Universität Rostock

Traditio et Innovatio

Chemie im naturwissenschaftlichen Unterricht

– Chemie im Schulgarten –

– Eine neue experimentelle Unterrichtskonzeption für die Orientierungsstufe –

Dissertation zur Erlangung des akademischen Doktorgrades

doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)

am Institut für Chemie

der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Universität Rostock

vorgelegt von:

Juliane Wagner, geb. Hevernick am 21.09.1988 in Stralsund

GutachterInnen
Prof. Dr. Alfred Flint, Universität Rostock
Prof. Dr. Maike Busker, Europa-Universität Flensburg

Jahr der Einreichung
2020

Jahr der Verteidigung
2020

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00003031

Dissertation
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät

Für meine Kämpferherzen,
Paul und Emma.
Ihr habt mich gelehrt nie aufzugeben.

Danksagung

Zuallererst danke ich Prof. Dr. Alfred Flint für die Möglichkeit zur Bearbeitung dieses sehr interessanten und vielfältigen Themas und die außerordentlich gewissenhafte Betreuung. Hervorheben möchte ich hierbei die produktiven, fachlichen, schulbezogenen Diskussionen sowie den konstruktiven, kontinuierlichen Informationsaustausch.

In diesem Sinne möchte ich mich auch bei dem gesamten Arbeitskreis der Didaktik bedanken. Ich danke euch für diese ganz besondere Zeit: Babette Freiheit, Lydia Gohr-Zell, Steffi Molkentin, Anne-Katrin Hallmann,Tom Kempke, und André Reinke.

Besonderer Dank gilt auch meinem Doktoranden-Kollegen Thomas Hoyer. Deine aufmunternden Worte, deine Unterstützung im Labor und dein Schokoladenfach haben mir die Zeit in der Didaktik versüßt. Danke dafür!

Mein Dank gilt außerdem Prof. Dr. Retzlaff-Fürst und ihrem Arbeitskreis, die mir bei fachlichen Fragen zum Schulgarten zur Seite standen.

Meiner Familie, im besonderen meinen Eltern, Brita und Steffen Hevernick sowie meiner Schwester Katrin, gilt mein ganz großer Dank. Ihr habt mir beigestanden und den Rücken gestärkt. Ihr habt an mich und diese Arbeit geglaubt und mir damit die Kraft gegeben, die ich manchmal so nötig hatte.

Mein wohl größter Dank gilt meinem Mann, Tom Wagner. Ohne dich würde es die Arbeit nicht geben. Dein Optimismus und dein unwiderbringlicher Glaube an mich und meinen Erfolg haben mir das Vertrauen gegeben, alles zu schaffen. Du warst immer da. Du hast mir gezeigt, dass alles möglich ist, wenn man es nur stark genug will. Danke, dass du diesen Weg mit mir gegangen bist.

Mein Herzensdank gilt meinen Kindern, Paul und Emma Wagner. Eure kindlichen Augen, eure Willenskraft haben mir gezeigt: Aufgeben ist keine Option. Wer laufen will, muss fallen lernen. Ohne euch wäre all dies nicht möglich geworden. Danke!

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis **IX**

Motivation und Zielstellung **1**

1 Hintergrund und Rahmen des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts **3**
1.1 Systematisierung . . . 3
1.1.1 Systematisierung des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts . . . 3
1.1.2 Zusammenfassung . . . 6
1.2 Historische Entwicklung des integrativen naturwissenschaftlichen Unterrichts 7
1.2.1 Entwicklung in den 1960er Jahren . . . 10
1.2.2 Entwicklung in den 1970er Jahren . . . 12
1.2.3 Entwicklung in den 1980er Jahren . . . 13
1.2.4 Entwicklung in den 1990er Jahren . . . 14
1.2.5 Entwicklung nach dem Jahr 2000 . . . 17
1.2.6 Zusammenfassung . . . 18
1.3 Bedeutung des integrativen naturwissenschaftlichen Unterrichts . . . 19
1.3.1 Ängste und Grenzen des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht . . . 21
1.3.2 Möglichkeiten und Gründe des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht . . . 23
1.3.3 Zusammenfassung . . . 27
1.4 Status Quo des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts . 28
1.4.1 Inhaltliche Kontexte im Sachkunde Unterricht . . . 28
1.4.2 Inhaltliche Kontexte im Fachunterricht . . . 34
1.4.3 Inhaltliche Kontexte im integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht . . . 36
1.4.4 Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht international 41
1.4.5 Zusammenfassung . . . 43
1.5 Forschungsgedanke . . . 45

2 Der Schulgarten **51**
2.1 Historische Entwicklung des Schulgartens . . . 52
2.2 Bedeutung des Schulgartens . . . 56
2.3 Status Quo des Schulgartens . . . 60
2.4 Zusammenfassung . . . 70

2.5 Schulgarten als Grundlage für integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht 71

3 Das Konzept 'Schulgarten als übergreifendes Leitthema' 73
3.1 Gartenutensilien 78
3.2 Erste Bodenuntersuchungen 99
3.3 Aussaatbedingungen 125
3.4 Bodenklima 146
3.5 Lagerfeuer 164

4 Zusammenfassung und Ausblick 187

Literaturverzeichnis 199

Abkürzungsverzeichnis

Abb. Abbildung

ACM II All-Chem-Misst II

Tab. Tabelle

KMK Kultusministerkonferenz

Gl. Gleichung

IPN Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften

PING Praxis integrierter naturwissenschaftlicher Grundbildung

FUN fächerübergreifender Unterricht Naturwissenschaft

BLK Bund-Länder-Kommission

MNU Verein zur Förderung des mathematisch und naturwissenschaftlichen Unterrichts e.V.

TIMSS Trends in International Mathematics and Science Study

PISA Programme for International Student Assessment

GDNÄ Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte e.V.

GDCh Gesellschaft Deutscher Chemiker.

GPG Deutsche Physikalische Gesellschaft

vbbm Verbund biowissenschaftlicher und biomedizinischer Gesellschaften

IGLU Internationale Grundschul-Lese-Untersuchung

MNU Mathematisch-Naturwissenschaftlicher Unterricht

MINT Mathematik-Informatik-Naturwissenschaften-Technik

WPF Wahlpflichtfaches

USA United Staates of America

BNE Bildung für nachhaltige Entwicklung

UNESCO Organisation der Vereinten Nationen für Bildung, Wissenschaft und Kultur

HeLP Hessisches Landesinstitut für Pädagogik

BW Baden-Württemberg

BA Bayern

B Berlin

BB Brandenburg

HB Bremen

HH Hamburg

HE Hessen

MV Mecklenburg-Vorpommern

NS Niedersachsen

NRW Nordrhein-Westfalen

RP Rheinland-Pfalz

SR Saarland

S Sachsen

SA Sachsen-Anhalt

SH Schleswig-Holstein

TH Thüringen

Motivation und Zielstellung

Die Natur folgt keinen Fachdisziplinen. Dennoch wird an deutschen allgemeinbildenden Schulen in Form von Fachunterricht separiert und die natürlichen Phänomene von den Fachwissenschaften Biologie, Chemie und Physik einzeln betrachtet und erklärt. Ist das richtig? Oder sollten die Naturwissenschaften Hand in Hand arbeiten und gemeinsam die Welt erklären? Vor einigen Jahren, 1964, kamen in der Forschung und in den Ministerien der Gedanke auf, die Naturwissenschaften ganzheitlich zu betrachten. Ganzheitlich meint in diesem Fall eine Problemfrage unter Berücksichtigung der drei Naturwissenschaften zu untersuchen und einen Lösungsweg zu erarbeiten. Ist diese Herangehensweise möglich und sinnvoll? Ist eine Trennung der Naturwissenschaften in höheren Klassenstufen wieder federführend? Diese Diskussion war der Auslöser dieser Dissertation. Es gab ein neues Fach: integrierte Naturwissenschaften. Keine Lehrer wurden dafür ausgebildet, alle drei Naturwissenschaften zu vermitteln. Es gab zunächst kein Lehrbuch, keine Rahmenpläne, keine Konzepte, nur eine Idee, die zunächst an den Gesamtschulen umgesetzt wurde. Aber *Christian Friedrich Hebbel*, ein deutscher Dramatiker und Lyriker, sagte einst:

> *„Die Naturwissenschaft gibt den besten Maßstab für die Fortschritte der Menschheit ab: nur soweit sie die Natur kennt, kennt sie sich selbst.“*

Um die Natur zu verstehen, aus und mit ihr zu lernen, bietet es sich an, diese aus den Blickwinkeln aller drei Naturwissenschaften zu beleuchten. Die Chemie, die Physik und die Biologie sollen dabei vereint betrachtet werden. Anhand von übergreifenden Themen werden die Aspekte der Naturwissenschaften zu Rate gezogen. Das Ziel dabei ist, den Schülern verständlich zu machen, dass es die Naturwissenschaften sind, die unsere Welt erklären. Nahezu alle Phänomene oder Alltagsvorstellungen können anhand dieser bewiesen oder widerlegt werden.

Die Einführung erfolgte sehr schnell und kurzfristig - zunächst nur für die Orientierungsstufe; zuerst zur Probe an wenigen Gesamtschulen. Die Ergebnisse sprachen jedoch für das fächerübergreifende Fach, sodass die Anzahl der Schulen ausgeweitet wurde. Nach und nach kamen nun auch Schulbücher und Rahmenpläne in den Bundesländern auf den Markt. Trotz der Etablierung des neu eingeführten Fachs fehlt es noch immer an Konzepten, wie genau die drei Naturwissenschaften innerhalb eines Kontextes integriert werden können. Eine Umfrage der Tutzinger Initiative im Jahr 2016 belegt, dass die Chemie und Physik nach wie vor ein Schattendasein in dem integrativen Fach führen.

