidion (OH^- -Ion), das in Wasser gelöst ist. Das Kaliumion (K^+ -Ion) wird ebenfalls von Wassermolekülen (H_2O) umhüllt.

Kann man Asche für etwas Sinnvolles verwenden?

Gibt man zur Pflanzenasche Wasser, entsteht eine basische oder alkalische Lösung. Die Lösung hat einen pH-Wert über 7. Das Wort „alkalisch“, kommt von dem arabischen Wort "al-quali (القليّة)" und bedeutet Pflanzenasche. Früher gewann man aus der Pflanzenasche das darin enthaltene Kaliumcarbonat (=Pottasche). Pottasche ist auch heute noch ein wichtiger Rohstoff. Früher war er so begehrt, dass es den Beruf des Aschesammlers gab. Diese zogen von Haus zu Haus und sammelten die Asche aus den Öfen ein. Durch Zugabe von Wasser wurde Kalilauge gewonnen. Danach wurde das Wasser verdampft und man erhielt Kaliumcarbonat (Pottasche).

Das gewonnene Kaliumcarbonat wurde dann als **günstiges Waschmittel** verwendet. In vielen Outdoor- und Survivalforen findet man auch heute noch Beschreibungen zur Verwendung von Aschelösungen als Seife und Duschgel. Die gewonnene Kalilauge kann durch Zugabe von Fett und durch Erhitzen auch verseift werden. Man erhält so eine richtige Seife.

Pottasche kann auch als **Backtriebmittel** verwendet werden. Gibt man Pottasche mit einer sauren Lösung zusammen, entsteht Kohlenstoffdioxid. Bei deinem zweiten Versuch hast du genau das gemacht. Das Carbonat vom Kaliumcarbonat (K_2CO_3) aus der Asche reagiert mit saurer Lösung zu Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasser (H_2O). In der Station Stephansdom und Schneckenhaus wird diese Reaktion genauer erklärt.

Der Unterschied zwischen Holzkohle und Holzasche

Holzkohle



Holzkohle entsteht, wenn man lufttrockenes Holz **ohne Luftzufuhr** (also auch **ohne Sauerstoffzufuhr**) erhitzt. Bei Temperaturen von zunächst **275°C** und später zwischen **350°C**

und **400°C** findet die sogenannte **Pyrolyse** statt. **Bei der Pyrolyse werden große Moleküle in mehreren kleinen gespalten.** Es entstehen hauptsächlich: Kohlenmonoxid(CO), Methan(CH_4), Formaldehyd(HCOOH), Essigsäure(CH_3COOH), Methanol(CH_3OH) und Wasserstoff(H_2). Alle diese Stoffe sind brennbar und treten in Form von Rauch aus. Der Pyrolyseprozess läuft dabei in mehreren Schritten oder Phasen ab.

Bei 400°C erhält die Holzkohle ihre **typischen Eigenschaften**. Hier **wandelt sich die faserige Struktur** des Holzes **in die kristalline Struktur**, des Graphit um. Die Holzkohle erhält hier ihre charakteristische **Brüchigkeit** und ihr Aussehen.

Je nach Holzart entsteht bei der Holzkohleherstellung 25-30 % Holzkohle.

Holzasche:



Holzasche besteht im Wesentlichen aus dem anorganischen Anteil, der nach der Verbrennung des Holzes übrigbleibt. Es ist ein mineralisches Stoffgemisch

aus **Oxiden von Metallen** z.B. Kaliumoxid (K_2O), Aluminiumoxid (Al_2O_3), Kalziumoxid (CaO), Eisen(II)oxid (Fe_2O_3), Magnesiumoxid (MgO), Phosphorpentoxid (P_2O_5), Siliciumoxid(SiO_2), ... und **Carbonaten von Metallen** z.B. Kaliumcarbonat(K_2CO_3), Natriumcarbonat (Na_2CO_3), Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3).

Holzasche entsteht durch **Verbrennung von Holz unter Luftzufuhr**. Die Verbrennung beginnt mit einer Erhitzung von außen. Bis zu 100°C verdampft das vorhandene Wasser. Ab 150°C beginnt die Verkohlung.

Kohlenwasserstoffe ($\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$) reagieren mit dem Sauerstoff (O_2) der Luft, zu Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasser (H_2O). Dabei wird Wärme frei. Auch Stickoxide (NO_x) und Ruß (unverbrannte Kohlenwasserstoffe) können entstehen. Bei hohen Temperaturen werden große Kohlenwasserstoffe durch Pyrolyse in kleinere Kohlenwasserstoffe gespalten. Diese reagieren, wie vorher beschrieben mit Sauerstoff weiter. Die Asche bleibt zurück. Zum Teil bleibt auch Kohle zurück.

Farbenspiel mit Bedeutung

Insekten fliegen nur die Blüten an, die noch nicht bestäubt sind. Die meisten Pflanzen werfen ihre Blütenblätter ab, wenn die Blüten bestäubt sind. Doch bei der Kastanie bleiben zunächst alle Blütenblätter an der Blüte. Dies hat den Vorteil der „Fernwirkung“. Insekten nehmen die Blüten so schon von weitem wahr. Wenn du die Blüten genauer ansiehst, erkennst du, dass nicht alle Blüten gleich sind. Manche tragen einen gelben und andere einen rosafarbenen Fleck. Dieser Fleck wird „Saftmal“ genannt. Bei schon bestäubten Blüten ist das Saftmal rosa. Blüten, die noch nicht bestäubt wurden, haben ein gelbes Saftmal. Bienen fliegen speziell zu den Blüten mit gelben Saftmal, weil sie rote Farbe nicht sehen. Spannend ist, dass hier eine Farbänderung stattfindet.



Saftmal der Roskastanienblüte

Du hast im Augarten Farbveränderungen an farbigen Blüten untersucht! *Erzähle der Person neben dir von dem Versuch. Hast du Farbstoffe gefunden, die als Indikator wirken können? Woran hast du es erkannt?*

Warum verändert sich die Farbe der Farbstoffe?

Ein Indikator ist ein Farbstoff, der je nach pH-Wert, eine andere Farbe aufweist. In dem du saure oder basische Lösung zu einem Indikator gibst, verändert sich der pH-Wert der Lösung. Wenn dabei ein gewisser pH-Wert Bereich (Umschlagsbereich) über- oder unterschritten wird, siehst du eine andere Farbe. Die Blüte der Roskastanie hat denselben Farbstoff wie Rotkraut - Cyanidin.

Exkurs: pH-Wert

Was ist ein Säure-Basen-Indikator?

Bei deinem Experiment hast du beobachten können, was ein Säure-Basen-Indikator ist. Säure-Basen-Indikatoren beinhalten Farbstoffe, die je nach pH-Wert eine andere Farbe zeigen. Du erkennst einen Säure-Basen-Indikator also, wenn sich beim Dazugeben von saurer oder basischer Lösung die Farbe der Lösung ändert und du die Reaktion rückgängig machen kannst. Also wenn z.B. du nach der sauren Lösung eine basische Lösung dazugibst und sich die Farbe dabei zurück verändert oder in umgekehrter Reihenfolge.

Du kennst vielleicht Säure-Basen-Indikatoren, die abhängig vom pH-Wert zwei verschiedene Farben zeigen können.

	pH=1	pH=2	pH=3	pH=4	pH=5	pH=6	pH=7	pH=8	pH=9	pH=10
Bromthymolblau	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Methylrot	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red

Rotkraut ist ein Universalindikator mit dem Farbstoff Cyanidin. Er kann je nach pH-Wert verschiedene Farben haben.

	pH=1	pH=2	pH=3	pH=4	pH=5	pH=6	pH=7	pH=8	pH=9	pH=10
Rotkrautsaft	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Cyanidin	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red

Pflanzen können einen Farbstoff haben, der als Indikator wirkt. Es gibt in der Natur noch viel mehr Pflanzen, die solche Farbstoffe besitzen .z.B. Malvenblüten (Hibiskus, Teestrauchgewächse) oder das gefleckte Lungenkraut. Mohnblumen und Kornblumen, ...

BEISPIELE:

Rotkraut/Blaukraut: Die beiden Namen verraten schon die Möglichkeit, die Farbe zu ändern. Wird Rotkraut mit Essig gekocht, erhält es die charakteristische rote Farbe. Im Basischen ist die Farbe eher blau.

Teepflanze: Wenn du in Schwarztee Zitrone gibst, dann ändert sich die Farbe von dunkelbraun auf hellbraun/gelblich.