Daraus entwickelte sich der Fokus dieser Arbeit. Die Stärkung der Chemie in dem fächerübergreifenden Fach Naturwissenschaften in der Orientierungsstufe zu schaffen. Das

zentrale Ziel dieser Arbeit ist die Erarbeitung eines chemischen Konzepts, in dem auch biologische und physikalische Aspekte anknüpfen und integriert werden können. Grundlegende, allgemeinbildende Inhalte sollen für die Orientierungsstufe aufbereitet werden, sodass den Schülern der Übergang in die Sekundarstufe I erleichtert werden kann. Um dies zu gewährleisten, werden einfache Definitionen für die wichtigsten Begriffe formuliert. Experimente sollen dabei die Priorität dieser Arbeit darstellen. Diese sollen das Konzept unterstützen und die Verständlichkeit erleichtern. Die Zusammenstellung und Optimierung vorhandener Experimente sowie Entwicklung eigenständiger Experimente werden innerhalb eines Kontextes gesammelt und sinnvoll eingearbeitet.

Um in diese komplexe Thematik einzusteigen, wird zunächst einmal analysiert, was „*fächerübergreifend*"überhaupt bedeutet und was bei der Entwicklung eines Konzeptes berücksichtigt werden muss. Anschließend wird ein kurzer Abriss über die Entstehung von dem Verbundfach sowie eine kleine Zukunftsprognose illustriert. Durch die kurze Zeitspanne, die dieses Fach erst in unseren Schulformen erlebt, soll anschließend über die Möglichkeiten, aber auch die Bedenken aufgeklärt werden. Zur Entwicklung eines Unterrichtskonzeptes werden zudem alle Rahmenpläne, viele Schulbücher und Konzepte analysiert, verglichen und gegenüber gestellt. Ebenso wird der Horizont erweitert und das neu eingeführte Fach in deutschen Schulen auch einmal international betrachtet. Dies alles wird bereits im ersten Kapitel ausgewertet und der daraus entstehende Forschungsgedanke begründet. Durch die vielfältigen Möglichkeiten und Aufgaben, die der fächerübergreifende Unterricht erfüllen kann, wird ein Kontext gesucht, in dem möglichst alle Naturwissenschaften integriert und der Fokus auf die Chemie gestärkt werden kann. Als ein solcher Kontext wird der Schulgarten ausgewählt. Diese Wahl wird im zweiten Kapitel unter der Betrachtung der Bedeutung und der aktuellen Situation erläutert. Aus dieser Auseinandersetzung wird ein Unterrichtskonzept für die Orientierungsstufe entwickelt, welches sich an den Prinzipien des Konzepts '*Chemie fürs Leben*' orientiert und in Kapitel 3 erläutert wird. Das Konzept gliedert sich in fünf kleinere Themengebiete, die durch zahlreiche Experimente und Sachtexte vertieft und manifestiert werden.

KAPITEL 1

Hintergrund und Rahmen des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts

Das erste Kapitel stellt eine Übersicht zur Einführung des fächerübergreifenden Naturwissenschaftunterrichts auf. Hierfür erfolgt zunächst eine Systematisierung des fächerübergreifenden Unterrichts mit einer klaren Einordnung des Lehrfaches Naturwissenschaften. Um das neu eingeführte Fach zu legitimieren, impliziert sich die Notwendigkeit auf die historische Entwicklung einzugehen und die Gründe zur Einführung zu beleuchten. Ebenso werden die Gegenargumente aufgeführt und somit alle Sichtweisen mit einbezogen. Darauffolgend wird die Entwicklung eines fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichtsfachs national von allen Bundesländern und international von fünf weiteren Ländern analysiert. Dieses Kapitel wird mit der Beschreibung des Ziels dieser Dissertation und der Vorstellung des Forschungsgedankens abschließen.

1.1 Systematisierung

Der integrative naturwissenschaftliche Unterricht in der Sekundarstufe I wurde eingeführt, um die drei naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Physik und Chemie zu vereinen. Das Ziel dabei ist das Lehren von naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsmethoden jenseits der Fächergrenzen und das Beleuchten ausgewählter Themenbereiche aus allen naturwissenschaftlichen Sichtweisen. Hierbei stellt sich die Frage, in welche Kategorie ein solches Unterrichtsfach eingeordnet werden kann. Das Unterrichten über die Fächergrenzen hinaus kann unterschiedlich intensiv erfolgen. Unter dem Deckmantel 'fächerübergreifend' können weitere Klassifizierungen und Differenzierung erfolgen, welche im Folgenden erläutert werden sollen.

1.1.1 Systematisierung des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts

Ein Blick in die Fachliteratur, wie zum Beispiel [1, S.47] oder [2, S.59], zeigt eine große Varianz in der Erklärung der Begrifflichkeiten zum Verbundfach des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Bis auf wenige Ausnahmen nutzen alle Autoren als Oberbegriff **fächerübergreifenden Unterricht**, jedoch werden verschiedene Unterkategorien definiert, die sich in der Intensität des Verbundes unterscheiden [3, S.55].

So unterscheiden *Häußler* [4] und *Kremer* [5] das Unterrichten mehrerer Fachdisziplinen nach fachüberschreitend, fächerverknüpfend und fächerkoordiniert, während *Moegling* [6]

nur zwischen fächerintegriert und fächerkoordiniert differenziert. *Reinhold* und *Bünder* [7] abstrahierten 2001 ebenso drei Kategorien: fächerüberschreitend, fächerverbindend, fächerintegriert. Die unterschiedliche Wortwahl führt zu Verwirrungen und Uneinigkeit. Aus diesem Grund impliziert sich die Notwendigkeit das Unterrichten über die Fachgrenzen hinaus zu systematisieren und klare Unterschiede in den Begrifflichkeiten aufzuzeigen. Insgesamt können in der Literatur sieben verschiedene Bezeichnungen gefunden werden. Jedoch verbirgt sich unter dem Label fächerverknüpfend die gleiche Definition wie beim Fächerverbindenden Unterricht. Gleiches gilt für den themenzentrierten und fächerkoordinierten Unterricht. Deshalb können noch fünf Unterkategorien zusammengefasst werden, fächerüberschreitend, fächerverknüpfend, fächerkombiniert, fächerergänzend und fächerintegriert. Diese sollen nun beispielhaft charakterisiert werden.

Bei der **fachüberschreitenden** Unterrichtsform dient der Fachunterricht, beispielsweise Chemie, als Ausgangsbasis, jedoch werden auch vertiefende oder ergänzende Inhalte anderer Fächer beachtet. In den folgenden Abbildungen wird der Fachunterricht als Kugel symbolisiert. Die Abbildung (Abb.) 1.1 zeigt symbolisch den fachüberschreitenden Unterricht. Dabei bleibt der Fachunterricht in Form einer Kugel bestehen. Der Pfeil zeigt auf, dass sich zum Beispiel der Chemieunterricht auf den Physikunterricht bezieht. Als Veranschaulichung soll folgendes Beispiel dienen. Im Physikunterricht wird Wissen über Strahlung vermittelt, auf welches sich anschließend der Chemieunterricht beziehen kann und darauf aufbaut, um das Anregen von Elektronen zu erklären. Dieser Unterrichtstypus ermöglicht dem Lehrer, Perspektiven anderer Fächer zu integrieren und somit den Rahmen des reinen Fachunterrichts aufzubrechen und andere Blickwinkel mit einzubeziehen. Die Bandbreite der Unterrichtsform ist weit gesteckt und kann individuell vom Fachlehrer gewählt werden [8].

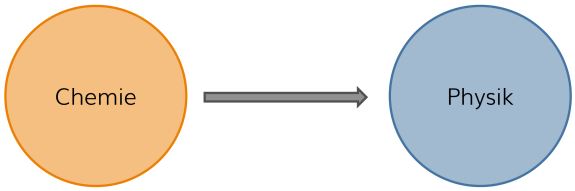


Abb. 1.1: Fachüberschreitende Unterrichtsform

Beim **fächerverknüpfenden** Unterrichten werden mindestens zwei Fächer und deren Inhalte miteinander verbunden. Die Fächer beeinflussen sich wechselseitig, was durch den Doppelpfeil in Abb. 1.2 symbolisiert wird. Aus diesem Grund nutzen andere Autoren wie *Huber* [9] oder *Reinhold und Bünder* [7] den Terminus **fächerverbindend**. Die Kooperation der jeweiligen Fachlehrer ist hierbei Voraussetzung. Die Themenschwerpunkte werden im jeweiligen Fachunterricht verknüpft und parallel unterrichtet. Zum Beispiel wird im Chemieunterricht die Funktionsweise von Batterien und der Stromkreislauf eingeführt, welcher parallel im Physikunterricht behandelt wird. Hierbei geht der Chemieunterricht auf die chemischen Aspekte ein und der Physikunterricht zeigt die physikalischen Elemente auf. Der Unterricht der beiden Fächer baut in diesem Sinne aufeinander auf; jeder Lehrer ist dabei aber frei in der Art zu unterrichten.

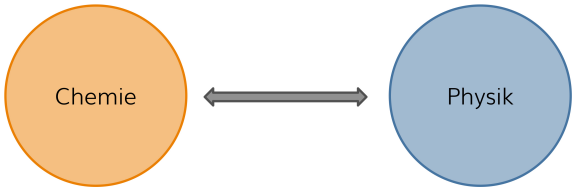


Abb. 1.2: Fächerverknüpfende Unterrichtsform

Projektunterricht kann im **fächerkombinierten/themenzentrierten** Unterrichtstyp erfolgen. Als gemeinsamer Nenner dient ein Oberthema, welches von den verschiedenen Fächern beleuchtet wird. Symbolisch dargestellt ist das in Abb. 1.3. Die Fachlehrer setzen dabei die jeweiligen Schwerpunkte fest. Hier ist die Zusammenarbeit der Fachlehrer notwendig, um das Thema gemeinsam zu koordinieren. An dieser Stelle ist sowohl ein Team-teaching als auch ein Unterrichten nach Fächerschwerpunkten vom Einzellehrer möglich. Zur Veranschaulichung dient ein Beispiel: Die Thematik der Pflanze/Fotosynthese beinhaltet Themenschwerpunkte aus allen drei Fachdisziplinen. Die Biologie beleuchtet den Aufbau der Pflanze, das Chlorophyll und die Fotosynthese in einfachster Form. Die Physik beschäftigt sich mit der Wirkung von Licht für die Fotosynthese und mit der Reflektion sowie der damit verbundenen Farbgebung. Die Chemie betrachtet die Fotosynthese in allen Einzelschritten und beschreibt die chemischen Vorgänge in der Pflanze.