Geflecktes Lungenkraut: Die Blüten sind zu Beginn rosa und werden mit der Zeit violett/bläulich. Oft sind an einer Pflanze rosa und bläuliche Blüten zu sehen. Daher hat die

Pflanze vermutlich ihren Spitznamen „Brüderchen und Schwesterchen“.

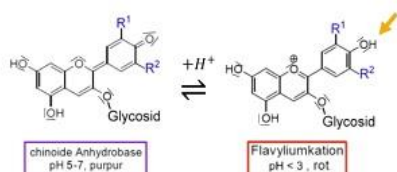
Hibiskus: Hibiskus kann viele verschiedene Grundfarben haben. Auf diesem Bild sind frische Blüten lila und verblühte Blüten sind bläulich



Erklärung auf der Teilchenebene

Die Moleküle solcher Farbstoffe können an geeigneten Stellen, **Protonen (H^+ -Ionen) aufnehmen oder abgeben**. Umso saurer eine Lösung ist umso eher nimmt der Farbstoff ein Proton (H^+ -Ion) oder mehrere auf. Umso basischer eine Lösung ist, desto eher spaltet der Farbstoff ein Proton (H^+ -Ion) oder mehrere ab.

Durch das Aufnehmen oder Abgeben (gelber Pfeil) der Protonen **ändert sich die Struktur** des Farbstoffmoleküls:



Ein wichtiger Effekt ist, dass sich die **Länge des Doppelbindungssystems verändert**, weil mehr bzw. weniger Elektronenpaare beteiligt sind.

(Doppelbindungen und Einfachbindungen sind dabei immer abwechselnd)

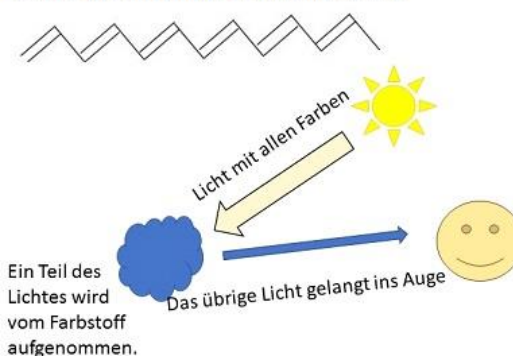


Wenn das Doppelbindungssystem größer wird, verschiebt sich die Farbe, die du siehst, auf der Farbskala von rot nach blau. Es wird nämlich ein anderer Teil des Lichtes von dem System aufgenommen und das restliche Licht reflektiert.

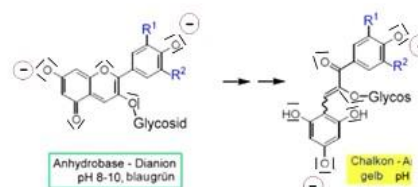
z.B: **bei kürzerem Doppelbindungssystem:**



bei längerem Doppelbindungssystem:



Die Veränderung zur **gelben Farbe** hat eine zusätzliche Ursache. Durch die Aufnahme von Protonen (H^+ -Ionen) wird in mehreren Reaktionsschritten einer der **Ringe geöffnet**:





Schneckenhaus und Stephansdom

Der Stephansdom ist das Wahrzeichen Wiens. **Hast du ihn schon einmal ganz ohne Baugerüst gesehen?** Vermutlich nicht!

Er ist fast immer an irgendeiner Stelle durch ein Baugerüst verdeckt. Das hat einen Grund! Der Stephansdom muss immer wieder neu renoviert werden, weil er aus Kalkstein gebaut ist.

Kalkhaltige Gesteine reagieren ganz typisch mit sauren Lösungen. Das tut auch der Stephansdom. Du hast beim Besuch im Augarten diese Reaktion an einem Schneckenhaus durchgeführt.

Tausche deine Erinnerungen an den Versuch mit deinen Klassenkameraden aus. Was hast du bei dem Versuch gesehen und gehört? Hat dein Stein Kalk enthalten oder nicht? Woran hast du es erkannt? (Du kannst dazu deine Fotos und Notizen verwenden.)

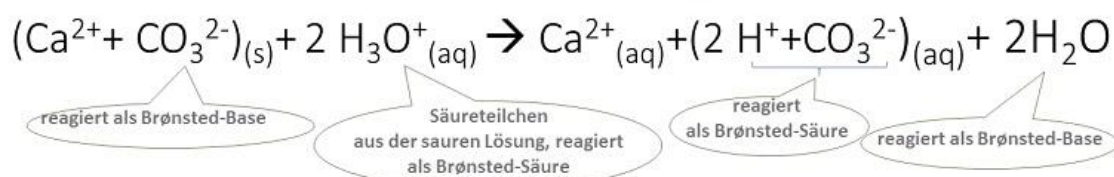
Hast du gesehen, dass sich Bläschen gebildet haben und hast du das Prickeln gehört? Das Schneckenhaus besteht aus Kalk. Wenn eine saure Lösung auf Kalk gegossen wird, dann reagieren die Kalk-Moleküle mit den Säureteilchen. Dabei entstehen Kohlenstoffdioxid und Wasser. Das Kohlenstoffdioxid ist gasförmig. Es entweicht aus der Flüssigkeit in Form von Bläschen. Genau genommen läuft die Reaktion in zwei Schritten.



Erklärung auf der Teilchenebene:

Chemisch gesehen ist Kalk eine Kalziumcarbonat-Verbindung (CaCO_3).

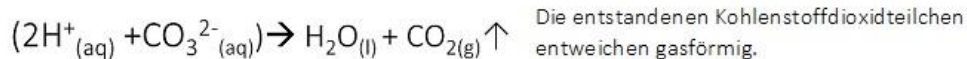
1. Zuerst reagiert ein Kalziumcarbonatteilchen (CaCO_3) mit einem Säureteilchen zu einem Kalzium-Ion und einem Kohlensäuremolekül (H_2CO_3).



Kalziumcarbonatteilchen + Säureteilchen $\rightarrow$ Kalziumion + Kohlensäureteilchen

2. Danach zersetzt sich das Kohlensäuremolekül zu einem Wassermolekül und einem Kohlenstoffdioxidmolekül

Kohlensäureteilchen $\rightarrow$ Wassermolekül + Kohlenstoffdioxidmolekül

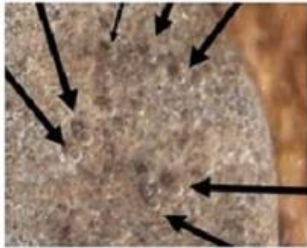


Der Effekt, dass sich Kalk durch saure Lösungen „löst“, wird z.B. zum Entkalken von Wasserkochern oder Sanitäranlagen genutzt.

An den Reaktionen kannst du erkennen, dass eine Umwandlung stattfindet. Alle Atomsorten bleiben vorhanden. Du kannst es an den Reaktionsgleichungen abzählen. Von jeder Atomsorte sind links vom Reaktionspfeil gleichviele wie rechts davon.

Diese Reaktion dient auch als Nachweis für Kalk:

Es gibt zwei große Gruppen an Gesteinen. Die einen sind kalkhaltig, die anderen silikatisch. **Das Schäumen**, wie du es beim Schneckenhaus gesehen hast, ist ein **sicheres Zeichen** dafür, dass Kalk vorhanden ist. Deshalb kann man mit saurer Lösung prüfen, ob ein Stein **Kalk enthält**. Die Reaktion dient somit als Nachweis für Kalk.



Der Kalknachweis ist dann „positiv“.

Wenn ein Stein mit der sauren Lösung **Bläschen** bildet, dann ist das ein Beweis, dass er Kalk enthält.



Der Kalknachweis ist dann „negativ“.

Wenn er keine **Bläschen** bildet ist es ein Beweis, dass er keinen Kalk enthält.

Was bedeutet die Reaktion für den Stephansdom?

Da der Wiener Stephansdom aus kalkhaltigem Gestein besteht, reagiert er mit sauren Lösungen genauso. Konkret passiert es **durch sauren Regen**.

Saurer Regen entsteht z.B., wenn Schwefeldioxid (SO_2) in die Luft gelangt. Es kann z.B. bei der Verbrennung von Kohle bis zu 5% entstehen. Wenn sich Schwefeldioxid (SO_2) in Wasser (H_2O) löst entsteht Schwefelsäure (H_2SO_4). Die Säureteilchen der schwefelsauren Lösung reagieren, wie die Säureteilchen in deinem Versuch, mit den Carbonatteilchen (CO_3^{2-}) zu Wassermolekülen (H_2O) und Kohlenstoffdioxidmolekülen (CO_2).