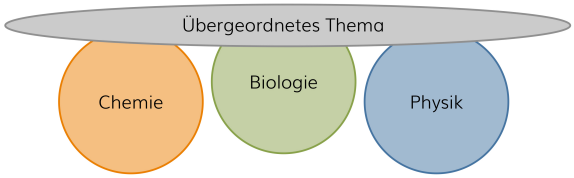


Abb. 1.3: Themenzentrierte Unterrichtsform

Beim **fächerergänzenden** Unterricht liegt die Bedeutung im Wort selbst. Der Unterricht ergänzt den Fachunterricht, zum Beispiel in der Einführung eines Wahlpflichtfaches, in dem interessierte Schüler weiterführende Inhalte der drei naturwissenschaftlichen Themenbereiche erlernen können. In Abb. 1.4 ist dies veranschaulicht durch das zusätzliche Oval. Möglich ist auch die Umsetzung in einer Projektwoche, in der ergänzende Angebote zur Verfügung stehen. Die Unterrichtssystematik als dreigliedriges Fachsystem kann auch für einen bestimmten Zeitraum aufgelöst werden und ein gemeinsamer Unterricht erfolgen. Anschließend erfolgt wieder der Fachunterricht. Als Beispiel soll das Thema erneuerbare Energie dienen. Zunächst erfolgt in dem jeweiligen Fachunterricht die Grundlagenschaffung. Die Biologie geht auf Nachhaltigkeit, Anbaufläche und Nutzen ein; die Chemie beleuchtet die chemischen Vorgänge, Gefahren und Nutzen erneuerbarer Energien und die Physik beschäftigt sich mit dem Energiebegriff, -Nutzen und -Verbrauch. Anschließend wird der Fachunterricht abgelöst und gemeinsam in einem Fachverbund unterrichtet. Hier wird dann am Beispiel der Biomasse alles Fachwissen zusammengetragen und angewendet. Diese Form vom fächerübergreifenden Unterricht kann nur erfolgen, wenn alle Lehrer zusammenarbeiten und das Grundlagenwissen erarbeiten, um schlussendlich gemeinsam zu unterrichten.

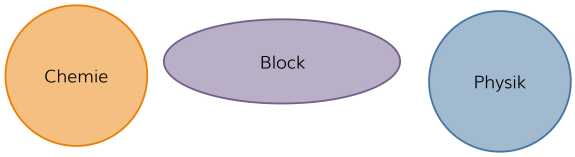


Abb. 1.4: Fächerergänzende Unterrichtsform

Der **fächerintegrierende** Unterricht löst den Fachunterricht unter Bildung eines gemeinsamen Unterrichtsfaches ab. Graphisch dargestellt wird dieser Zusammenhang in Abb. 1.5, wobei alle drei Fachdisziplinen von einem großen Rahmen umgeben werden. Die Grenzen der jeweiligen Fächer sind aufgehoben, was durch das Fehlen der Rahmen um die Einzelfächer symbolisiert wird. Die fachlichen Inhalte bleiben jedoch erhalten und können wenn nötig separat unterrichtet werden. Jedoch sollten so oft wie möglich die Themen aus den Sichtweisen aller integrierten Fächer beleuchtet werden. Das Auflösen der Einzeldiszipli-

nen führt zur Einführung eines Verbundfaches wie beispielsweise dem Fach 'integrierte Naturwissenschaften' in Thüringen. Hier löst das neue Fach den vorherigen Biologie- und Physikunterricht ab. Die Stundenanzahl der Naturwissenschaften bleibt dabei konstant und wird analog im Verbundfach unterrichtet.

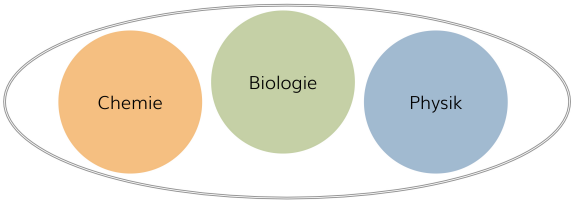


Abb. 1.5: Fächerintegrierte Unterrichtsform

Diese Art zu unterrichten ist in den Naturwissenschaften, wie auch in anderen Fächern, gut möglich, da sich alle drei Fächer mit den Phänomenen der Natur beschäftigen und versuchen, Erklärungen für diese zu finden. Oftmals überschneiden sich die Erklärungen und ein integriertes Fach ermöglicht es, gleich auf alle Perspektiven der Naturwissenschaften einzugehen. Auch in den Gesellschaftswissenschaften findet dieses Prinzip zu unterrichten Anwendung in Form der 'Gesellschaftslehre' in der Sekundarstufe I.

Huber beschreibt zusätzlich noch den **fächeraussetzenden** Unterricht, der eine Mischung aus dem themenzentrierten und integrierten Unterricht darstellt. Bei dieser Organisationsform werden für einen bestimmten vorher festgelegten Zeitrahmen die Fachdisziplinen aufgelöst und an einem gemeinsamen Zusammenhang erarbeitet. Anschließend erfolgt die Rückkehr zum Fachunterricht [10, S.168].

Labudde vermerkt zusätzlich, dass die Systematisierung auf zwei Ebenen erfolgen muss, zwischen der Ebene der Stundentafel und der Ebene der Fachdisziplinen. Der fächerergänzende und fächerintegrierende Unterricht bezieht sich auf die Erstere, während alle weiteren sich auf die Fachdisziplin berufen, da diese weiterhin bestehen bleiben und nicht zu Gunsten eines Verbundfaches aufgelöst werden. Die Fachgrenzen werden hier innerhalb des Faches überschritten und weitere naturwissenschaftliche Aspekte betrachtet.

Die Darstellungen zeigen, dass die Einteilungen des fächerübergreifenden Unterrichts nach den unterschiedlichen Organisationsformen erfolgt. Die Erarbeitung eines Themengebietes mit den unterschiedlichen Aspekten und Gesichtspunkten kann also in unterschiedlicher Intensität erfolgen. Aus diesem Grund haben *Hiller-Keller* und *Hiller* die Systematisierung auf der Grundlage des Ziels vorgenommen. Zunächst stellt sich in ihren Augen die Frage der **Notwendigkeit**. Zum Beispiel muss die Fachsprache, bei dem Einsatz fremdsprachiger Texte im Fachunterricht, mit einbezogen werden. Darauffolgend steht die **Nützlichkeit** für fächerübergreifendes Unterrichten im Raum. Für vereinzelte Themen ist es von Vorteil, die Kenntnisse aus anderen Fachdisziplinen zu nutzen und daran anzuknüpfen. Als goldene Mitte werden die **Fachperspektiven** betrachtet, was gerade in den Naturwissenschaften förderlich ist, wenn diese relativiert werden. So können in der Biologie und Chemie medizinische Kenntnisse mit einbezogen und somit das reine Fachwissen relativiert werden. Ausgewählte Themengebiete wirken **wechselseitig** aufeinander und nehmen so Einfluss aufeinander. Ist dies das Ziel, wird ein fächerübergreifender Unterricht begründet. Zu guter Letzt sollte der Unterricht das Ziel der **Alltagswirklichkeit** verfolgen, denn er bietet den Spielraum, Phänomene oder Fragestellungen aus allen Gesichtsfeldern zu betrachten [8, S.5-6] .

1.1.2 Zusammenfassung

Unterricht, der über die Fachgrenzen hinaus geht, wird im deutschsprachigen Raum mit dem Oberbegriff **fächerübergreifend** deklariert. Die Charakterisierungsansätze differenzie-

ren sich weiter nach der Organisationsform oder dem Ziel des fächerübergreifenden Unterrichts. In Anbetracht der Vielfalt der unterschiedlichen Begriffsdefinitionen folgt die Notwendigkeit für den naturwissenschaftlichen Unterricht, in der Orientierungsstufe eine klare Systematisierung zu finden. Nach den beschriebenen Definitionen ordnet sich der fächerübergreifende naturwissenschaftliche Unterricht beim fächerintegrierten Unterricht ein. Der Fächerkanon von Chemie, Biologie und Physik wird aufgelöst und als Verbundfach mit neuem Namen wie 'Naturphänomene' oder 'Naturwissenschaften' zusammengefasst und unterrichtet. Hierbei ist das Ziel, Phänomene aus den Blickwinkeln aller drei Naturwissenschaften in einem Unterrichtsfach zu beleuchten. In dieser Arbeit wird im Folgenden der Oberbegriff fächerübergreifend verwendet oder andernfalls vom Verbundfach oder den integrierten Naturwissenschaften gesprochen. Das gemeinschaftliche Unterrichtsfach der Naturwissenschaften ist hier am besten einzuordnen, da die Fachgrenzen aufgelöst werden und ein einheitliches Fach, das Verbundfach, entsteht.

1.2 Historische Entwicklung des integrativen naturwissenschaftlichen Unterrichts

Um zu verstehen, wie die Varianz der Begrifflichkeit des fächerübergreifenden Unterrichts entstanden ist, erfolgt nun ein Blick auf die historische Entwicklung bis zur Einführung des Verbundfaches. Die Bedeutung naturwissenschaftlicher Bildung ist heute unumstritten und die Fächer haben zu Recht einen erheblichen Anteil an den Stundentafeln, wie in Kapitel 1.4 ausführlich veranschaulicht wird. Zu dem mathematisch-naturwissenschaftlichen Fachbereich zählen die Unterrichtsfächer Mathematik, Informatik, Physik, Biologie, Chemie und Technik, zusammengefasst werden sie zu den sogenannten Mathematik-Informatik-Naturwissenschaften-Technik (MINT)-Fächern. Die Fächer Chemie, Biologie und Physik werden als Naturwissenschaften gebündelt. Der Antrieb naturwissenschaftlicher Bildung ist eine kritische, gesellschaftliche Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Phänomenen oder Fragestellungen.