Dort, wo der saure Regen mit dem kalkhaltigen Gestein in Berührung kommt, wird also Kalk "gelöst". Die **filigranen Verzierungen** des Stephansdomes werden dabei **abgetragen**. Deshalb wird der Stephansdom laufend renoviert. Nur so bleibt Wiens Wahrzeichen schön erhalten.

23.14. Druckversion der Station 6 „Kann auch der Boden sauer oder basisch sein?“

Kann auch der Boden sauer oder basisch sein?

Nicht alle Böden sind gleich. Es gibt verschiedene Bodentypen (zB.: Auboden, Braunerde, Tschernosemboden, Podsol, Gley...) Alle diese Böden entstehen auf typische Art und Weise. Je nachdem, auf welchem und aus **welchem Gestein** der Boden entsteht sind **andere Ionen mehr vorhanden**. Das beeinflusst auch den pH-Wert, der für einen Boden typisch ist. Mitteleuropäische Böden haben einen pH-Wert, der zwischen 3-8 liegt. Die meisten haben einen pH-Wert zwischen 5,0 und 6,5.



Die Salze des Bodens reagieren mit dem Wasser.

Zu welchem der Böden gehört der Boden des Augartens?

Der pH-Wert der wässrigen Bodenprobe vom Boden des Augartens liegt zwischen 6,5 und 8. Somit kann er bei den **„Ca-Böden“** einordnet werden. Der Boden des Augartens ist kein typischer Auboden mehr. Wenn ein Auboden nicht mehr in der Überschwemmungszone ist, verändert er sich und wird zu einem terrestrischen (=Land-) Boden. Der Kalziumehalt kann variieren.

„Na -Boden“ +Wasser: pH 11

„Ca-Boden“ + Wasser: pH 8

„Al -Boden“ +Wasser: pH 4

„H-Boden“ + Wasser: pH 3

Die Aufgaben eines Bodens:



Der Boden bietet zum Beispiel den Pflanzen einen Ort zur Verankerung und trägt zu ihrer Nährstoffversorgung bei. Außerdem speichert und filtert er auch Wasser. Ein Aufgabenbereich des Bodens (von vielen) ist es zu filtern, zu puffern und umzuwandeln. Die sogenannte **Puffer-Funktion des Bodens** hast du in einem Versuch getestet.

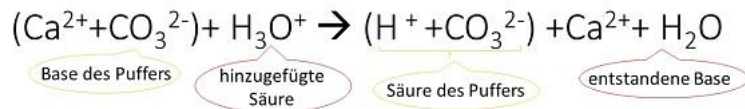
Du kennst das Wort „Puffer“ vielleicht aus einem anderen Zusammenhang: als Zeitpuffer. Wenn du für den Schulweg einen **Zeitpuffer** einrechnest, kommst du auch dann noch zurecht, wenn du die Straßenbahn verpasst. Beim Puffer in der Chemie ist es ähnlich: Wenn eine kleine Menge saurer Lösung zur Bodenlösung dazu kommt, verändert sich der pH-Wert nicht so stark, wie man annehmen würde. Der Boden ist ein „Ca-Boden“. Er hat einen **Carbonat-Puffer**. Der Carbonat-Puffer hält den pH-Wert im Bereich zwischen 8 und 6,5 relativ konstant, während bei Wasser ein Tropfen saurer Lösung eine größere Veränderung des pH-Werts bewirkt.

Erklärung auf der Teilchenebene:

Ein Puffer besteht immer aus einer **schwachen Säure oder Base und ihrem Salz**. (Die beiden unterscheiden sich nur um ein Proton). In diesem Fall sind es das **Carbonation** und das **Hydrogencarbonation** ($\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$).

Wenn wenige Tropfen Säure oder Base zur Lösung dazu kommen, dann verändert sich nur das Verhältnis der Säure und der Base des Puffers zueinander.

Kalziumcarbonat-Verbindung + Säure-Teilchen
 → Hydrogencarbonat-Ion + Kalzium-Ion + Wasser-Molekül



Kalziumcarbonat-Moleküle aus dem Boden reagieren mit Säureteilchen. Es entstehen Hydrogencarbonat-Ionen (HCO_3^- -Ion) und Kalzium-Ionen (Ca^{2+} -Ionen) werden frei.