Die Erkenntnis der Bedeutung der Naturwissenschaften war nicht gleich gegeben, sondern hat sich über einen längeren Zeitraum entwickelt. 1904 gelang es dem Mathematiker *Felix Klein* aus Göttingen den 'Verein deutscher Naturforscher und Ärzte' für die Bildung in naturwissenschaftlichen Bereichen zu interessieren und somit zur Verbesserung des naturwissenschaftlichen Unterrichts anzuregen [11, S. 248]. Es wurde eine Kommission mit zwölf Mitgliedern gegründet, die Vorschläge vorlegen sollten. Nur ein Jahr später wurden diese Vorschläge in Meran (Italien) vorgestellt und verankert. Formuliert wurden insgesamt drei Leitsätze, die in den folgenden Jahren den naturwissenschaftlichen Unterricht maßgeblich beeinflussten [11, S. 249].

- „Die Kommission wünscht, dass auf den höheren Lehranstalten weder eine einseitig sprachlich-geschichtliche noch eine einseitig mathematisch-naturwissenschaftliche Bildung gegeben werde."
- „Die Kommission erkennt die Mathematik und die Naturwissenschaften als den Sprachen durchaus gleichwertige Bildungsmittel an und hält zugleich fest an dem Prinzip der spezifischen Allgemeinbildung der höheren Schulen."
- „Die Kommission erklärt die tatsächliche Gleichberechtigung der höheren Schulen für durchaus notwendig und wünscht deren vollständige Durchführung."

Diese Meraner Vorschläge regten zum Umdenken der Unterrichtsgestaltungen an, sodass die Reformpädagogen in den Vordergrund rückten. Die Naturwissenschaften hielten Einzug in das Bildungssystem. Die gebildete Kommission motivierte zur Gründung weiterer

Gesellschaften und Vereine in den folgenden Jahren. So wurde beispielsweise der 'Deutsche Ausschuss für den mathematischen und naturwissenschaften Unterricht', abgekürzt mit DAMNU, im Jahr 1907 gegründet und schloss bereits ein Jahr später 16 Verbände ein, zusammengestellt aus Mathematikern, Medizinern, Naturwissenschaftlern, Ingenieuren, Elektrotechnikern und Lehrern [11, S. 250]. Die Meraner Vorschläge mündeten schlussendlich in der Reformpädagogik[1] von der Volkschule bis hin zur Lehrerbildung an den Universitäten. Bis in die 50er Jahre hinein prägten die Meraner Vorschläge die Lehr- und Schulbücher. Zu den großen Reformpädagogen zählte unter anderem *Berthold Otto*, der sich für den Gesamtunterricht ausgesprochen hatte und den Gedanken voran trieb, dass Kinder eigenständig die Umwelt erforschen sollten. Als weiterer bedeutender Name sei *Rudolf Steiner* genannt, der ab 1919 die Waldorfpädagogik lehrte, die noch heute an einigen Schulen Anwendung findet. Nachhaltig geprägt hat die naturwissenschaftliche Bildung *Georg Kerschensteiner*, der die Arbeitsschule einführte und mit dem Werk 'Wesen und Wert des naturwissenschaftlichen Unterrichts' [13] die zukünftigen Lehrplanentwicklungen beeinflusste. Sein Augenmerk lag auf dem Experimentieren als Erkenntnisgewinnungsmethode sowie der Nützlichkeit von Alltagsphänomenen und -fragen. Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsmethoden stellten einen zentralen Kern seiner Arbeit dar. Er forderte mehr Forschungsarbeit und ein Ablösen der deduktiven Lehrmethode im Unterricht [13]. Die Entwicklung durch die Meraner Vorschläge sowie die Gedanken der Refompädagogen zu einem gestärkten naturwissenschaftlichen Unterricht wurden durch das wechselnde Regime von den Nationalsozialisten gebremst. Für die Bildungspolitik dienten die Naturwissenschaften lediglich dazu, den politischen Rassegedanken zu vermitteln. Die naturwissenschaftliche Bildung wurde zum Zweck der Politik instrumentalisert, die Biologie gestärkt und die Chemie und die Physik geschwächt [8].

Die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Bildung ist in Tabelle (Tab.) 1.1 von 1901 bis 1966 aufgeführt. Zur Übersicht wurden drei Schulformen ausgewählt; das Gymnasium, das Realgymnasium und die Oberrealschule. Die Schulformen unterscheiden sich in der Orientierung ihres Schwerpunktes. Das Gymnasium legt das Hauptaugenmerk auf die Sprachen, das Realgymnasium verfügt über einen naturwissenschaftlichen Charakter. Die Oberrealschule wird nach dem Abschluss der achten Jahrgangsstufe besucht, um dort das Abitur zu erwerben. Das erste Vergleichsjahr ist 1901, in diesem Jahr wurde das erste Mal der Nobelpreis verliehen, unter Anderem an *Wilhelm Conrad Röntgen*. Die Oberrealschule hat das größte Stundenkontingent für die Naturwissenschaften mit 31,7 %, dabei sind die Stunden annähernd gleichmäßig auf die drei Naturwissenschaften aufgeteilt. Jedoch beinhalten die 31,7 % auch die Mathematik, die drei Naturwissenschaften haben jeweils circa 5 %. Das Realgymnasium liegt nur wenige Prozente hinter dem Oberrealgymnasium, wobei die Biologie und die Physik gleich gestärkt werden, die Chemie hingegen liegt leicht dahinter. Das Gymnasium hat das geringste naturwissenschaftliche Stundenkontingent, mit 20 % , wobei die Chemie mit nur 0,4 % einen kaum wahrnehmbaren Anteil hat. Hier liegt der Schwerpunkt auf der Biologie, anschließend kommt die Physik mit noch knapp 2,7 %. Während der Wirtschaftskrise nach dem ersten Weltkrieg wird die Physik in der Schule gestärkt, die Stunden dafür werden hauptsächlich von der Chemie abgezogen. Im Jahr 1939 kommt Adolf Hitler an die Macht und die Naturwissenschaften werden stark gesenkt, an dem Realgymnasium und Oberrealschule um circa 30%. An den Gymnasien hingegen werden die Naturwissenschaften während des NS-Diktatur nur um 5% gesenkt. Hierbei ist

[1] Reformpädagogik ist eine Sammelbezeichnung für das Bestreben, Erziehung, Schule und Unterricht zu erneuern. Die historische Epoche der Reformpädagogik in Europa und den USA in der Zeit zwischen 1890 und 1933 setzt sich kritisch mit den damals existierenden Bildungs- und Schulformen auseinander und versucht, Bildungsbemühungen konsequent an den Bedürfnissen und Fähigkeiten des Kindes auszurichten. [12]

auffällig, dass die Naturwissenschaften sich hauptsächlich auf die Biologie fokussieren, was darin begründet werden kann, dass die Rassenlehre vermittelt werden soll. Die Chemie und Physik spielen hierbei nur eine untergeordnete Rolle [8, S. 19]..

Gymnasium	1901	1925	1931	1938	1949	1950	1961	1966
MNU	20,1	18,9	20,6	19,0	21,0	17,9	17,6	18,4
Biologie	3,5	3,5	3,0	5,7	4,4	3,0	3,4	3,5
Chemie	0,4	1,8	0,9	1,4	1,9	0,7	0,7	1,4
Physik	2,7	1,8	3,8	2,2	3,3	3,7	2,7	2,7
Realgymnasium	1901	1925	1931	1938	1949	1950	1961	1966
MNU	27,1	19,8	21,0	18,7	21,0	17,9	18,4	18,4
Biologie	4,0	3,4	3,6	5,9	4,4	3,0	3,4	3,6
Chemie	2,7	2,3	2,1	1,6	1,9	0,7	0,7	1,4
Physik	4,4	4,2	4,0	2,4	3,3	3,7	2,7	2,7
Oberrealschule	1901	1925	1931	1938	1949	1950	1961	1966
MNU	31,7	30,8	30,7	23,1	28,5	28,2	28,2	27,7
Biologie	4,6	4,8	6,1	5,9	4,4	6,1	4,8	5,0
Chemie	4,2	4,5	3,4	2,4	3,7	2,7	2,4	2,1
Physik	5,0	4,5	4,4	3,5	4,8	5,1	6,5	6,4

Tab. 1.1: Anteil der mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer und der einzelnen Naturwissenschaften am Gesamtunterricht in Prozent

Mit dem Kriegsende 1949 wurden die Naturwissenschaften insgesamt wieder intensiviert. Das Gymnasium erfährt eine Stärkung um 10% im Vergleich zur Zeit der NS-Zeit, das Realgymnasium und das Oberrealschule um circa 20%. Dies bedeutet, dass die Naturwissenschaften an den letztgenannten Schultypen nicht wieder auf den Ursprungswert zurück gelangen, während im Gymnasium die Naturwissenschaften steigen. Mit der Teilung Deutschlands 1950 erfahren die Naturwissenschaften erneut eine Absenkung der Stunden, dies ist besonders in der Chemie zu merken. Die weiteren Werte berufen sich auf die Entwicklung in den alten Bundesländern unter der Besatzungspolitik. Im Vergleich zu den Vorjahren wird die Chemie am Gymnasium und dem Realgymnasium um 63% reduziert, an der Oberrealschule sind es nur 27%. Bis zum Jahr 1966 werden die Stunden an der Oberrealschule die Stunden weiter dezimiert. An den Gymnasien und dem Realgymnasien steigt die Stundenzahl zwischen 1961 bis 1966 wieder um 50%. Die Begründung kann im Sputnik Schock 1961 und dem prophezeiten Lehrermangel in den Naturwissenschaften, sowie dem Ausbildungsmangel im Jahr 1963, gefunden werden. Die Entwicklung insgesamt zeigt, dass in allen Schulformen die Naturwissenschaften von 1901 bis 1966 gesenkt wurden, am Gymnasium wurden die Stunden um 9% heruntergesetzt, dabei erfuhr jedoch die Chemie insgesamt eine Stärkung. Am Realgymnasium wurden die Stunden der Naturwissenschaften insgesamt um 32% vermindert, wobei die Chemie einen Verlust um 48% hinnehmen musste, jedoch auch die Physik weißt eine Stundensenkung um 39% auf, auch die Biologie hatte eine Stundenreduzierung um 10%. An der Oberrealschulschule wird hauptsächlich die Chemie geschwächt, insgesamt werden die Naturwissenschaften um 13% reduziert, die Biologie um 8% und die Physik um 28% gestärkt. Die Chemie hingegen verliert an Stunden um 50%. Die neuen und alten Bundesländer entwickeln sich durch die Besatzungsmächte unterschiedlich. In der Deutschen Demokratischen Republik wurden die Naturwissenschaften weiter vertieft und erweitert, die Stundenanzahl der Naturwissenschaften erhöht. 1959 wurde die achtjährige Grundschule durch die polytechnische Schule ersetzt, die fächerübergreifende Aspekte unterrichtete. Im Gegenzug zu eben dieser erlebte die Bundesrepublik Deutschland das sogenannte Wirtschaftswunder und die Schulen fielen in alte Systeme zurück, in denen die Naturwissenschaften nur eine untergeordnete Rolle spielten. Verschärft

wurde diese Situation noch durch die Saarbrücker Vereinbarung, die festsetzte, dass die Pflichtfächeranzahl weiter gedrosselt wurde und nur noch Physik in den Schulen verpflichtend unterrichtet wurde [8, S. 19].

1.2.1 Entwicklung in den 1960er Jahren

Die Sichtweise über die Bedeutung der Naturwissenschaften in den alten Bundesländern änderte sich durch den Start des ersten sowjetischen Satelliten mit dem Namen Sputnik 1957. Der Erfolg, einen Erdsatelliten in die Erdumlaufbahn zu senden, führte dazu, dass die Sowjetunion die Überlegenheit des Kommunismus gegenüber den westlichen Regimen propagierte [8, S. 19]. Das Bestreben, wissenschaftlich mitzuhalten, brachte eine Änderung der Denkweise in den westlichen Ländern und eine Modernisierung der Schulsysteme mit sich. Diese Veränderungen vollzogen sich vor allem bei den Großmächten Amerika und England, doch die Veränderungen wurden auch in Deutschland spürbar.

Die Kultusministerkonferenz (KMK) realisierte eine Bedarfsfeststellung für Lehrer und stellte 1963 die Ergebnisse vor. Diese Veröffentlichung prophezeite einen akuten Lehrermangel im Bereich der Naturwissenschaften, was sich kurze Zeit später übertrug und die Vertreter der Wirtschaft verlauten ließ, dass auch sie zu wenig akademischen Nachwuchs haben und es an qualifizierten Fachkräften mangeln würde. Aus diesem Bildungsnotstand entstanden zwei große Projekte, die die Naturwissenschaften gestärkt haben. Zum einen stellte Volkswagen eine Stiftung zur Verfügung, mit der fachdidaktische Lehrstühle finanziert und Lehramtsstudenten finanziell unterstützt werden konnten. Im Jahr 1966 wurde das Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaft in Kiel mit Hilfe dieser Förderung eröffnet [14, S. 60]. Auf der anderen Seite wurde 1964 das Hamburger Abkommen verabschiedet, was die Möglichkeiten von Modellschulen und veränderten Curricula eröffnete. Der Kerngedanke der neuen Entwicklung war es, eine Schule zu schaffen, an der alle Lernenden nach dem Prinzip der Reformpädagogik übergreifend unterrichtet werden. An diesen Gesamtschulen sollten die neu entwickelten Curricula erprobt werden, bevor sie Einzug in die weiterführenden Schulen erhielten. Bei der Erarbeitung des Curriculums wurde das Verbundfach der Naturwissenschaften entwickelt. Als Referenz diente das anglo-amerikanische Bildungssystem der ehemaligen Besatzungsmächte, wo die Naturwissenschaften bereits gemeinsam unter dem Fach 'Science' unterrichtet wurden. Die Bemühungen verliefen im Sande, da sich die Gesamtschule kritischer Argumentation gegenüber sah. Sie wurde von der Allgemeinheit als Einheitsschule abgestempelt. In diesem Zusammenhang wurden die Gedanken vom integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht erneut abgelenkt und sich auf die Diskussion um die Gesamtschule konzentriert.

Zu den großen Befürwortern des integrierten Ansatzes zählten *Martin Wagenschein* und *Gerda Freise*, welche trotz dieser Entwicklung weiter an den integrierten Naturwissenschaften forschten und Unterrichtsmaterialien konzipierten.

Martin Wagenschein

Am 3. Dezember 1896 wird *Martin Wagenschein* in Gießen geboren. Er erlangte 1914 das vorzeitige Abitur durch den Kriegsausbruch. Durch einen Herzfehler wurde er jedoch als kriegsuntauglich eingestuft und diente im deutschen roten Kreuz. Er wurde an der Gießener Universitäts-Augenklinik zum Sanitäter ausgebildet. Während dieser Ausbildung immatrikulierte er sich für die Fächer Mathematik, Physik und Geografie an der Ludwig-Universität. 1920 erhielt er sein erstes Staatsexamen. Es schloss sich eine Promotion bei Professor *Walter König* in der Experimentalphysik an. Seine pädagogische Ausbildung absolvierte er von 1921 bis 1922 an verschiedenen Realschulen und Gymnasien in Darmstadt, Worms und

Friedberg. 1923 erwarb er sein zweites Staatsexamen und arbeitete anschließend als Lehrer. Ab 1924 arbeite er unter seinem Mentor *Paul Geheeb* an der Odenwaldschule, was eine große Auswirkung auf sein Lebenswerk hatte, da er großen Respekt vor ihm und seinem Ansatz hatte und diesen später weiter verfolgte und vertiefte.

1933 trat er dem NS-Lehrerbund und der NS-Volkswohlfahrt, sowie 1938 der NSDAP bei. 1947 wurde er im Entnazifizierungsverfahren entlastet, da er 'selbstständiges Denken in jeder Hinsicht begünstigt' hat. Zwei Jahre später erhielt er einen Lehrauftrag am Pädagogischen Institut in Jugenheim für naturwissenschaftliche Erkenntnispsychologie. Er zog mit der Universität 1963 nach Frankfurt um, unterrichtete dort bis 1972 als Lehrbeauftragter für Didaktik der Naturwissenschaften und kritisierte die stark systematische Abfolge der Lehre. Er stellte, ähnlich wie *Kerschensteiner* und die weiteren Reformpädagogen, das Kind in den Mittelpunkt des Lehrens und wagte den Schritt, über die Fächergrenzen hinaus zu unterrichten. Er führte ebenso den Gedanken von *Rudolf Steiner* weiter und setzte sich für Epochalunterricht in den Jenaplan- und Waldorfschulen in Anlehnung an seinen Mentor *Paul Geheeb* ein. Parallel dazu erhielt er 1956 eine Berufung als Honorarprofessor an der Universität Tübingen.

Er verstarb am 03. April 1988 in Trautheim im Alter von 92 Jahren. Ähnlich wie schon *Georg Kerschensteiner* beeinflusste auch *Martin Wagenschein* die naturwissenschaftliche Bildung maßgeblich durch die Idee des exemplarischen Lehrens.

Gerda Freise

Der fächerübergreifende naturwissenschaftliche Unterricht steht im engen Zusammenhang mit dem Namen *Gerda Freise*. Sie prägte die Einführung des Verbundfaches maßgeblich mit. Aus diesem Grund soll an dieser Stelle eine kurze Biografie erfolgen.

Gerda Freise wurde am 29. April 1919 in Düsseldorf geboren und absolvierte 1938 ihr Abitur. Sie begann ihr Chemiestudium 1939 in Bonn und wechselte an die Universität nach München, wo sie 1947 ihren Abschluss machte. Eine Promotion folgte in München und sie arbeitete anschließend als Wissenschaftlerin an der Universität Göttingen. Zusammen mit ihrem Mann ging sie 1950 nach Göttingen. Durch die Sputnikentwicklung in den 50-60er Jahren erlebte sie 1960 noch einmal einen Umbruch und entschied sich für ein weiteres Studium an der Pädagogischen Hochschule in Göttingen, um sich als Lehrerin ausbilden zu lassen. Nach dem erfolgreichen Studium arbeitete sie vier Jahre als Grundschullehrerin.

1966 veröffentlichte sie in der Zeitschrift für Pädagogik ihre erste Arbeit unter dem Titel 'Lern- und Erkenntnissprozesse im Naturlehrunterricht im 5. und 6. Schuljahr.' Im gleichen Jahr wechselte sie nach Heidelberg, wo sie sich als Dozentin für Chemiedidaktik engagierte. Ein weiterer Artikel in der Zeitschrift 'Chemie in der Schule', in dem sie einen experimentelleren Substanzbegriff forderte, bevor das Begriffs- und Deutungsinstrumentarium der Chemie erarbeitet wurde, löste eine umfassende Debatte aus. Die Vertreter des Fachunterrichts interpretierten diesen Artikel als Forderung zur Auflösung herkömmlicher Strukturen [15, S. 477]. Im Jahr 1974 wurde sie schlussendlich nach Hamburg berufen, um dort als Professorin für die Didaktik der Naturwissenschaften zu arbeiten [16, S.90-91]. Sie erarbeitete mit ihrer Arbeitsgruppe zahlreiche Materialien zum fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht und war an der Curriculumentwicklung beteiligt.

Nach zehn Jahren wurde sie emeritiert, widmete sich ihrer Arbeit unter dem Schwerpunkt 'Naturwissenschaften und Faschismus' und begab sich aktiv in die Auseinandersetzung mit ihrer Kindheit. Sie wirkte ebenso bei dem Film *'Die Widerständigen: Also machen wir das weiter'* mit [17]. Die Dokumentation thematisiert die Zerschlagung der Widerstandsgruppe um die Geschwister Scholl und es kommen Zeitzeugen zu Wort, die deren Flugblätter und Ideen weiter verbreitet haben. Am 11. Juli 2007 ist *Gerda Freise* im Alter von 87 Jahren verstorben [18].