Da auch schon vorher Hydrogencarbonationen (HCO_3^- -Ion) im Boden waren, wird die Konzentration von diesen nur minimal höher. Der pH-Wert von der Bodenlösung verändert sich deshalb nicht so stark, wie der pH-Wert bei dem Versuch mit Wasser.

Warum ist es wichtig, dass ein Boden puffern kann?



Pflanzen brauchen, damit sie wachsen können, eine gewisse Temperatur, die richtige Menge Wasser, Licht, Nährstoffe, und Spurenelemente. Sie brauchen aber auch den richtigen pH-Wert. Das sind die sogenannten Standortbedingungen. Nicht alle Pflanzen brauchen dieselben Standortbedingungen, sondern sie sind für einen gewissen Lebensraum gut angepasst. Der Bodenpuffer sorgt dafür, dass der pH-Wert zirka gleichbleibt. Dadurch können Pflanzen wachsen, ohne dass plötzlich der pH-Wert des Bodens ganz anders ist.

Warum sollte sich der pH-Wert des Bodens ändern?

Der Boden ist in Verbindung mit Atmosphäre (Luft), Biosphäre (Tiere und Pflanzen) und dem Grundwasser. Sie beeinflussen sich gegenseitig. Diese können dazu führen, dass der Boden saurer wird.

Hier einige Beispiele:

- Bei der **Wurzelatmung** wird Kohlenstoffdioxid (CO_2) in den Boden abgegeben.
- Mit Wasser (H_2O) reagiert Kohlenstoffdioxid (CO_2) zu Kohlensäure (H_2CO_3).
- Pflanzenwurzeln nehmen kationische Nährstoffe auf und geben Protonen (H^+ -Ionen) ab.
- Bei der **Humusbildung** werden organische Bestandteile zu Huminstoffen und Huminsäuren zersetzt.
- Es entstehen auch Säuren bei der **Oxidation von Fe^{2+} und Mn^{2+}**
- Auch **saurer Regen** führt mit (Schwefeldioxid) SO_2 , (Stickstoffoxiden) NO_x zu einem saurerem pH-Wert.
- Auch **Düngen** mit sauer wirkenden Düngemitteln verändert den pH-Wert.

Wenn zu viel Säure in den Boden dringt, kann auch der Puffer nicht verhindern, dass der Boden versauert, aber bei kleinen Mengen hält er den pH-Wert konstant.

23.15. Feedbackbogen zur Station 1 „Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?“

Feedback zur Station: Gibt es saure und basische Lösungen in der Natur?

Würden Sie mit Ihren Klassen diesen Chemie-Lehrpfad besuchen?

Weshalb? Weshalb nicht?

Was würden Sie sich bei dieser Station noch erwarten? Was fehlt?

Bitte kreuzen Sie zur Einstufung der Statements je eines der Felder an.	Ja	eher Ja	eher nicht	Nein
Durch den Lehrpfad werden chemische Aspekte aus der Natur aufgezeigt. Durch die Station kann ein Aspekt aus der Thematik der Säuren und Basen in Verbindung mit der Natur erlebt werden.				
Anmerkungen:				
Ein roter Faden durch die Station ist erkennbar.				
Anmerkungen:				
Die Versuchserklärung ist klar. Sie erleichtert das Experimentieren.				
Anmerkungen:				
Das Ziel der Station ist erkennbar.				
➤ <i>Schülerinnen und Schüler erleben bei pflanzlichen Naturmaterialien überwiegend saure Lösungen.</i>				
Anmerkungen:				
Die Tipps zur pH- Wert Bestimmung sind hilfreich.				
Anmerkungen:				
Die Einführung der organischen Säuren ist einfach und nachvollziehbar gestaltet.				
Anmerkungen:				
Die Erklärung der Formelschreibweisen, am Beispiel der Zitronensäure, helfen die Strukturformeln und Skelletschreibweise lesen zu können.				
Anmerkungen:				
Die Station ist altersadäquat.				
Anmerkungen:				
Die Formulierungen der Texte sind altersangemessen.				
Anmerkungen:				
Die Erklärungen sind altersangemessen.				
Anmerkungen:				
Die Beispiele erleichtern das Verständnis.				
Anmerkungen:				
Die Abbildungen erleichtern das Verständnis.				
Anmerkungen:				

23.16. Feedbackbogen zur Station 2 „In den sauren Apfel beißen“

Feedback zur Station: Apfel

Würden Sie mit Ihren Klassen diesen Chemie-Lehrpfad besuchen?