1.2.2 Entwicklung in den 1970er Jahren

In den 70er Jahren entwickelte sich der Gedanke der Gesamtschule und der Erforschung neuer Curricula erneut und der fächerübergreifende naturwissenschaftliche Unterricht bildete das Kernstück der Reform [19]. Das Verbundfach erhielt neuen Aufschwung, als 1969 der Deutsche Bildungsrat die Einführung für die 5. Klasse empfahl. Jedoch gab es auch etliche Kritiker und Gegner der Integration der naturwissenschfatlichen Fächer, weshalb es zur Diskussion kam. Diese Auseinandersetzung bezog sich sowohl auf die reformierten Curricula als auch auf die Einführung der Gesamtschule. Verallgemeinert kann zusammengefasst werden, dass die Kritiker zu den Standesvertretern der einzelnen Naturwissenschaften gehören. Die Befürchtung, dass die Bedeutung des einzelnen Faches herabgesetzt wird, führte zu der ablehnenden Haltung. *Martin Wagenscheins* und *Gerda Freises* Vorstöße in den Bereich des Verbundfaches fanden starke Ablehnung, und sie sahen sich einer zunehmend ablehnenden Argumentation gegenüber [14]. Somit rückte das Verbundfach zunächst wieder in den Hintergrund, jedoch arbeiteten einzelne fachdidaktische Kreise weiter an diesem Projekt. Zu ihnen zählte *Gerda Freise*, die bis 1974 ein Konzept zum fächerübergreifenden Unterricht erarbeitete und zusätzlich Schulversuche und Arbeitsmaterialien entwarf. Ihre Argumentation für die integrierten Naturalwirtschaften formulierte sie bereits 1966 in ihrer Rede öffentlich zur Gründung des Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) in Kiel [20, S. 3-4]:

- „Die anfänglich hohe Motivation durch den Reiz des Neuen, den die naturwissenschaftlichen Fächer erfahrungsgemäß ausüben, wird schnell verringert. Und zwar einmal durch den zermürbenden Blick auf die Menge des zu lernenden Stoffs, zum anderen durch die Tatsache, dass die Schüler trotz langjährigen Fachunterrichts nicht fähig werden, größere Zusammenhänge sehen und beurteilen zu lernen."

- „Es besteht die große Gefahr, dass vor allem die Schüler, welche die Schule am Ende der Sekundarstufe I verlassen, durch die zwangsläufige Beschränkung auf kleine Ausschnitte aus den Systematiken und auf wenige Arbeitsmethoden zunächst den Glauben an eine wertfreie Naturwissenschaft vermittelt erhalten. Den Schülern wird damit der Blick verstellt für die Tatsache, dass die immer weitergehende Beherrschung der Naturwissenschaften durchaus nicht die Lösung von Problemen im Interesse der Menschen garantiert."

Sie verfolgte das Ziel, dass ein naturwissenschaftliches Verbundfach grundlegende, wissenschaftliche Verfahrensweisen vermitteln sollte und nach Schwierigkeiten oder Anforderungen differenziert wird. Sie strebte nach der Förderung der Individualisierung und des differenzierten Lernens nach Anforderungsniveaus. Gestärkt wurde der fächerübergreifende, naturwissenschaftliche Unterricht durch zwei große Tagungen 1973 unter dem Titel '*Integriertes Curriculum Naturwissenschaft - Theoretische Grundlagen und Ansätze*' und 1974 mit dem Schwerpunkt '*Integriertes Curriculum Naturwissenschaft - Projekte und Innovationsstrategien*', die vom IPN geplant und organisiert wurden. Zusammenfassend aus den beiden Tagungen folgerte *Karl Frey*, dass neue Curricula notwendig wären, aber sich die Umsetzung als schwierig erweist, da die Fachdidaktiker über unzureichende Kompetenzen für alle Naturwissenschaften verfügen und die Rahmenbedingungen zunächst angepasst werden müssen [20, S. 4]. Trotz der Bemühungen vereinzelter Fachwissenschaftler gleitet der integrative naturwissenschaftliche Unterricht erneut als Nischenfach für die Gesamtschulen ohne Konzepte, Rahmenplänen oder Lehrbücher ab. Gründe für die Entwicklung als Nischenfach liegen in der Vorsicht und der Kritik der Vertreter der Naturwissenschaften. Es bestand zunehmend die Gefahr, dass die Bemühungen im Sande verliefen und das Fach nach und nach wieder durch den Fachunterricht ersetzt wird.

1.2.3 Entwicklung in den 1980er Jahren

Bei einer Umfrage in den 80er Jahren zur Beliebtheit der naturwissenschaftlichen Themen spielten physiklische und chemische Aspekte bei den Lernenden nur eine untergeordnete Rolle. Die Lernenden zeigten kein Interesse an den Naturwissenschaften. An den Gymnasien der Bundesrepublik gab es immer weniger Lernende, die sich für einen Leistungskurs Chemie oder Physik entschieden. Durch diese Ausgangssituation entschied sich das Bundesland Hessen dazu, an *Gerda Freise* heran zu treten und um sie um ihre Expertise zum Lernbereich Natur zu bitten. Sie formulierte Mitte der 80erJahre einen Lehrplanentwurf [5]. Dieser wurde zwar im Ministerium diskutiert, verschwand jedoch schlussendlich in der Schublade [14]. Aufschwung erhielt die Bedeutung der Naturwissenschaften jedoch erneut durch die Arbeit von *Klafki*. Er forderte die Behandlung naturwissenschaftlicher Themen aufgrund von gesellschaftlichen Schlüsselproblemen. Dieser Ansatz ist noch heute in Fachdidaktiken vertreten. Ziel ist es, den Lernenden kein stupides Wissen zu vermitteln, sondern ausgehend von Schlüsselproblemen Inhalte zu vermitteln. Durch diesen Ansatz motiviert, bildeten sich 1989 zwei große Projektgruppen, welche fächerübergreifende naturwissenschaftliche Arbeitsmaterialien entwarfen.

Zum einen engagierte sich das IPN in Kiel und startete mit dem Institut für Praxis und Theorie der Schule ein Gemeinschaftsprojekt unter dem Namen Praxis integrierter naturwissenschaftlicher Grundbildung (PING) 1989, zum anderen wurde von dem Landesinstitut für Schule und Weiterbildung in Nordrhein-Westfalen ein Konzept mit der Bezeichnung fächerübergreifender Unterricht Naturwissenschaft (FUN) gestartet. Beide Konzepte entwickelten sich aus der Not heraus, dass den Lehrern keine Arbeitsmaterialien und keine Schulbücher zur Verfügung standen. Als Ziel setzten sie sich, die Lehrkräfte zu unterstützen und eine Materialsammlung zur Verfügung zu stellen. In Schleswig-Holstein entwickelte sich das Projekt PING mit didaktischen Hintergründen. Die Schwerpunkte der Projektgruppe sind je nach Klassenstufe in der Tab. 1.2 aufgeführt [21].

Themen Klasse 5/6	Themen Klasse 7/8	Themen Klasse 9/10
Ich und Wasser	Wir orientieren uns	Menschen nutzen Energie
Ich und die Luft	Wir bauen und wohnen	Menschen erzeugen neue Stoffe
Ich und der Boden	Wir ernähren uns	Menschen schaffen Lebewesen
Ich und die Sonne	Wir kommunizieren	Menschen erfinden Verkehrsmittel
Ich und die Pflanzen	Wir halten uns gesund	Menschen entwickeln sich selbst fort
Ich und die Tiere	Wir bewegen uns fort	Menschen gestalten Lebensräume
Ich und andere Menschen	Wir stellen Werkzeuge her	Menschen denken neues Wissen
Ich und Maschinen	Wir kleiden und schmücken uns	Menschen erkennen Natur
	Wir leben zusammen und schützen uns	
	Wir spielen und lernen	

Tab. 1.2: Themenschwerpunkte der Projektgruppe PING

Dieses wurde vom IPN entworfen und gefördert, weshalb es sich am anglo-amerikanischen Bildungsbereich orientiert, da das Institut international tätig ist und regen Kontakt in diesem Bereich pflegt. Einfluss nahm ebenfalls die Lernpsychologie in der Planung der Konzepte. Mit Hilfe der Arbeitsmaterialien sollten träges Wissen vermieden und notwendige Alltagskenntnisse vermittelt werden. Als drittes Standbein wurde die Entwicklungspsychologie zu Rate gezogen, was bei der Themenformulierung Beachtung fand. Die Inhalte versuchen stets einen persönlichen Bezug herzustellen und die Bedeutung des Lernstoffes zu offenbaren. Im fortlaufenden Unterricht wird diese Beziehung auf relevante Themen für die Gesellschaft erweitert. Das Bildungsziel der Projektgruppe ist folgendermaßen formuliert: „Wie können wir Menschen heute gemeinsam unser Verhältnis zur Natur menschengerecht und naturverträglich gestalten?“

Das Projekt FUN erarbeitete zum einen Strukturelemente, angelehnt an die von *Wolfgang Klafki* formulierten Schlüsselprobleme. Zeitgleich formulierte die Projektgruppe Themen, die sich in der Praxis als relevant für den Unterricht erwiesen hatten, und bot diese zusätzlich an. Zu den inhaltlichen Schwerpunkten Feuer, Wasser, Wetter, Sinne, Pflanzen und Tiere entwickelten sie Themenhefte, die an den Schulen kostenlos verteilt wurden. Die Tab. 1.3 zeigt die vorgeschlagenen Themen.

Strukturelemente	Praxisrelevante Themen
Lebenswelt	Lebensräume, Lebensgemeinschaften
Natur, Technik, Umwelt	Sinne und Körpererfahrungen
Offenheit	Umgang mit Tieren und Pflanzen
Entgegenwirken ungünstiger Sozialisationseffekte	Schwimmen, Fliegen, Laufen, Fahren
Pädagogisches Profil der Gesamtschule	Energie und Technik im Wandel der Zeit
	Natürliche und künstliche Stoffe

Tab. 1.3: Themenschwerpunkte der Projektgruppe FUN

1.2.4 Entwicklung in den 1990er Jahren

Richtigen Aufschwung bekam das Fach 'Naturwissenschaften' erst in den 90er Jahren, als Hessen als erstes Bundesland einen Rahmenplan vorlegte. Das hessische Schulgesetz wurde 1993 so verändert, dass jede Schule die Möglichkeit hatte, den Lernbereich Naturwissenschaften in den Fächerkanon aufzunehmen. An den Gesamtschulen ersetzte das Verbundfach die drei Naturwissenschaften in allen Klassenstufen bis zur zehnten Klasse [20, S. 9]. Als Modell für die Planung wurde das bereits erfolgreich unterrichtete Verbundfach Gesellschaftslehre untersucht und sich daran orientiert. Die Stundenzahl entsprach der Summe der Einzelfächer und das Hauptanliegen lag darin, alle inhaltlichen Schwerpunkte der Einzelfächer zu integrieren. Die Tab. 1.4 führt die Themen auf, die im Rahmenplan verpflichtend vermerkt sind. Für die Planung zog die damalige Rot-Grün-Regierung Industrieverbände und Handelskammern zu Rate, die allesamt die Einführung des Verbundfaches befürworteten. 1999 kam es in Hessen zu einem Regierungswechsel, die Schwarz-Gelb-Regierung zog die erarbeiteten Lehrpläne zurück und lediglich 20 Gesamtschulen durften in den Klassenstufen 5 und 6 nach dem Prinzip weiter unterrichten.

Themen Klasse 5/6	Themen Klasse 7/8	Themen Klasse 9/10
Entdeckung mit dem Mikroskop	Der Mensch in Raum und Zeit	Bedrohte Lebensräume
Körper & Leistung	Energie- & Stoffwechsel	Die Vererbungsgemeinschaft
Sinne, Wahrnehmung, Lernen	Fortbewegung in Natur und Technik	Einfache Werkzeuge & Maschinen
Stoffe im Alltag	Kommunikation mit Schall & Licht	Energie & Umwelt
Umgang mit Pflanzen	Lebensgrundlage Wasser	Gesundheit/Krankheit
Umgang mit Tieren	Stoffe verändern sich & werden verändert	Grundchemikalien für Industrie & Haushalt
Wetter	Strom im Haus	Landwirtschaft & Nahrungsmittelproduktion
Sexualerziehung	Vom Produkt zum Abfall	Modelle, Symbole, Formeln
		Nachwachsende Rohstoffe
		Naturwissenschaft und Gesellschaft

Tab. 1.4: Themenschwerpunkte im Rahmenplan Naturwissenschaften in Hessen

Die Ergebnisse von der Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS) 1996/97 und der Programme for International Student Assessment (PISA) Studie zeigten, dass die Lernenden gravierende Schwierigkeiten beim Problemlösen von naturwissenschaftlichen Fragestellungen hatten. Trotzdem kam es nicht in allen bildungspolitischenen Ebenen zum Umdenken in Richtung fächerverbindendes Unterrichten der Naturwissenschaften. Gefordert wurde eine inhaltliche und methodische Umstrukturierung mit mehr Alltagstauglichkeit. Somit fanden die bereits entwickelten Konzepte zwar nun institutionelle Unterstützung und Verbreitung, jedoch wurde der Fächerkanon der drei Naturwissenschaften

beibehalten. Das Konzept von PING wurde die Grundlage eines Modellversuchs von der Bund-Länder-Kommission (BLK). Benannt wurde es als das SINUS-Projekt mit dem Ziel der 'Steigerung der Effizenz des mathematisch- und naturwissenschaftlichen Unterrichts' und formuliert wurden elf verbindliche Module [22]. Diese Module sollten eine Weiterentwicklung und Implementation neuer Unterrichtsänsätze ermöglichen. Das Projekt war auf fünf Jahre ausgelegt, begann am 01. August 1998 und sollte am 31. Juli 2003 enden und evaluiert werden [23]. Am 29./30. April 2003 fand in Berlin die Abschlusstagung statt, bei der die Fortschritte und Ergebnisse dokumentiert wurden. Der Abschlussbericht wurde anschließend vom IPN 2003 veröffentlicht. Insgesamt beteiligten sich 180 Schulen in 15 Bundesländer an dem Modellversuch.

Das Programm war so organisiert, dass sich aus jeweils sechs lokalen Schulen sogenannte 'Sets' bilden. Die Lehrkräfte der Schulen können anhand der vorgeschriebenen Module der BLK eigenständig Inhalte auswählen. Verbindlich vereinbart wurde, dass sich die Lehrkräfte des Schulsets regelmäßig treffen und Erfahrungen austauschen, ebenso periodisch überregional [24, S. 10]. Die formulierten Module des SINUS-Projektes berufen sich auf die Gedanken und Vorstellungen der Reformpädagogen. Jedoch wurde die Möglichkeit, die Naturwissenschaften zu integrieren, nur durch Modul sechs 'Fächergrenzen erfahrbar machen - fachübergreifendes und fächerverbindendes Arbeiten' aufgegriffen. Die anderen Module haben ihren Schwerpunkt in folgenden Aspekten:

Modul eins bezieht sich auf die **Weiterentwicklung der Aufgabenkultur** [22]. Das zweite Modul hat seinen Schwerpunkt beim **naturwissenschaftlichen Arbeiten**. Hierbei werden die Aspekte des naturwissenschaftlichen Arbeitens aufgegriffen. Zu denen zählen das Beobachten und Messen, Vergleichen und Ordnen, Erkunden und Experimentieren, Vermuten und Prüfen, Diskutieren und Interpretieren, Modellieren und Mathematisieren, Recherchieren und Kommunizieren. Diese unterschiedlichen Arbeitsmethoden sollen möglichst an Alltagsvorstellungen veranschaulicht werden und Zusammenhänge mit Schülerexperimenten erarbeitet werden. Im Sinne der Alltagsanknüpfung dient auf der Homepage vom SINUS als Beispiel das Konzept 'Chemie fürs Leben'. Das dritte Modul beginnt mit einem Zitat von *Anthony Robbins*: „Erfolg ist das Ergebnis richtiger Entscheidungen. Richtige Entscheidungen sind das Ergebnis von Erfahrung. Erfahrung ist das Ergebnis falscher Entscheidungen."Fehler zuzulassen und **aus Fehlern zu lernen** ist der Inhalt des Moduls. Das vierte Modul beschäftigt sich mit der **Sicherung von Basiskonzepten und dem verständnisvollen Lernen auf unterschiedlichen Niveaus**. Die Themen des fünften Moduls sind **Kumulatives Lernen und den Zuwachs von Kompetenzen erfahrbar zu machen**, anders ausgedrückt das forschend-entwickelnde Lernen.

Das sechste Modul verweist auf die Möglichkeit von fächerübergreifenden naturwissenschaftlichem Unterricht, da hier die **Fächergrenzen erfahrbar gemacht werden sollen und fächerübergreifendes und fächerverbindendes Arbeiten** angesprochen werden. Ziel dieses Moduls ist es, dass die naturwissenschaftliche Fächer Biologie, Chemie und Physik jedes für sich Besonderheiten aufweisen, jedoch auch viele Gemeinsamkeiten zeigen. So können komplexe naturwissenschaftliche Fragestellungen oftmals nur unter Betrachtung der verschiedenen Sichtweisen der anderen Fächer beantwortet werden. Die gemeinsame Schnittstelle ermöglicht einen mehrperspektivischen Erklärungsansatz. Die wechselseitige Beziehung wird verdeutlicht und Verknüpfungen von Inhalten, Methoden oder Fragestellungen können sichtbar gemacht werden. Naturwissenschaften haben die Aufgabe Wissen vielfältig zu vernetzen, alltagsrelevante Kontexte bereit zustellen und Konzepte flexibel einzusetzen. Diese Ziele können durch einen fächerübergreifenden Unterricht erreicht werden. Die individuelle **Förderung von Jungen und Mädchen** ist der Schwerpunkt vom siebten Modul. Das achte Modul greift noch einmal die **Entwicklung von Aufgaben für die Kooperation** von Schülern auf. Dieses bereitet auf das neunte vor, da sich dieses mit der

Stärkung der Verantwortung für das eigene Lernen befasst. *Paul Halmos* sagt dazu: „The best way to learn is to do - to ask and to do. The best way to teach ist to make students ask and do. Don't preach facts - stimulate acts". Das vorletzte Modul befasst sich mit dem **Prüfen**, also dem Erfassen und Rückmelden von Kompetenzzuwachs. Das letzte Modul beinhaltet schlussendlich die **Qualitätssicherung innerhalb der Schule und die Entwicklung schulübergreifender Standards** [21].

Im Abschlussbericht dokumentiert ist die Wahl der Module der Bundesländer. Saarland hat als einziges Bundesland nicht an dem Projekt teilgenommen. Je nach Bundesland variiert die Anzahl der gewählten Module, so hat Nordrhein-Westfalen mit acht gewählten Modulen die Spitze übernommen, gefolgt von Berlin mit sieben Modulen. Sachsen, Sachsen-Anhalt, Rheinland-Pfalz, Hessen und Brandenburg hingegen konzentrierten sich zunächst auf drei Module. Die Tab. 1.5 zeigt, wo die Bundesländer ihre Schwerpunkte gesetzt haben.

Bundesland	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
BW	X	X	X	-	X	-	-	-	-	X	-
BA	X	X	X	-	X	-	-	-	X	-	-
B	X	-	-	X	X	X	X	-	-	-	X
BB	X	-	X	-	-	-	-	X	-	X	-
HB	X	X	-	-	X	-	X	-	-	-	-
HHg	X	-	-	X	X	-	-	X	X	X	-
HE	X	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-
MV	X	X	-	X	-	X	-	X	-	-	-
NS	X	X	-	X	X	X	-X	-	-	-	X
NRW	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X
RP	X	-	-	-	X	-	X	-	-	X	-
S	X	-	-	X	-	-	-	-	-	X	-
SA	-	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-
SH	X	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-
TH	X	X	-	-	-	X	X	X	-	-	-

Tab. 1.5: Wahl der SINUS-Module der Bundesländer

Deutlich zu erkennen ist, dass nahezu alle Bundesländer bis auf Sachsen-Anhalt einen Schwerpunkt in Modul eins 'Weiterentwicklung der Aufgabenkultur' gesehen haben. Ebenso haben insgesamt zehn Bundesländer einen Augenmerk auf Modul fünf 'Kumulatives Lernen und den Zuwachs von Kompetenzen erfahrbar zu machen' gelegt. Die beiden Module beeinflussen sich wechselseitig, da Modul fünf das 'Forschend-entwickelnde Lernen' fordert und das Ziel von Modul eins eine neue Aufgabenstellung am Beispiel von Alltagsproblemen vorsieht. Modul zwei 'naturwissenschaftlichen Arbeiten' hingegen haben nur acht der 15 Bundesländer gewählt, noch weniger nämlich nur sieben, haben den Schritt zu Modul 6 'Fächergrenzen erfahrbar machen und fächerübergreifendes und fächerverbindendes Arbeiten' gewagt. Hessen und Nordrhein-Westfalen waren dabei die beiden Bundesländer, die als Grundlage bereits einen Lehrplan zum fächerübergreifenden Unterricht nutzen konnten. Berlin, Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen, Schleswig-Holstein und Niedersachsen unterrichteten anhand der Materialien des SINUS-Netzwerkes, welche auf der Grundlage von PING entwickelt wurden. Hessen Lehrkräfte erlebten jedoch 1999 mit dem Regierungswechsel nicht nur den Umschwung, dass der Rahmenplan abgesetzt wurde, auch die Beteiligung am Modul sechs 'Fächergrenzen erfahrbar machen' wurde abgelehnt. Lediglich die Schulen, die bereits integrativ arbeiteten, duften weiterhin so unterrichten. Die Lehrkräfte erhielten die Anweisung sich von da an nur noch auf die Module eins und zwei konzentrieren. Somit gelang es dem Projekt nur in Maßen zum integrativen Unterrichten anzuregen. Das Modul, das am wenigsten Anklang fand war das Modul neun 'Stärkung der Verantwortung für das eigene Lernen'.