Weshalb? / Weshalb nicht?

Was würden Sie sich bei dieser Station noch erwarten? Was fehlt?

Bitte kreuzen Sie zur Einstufung der Statements je eines der Felder an.	Ja	eher Ja	eher nicht	Nein
Durch den Lehrpfad werden chemische Aspekte aus der Natur aufgezeigt.				
Durch die Station kann ein Aspekt aus der Thematik der Säuren und Basen in Verbindung mit der Natur erlebt werden.				
Anmerkungen:				
Die Webseite ist übersichtlich.				
Die Webseite ist leicht zu bedienen.				
Die Webseite gibt einen guten Rahmen zur Durchführung der Station.				
Anmerkungen:				
Ein roter Faden durch die Station ist erkennbar.				
Anmerkungen:				
Das Ziel der Station ist erkennbar.				
➤ Schülerinnen und Schüler erkennen die Struktur organischer Säuren				
Anmerkungen:				
➤ Schülerinnen und Schüler erfahren die Bedeutung von Säuren in Früchten				
Anmerkungen:				
Die Aufgabe die sauren Inhaltsstoffe zu erkennen ist nach der Einführung in der Station saure Lösungen und mit der gegebenen Hilfestellung (auf der Seite verlinkt) gut lösbar.				
Anmerkungen:				
Der biologische Hintergrund ermöglicht es Querverbindungen zwischen Chemie und Biologie herzustellen.				
Anmerkungen:				
Die Station ist altersadäquat.				
Die Formulierungen der Texte sind altersangemessen.				
Anmerkungen:				
Die Erklärungen sind altersangemessen.				
Anmerkungen:				
Die Beispiele erleichtern das Verständnis.				
Anmerkungen:				
Die Abbildungen erleichtern das Verständnis.				
Anmerkungen:				

23.17. Feedbackbogen zur Station 4 „Farbenspiel mit Bedeutung“

Feedback zur Station: Farbenspiel mit Bedeutung

Würden Sie mit Ihren Klassen diesen Chemie-Lehrpfad besuchen?

Weshalb? Weshalb nicht?

Was würden Sie sich bei dieser Station noch erwarten? Was fehlt?

Bitte kreuzen Sie zur Einstufung der Statements je eines der Felder an.	Ja	eher Ja	eher nicht	Nein
Durch den Lehrpfad werden chemische Aspekte aus der Natur aufgezeigt.				
Durch die Station kann ein Aspekt aus der Thematik der Säuren und Basen in Verbindung mit der Natur erlebt werden.				
Anmerkungen:				
Die Webseite ist übersichtlich.				
Die Webseite ist leicht zu bedienen.				
Die Webseite gibt einen guten Rahmen zur Durchführung der Station.				
Anmerkungen:				
Ein roter Faden durch die Station ist erkennbar.				
Anmerkungen:				
Die Versuchserklärung ist klar. Sie erleichtert das Experimentieren.				
Anmerkungen:				
Das Ziel der Station ist erkennbar.				
➤ Schülerinnen und Schüler erfahren und begreifen: es gibt Farbstoffe, die auf saure und basische Lösungen mit Farbumschlag reagieren.				
Anmerkungen:				
➤ Schülerinnen und Schüler erfahren: der Farbumschlag ist auf das konjugierte Doppelbindungssystem zurück zu führen.				
Anmerkungen:				
Das konjugierte Doppelbindungssystem ist für die Erklärung der Farben bedeutsam.				
Anmerkungen:				
Die Station ist altersadäquat.				
Anmerkungen:				
Die Formulierungen der Texte sind altersangemessen.				
Anmerkungen:				
Die Erklärungen sind altersangemessen.				
Anmerkungen:				
Die Beispiele erleichtern das Verständnis.				
Anmerkungen:				
Die Abbildungen erleichtern das Verständnis.				
Anmerkungen:				