1.2.5 Entwicklung nach dem Jahr 2000

Der BLK-Modellversuch stellte 1998 einen kleinen Fortschritt in der Entwicklung eines integrativen Verbundfaches dar, jedoch überwogen die kritischen Stimmen, sodass keine weiteren Maßnahmen zur verbindlichen Einführung eines integrativen naturwissenschaftlichen Fachs gestartet wurden. Deshalb forderte die Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte in einer Denkschrift von 2002 ein integratives Fach Naturwissenschaften, das die Aufgabe haben soll, als Gesamtbild die Allgemeinbildung zu fördern. Im folgenden Jahr empfahlen die hessischen Unternehmerverbände zusammen mit der Gesellschaft deutscher Chemiker eine Stärkung der frühen naturwissenschaftlichen Bildung an hessischen Schulen. In Bayern und Baden-Württemberg wurde auf das sinkende Interesse an naturwissenschaftlichen Berufen reagiert und in den Gymnasien das integrative Fach 'Naturphänomene' für die Orientierungsstufe eingeführt. Dieses löste den Biologiefachunterricht ab und orientierte sich an deren Stundenkontingent. Ebenso wurden für die Lehrpersonen geeignete Qualifizierung- und Fortbildungsangebote gefordert. Die Gesellschaft deutscher Chemiker formulierte 2005 unter der Überschrift 'Stärkung der naturwissenschaftlichen Bildung' folgenden Punkte [25, S. 6]:

- „Etablierung eines integrativen Fachs 'Naturwissenschaften' in der 5. und 6. Jahrgangsstufe."
- „Vermittlung von grundlegenden Kompetenzen für das Fach 'Naturwissenschaften' in der Lehramtsausbildung."
- „Ausbau der naturwissenschaftlichen-technischen Bildung zu einem Schwerpunkt der Lehrerfortbildung."
- „Verbesserung der Rahmenbedingungen für naturwissenschaftlich-technischen Unterricht."

Im Jahr 2003 erfolgte die Evaluation der Ergebnisse des Modellversuchs, welche die erfolgreiche Implementation des Ansatzes der Unterrichtsentwicklung und der Qualitätssicherung bestätigte. In vier Punkten hat die BLK die wesentliche Ergebnisse zusammengefasst:

- „'Innovatives' Schulklima – Aufgeschlossenheit gegenüber neuen Wegen, Bereitschaft zur Selbstkritik, gewachsenes Problembewusstsein, aber auch Kooperationserfahrungen."
- „Stabile Lehrer-Teams, die zielgerichtet und engagiert an der Verbesserung des Fachunterrichts arbeiten."
- „Erstellung zahlreicher didaktischer Materialien, die entweder auf den regionalen Bildungsservern oder auf dem zentralen Server in Bayreuth abgelegt wurden."
- „Größere Aufgeschlossenheit der beteiligten Lehrkräfte gegenüber Verfahren der Unterrichtsevaluation."

Das Projekt etablierte sich an den Schulen sehr gut, sodass sich daraus die Initiative SINUSHessisches Landesinstitut für Pädagogik (HeLP) entwickelte. Der Name entstand aus dem Wunsch nach Hilfe bei der Umsetzung des Projektgedankens, woraus schlieslich Fortbildungen für die Lehrkräfte entwickelt wurden. Die Initiative startete am 1. August 2001 und am 31. Juli 2005 hatten 348 Lehrpersonen erfolgreich an den Lehrerfortbildungen teilgenommen [23]. Relativ zügig verbreitete sich der Wunsch den naturwissenschaftlichen Unterricht an weiteren Schulen zu etablieren. Im Anschluss an das SINUS-Projekt startete

am 1. Februar 2004 SINUS-Transfer. Ziel war es, die erarbeiteten Erfahrungen und Konzepte an weiteren Schulen zu vermitteln und so wurde beispielsweise in Hessen an 51 Schulen bis 2005 in der Orientierungsstufe integrativ gearbeitet. In Hessen und den meisten Bundesländern erfolgte der integrative Unterricht hauptsächlich an den Gesamtschulen, in anderen Bundesländern wie Bayern und Baden-Württemberg wurden auch Gymnasien in das Projekt integriert. Das hessische Kultusministerium ging zusammen mit anderen Bundesländern noch einen Schritt weiter und verlagerte das SINUS-Projekt auch in die Grundschulen, um eine frühzeitige naturwissenschaftliche Bildung zu fördern. Das alle Bundesländer sich an dem Projekt beteiligten, liegt unter anderem darin, dass Initiative politisch gestützt wurde und bundesweit durchgeführt wurde.

Nordrhein-Westfalen stellte kurz darauf 2003/2004 den ersten kompetenzorientierten Lehrplan für das Fach Naturwissenschaften vor. Die Kerninhalte und Themenschwerpunkte wurden aus den Projekten PING und FUN abgeleitet und fanden nun ihren Weg in offizielle Lehrpläne. Leider wurde auch dieser Lehrplan mit dem Regierungswechsel 2005 wie schon in Hessen 1999 abgesetzt.

Mit der zweiten Welle der Verbreitung des Projekts SINUS-Transfer unterrichteten seit dem Schuljahr 2006 insgesamt 174 weiterführende hessische Schulen mit dem integrativen Konzept des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Zur Einordnung der Zahlen folgt ein kurzer Blick auf das hessische Schulsystem. 2017 sind insgesamt 321 Schulen in Hessen verzeichnet. Damit unterrichten mehr als die Hälfte aller Schulen das Verbundfach Naturwissenschaften, leider immer noch ohne Rahmenplan, sondern auf Grundlage der Themenmappen von SINUS. Die Kultursministerin *Karin Wolff* zog 2007 mit dem auslaufenden SINUS-Transfer Projekt eine positive Bilanz und stärkt die weitere Etablierung des Verbundfaches durch das Projekt 'Kompetenzförderung – Bildungsstandards, Mathematik und Naturwissenschaften' im hessischen Schulsystem [26]. Am weiterführenden Projekt SINUS-Transfer beteiligt sich 13 Bundesländer mit Ausnahme vom Saarland, Sachsen und Mecklenburg-Vorpommern. Das Projekt erfolgte in zwei Verbreitungswellen, die erste bis 2005 und die zweite bis 2007. Insgesamt wurde der Gedanke und die Erfahrungen aus dem SINUS-Projekt durch SINUS-Transfer an 1.743 Schulen übertragen. Den größten Anteil hatte dabei Nordrhein-Westfalen mit 437 Schulen und Bayern mit 416 Schulen.

Neue Lehrpläne erschienen 2009 in Thüringen mit der Einführung des Faches 'Mensch-Natur-Technik'. In Anbetracht der derzeitigen Lehrpläne wird offensichtlich, dass die weiteren Bundesländer sich an diesem orientieren und die Themen der beiden großen Projekte PING und FUN weitestgehend bestehen bleiben. Die Synopse aller naturwissenschaftlichen Rahmenpläne wird in Abschnitt 1.4.3 veranschaulicht. Große Defizite sind noch immer bei den Randbedingungen zu beobachten, da es bisher in Deutschland kaum spezifische Ausbildungs- oder Qualifizierungsmöglichkeiten für Lehrkräfte gibt. Jedoch entwickelten erste Bundesländer Studienmöglichkeiten für die Lehramtskandidaten. In Baden-Württemberg können die Studenten seit 2012 das Fach 'Natur und Technik' an den Universitäten studieren. Berlin bietet ebenso ein Studienfach 'Integrative Naturwissenschaften' an. Zu guter Letzt ist es möglich, seit dem Sommersemester 2016 an der Universität Jena 'Angewandte Naturwissenschaften' zu studieren. Die Lehrerfortbildungszentren für Chemie bieten ebenso erste Fortbildungsangebote zum Verbundfach an, bei denen die Lehrer zahlreiche Versuche und Materialien zur Vermittlung unterschiedlicher Themen erhalten können.

1.2.6 Zusammenfassung

Der Weg zum fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht dauert nun schon 50 Jahre. So langsam freundet sich die Bildungspolitik mit dem Gedanken des Verbundfaches an. Ein Blick auf die aktuelle Situation, welche im Kapitel 1.4 dargestellt wird, zeigt jedoch,

dass noch große Aufgaben vor ihnen liegen. Die Meraner Vorschläge und die Reformpädagogen haben den Grundstein für die Stärkung des naturwissenschaftlichen Unterrichts gelegt. Der Nationalsozialismus und der Zweite Weltkrieg machten die Bemühungen zunichte und die anschließenden Trennung Deutschlands durch die Besetzungsmächte machte es kaum möglich, einen einheitlichen Bildungsgedanken zu entwickeln. In der Bundesrepublik Deutschland wurde zudem sukzessive das Stundenkontingent der Naturwissenschaften gekürzt und mündete schlussendlich in der Mitte der 60er Jahre an seinem Tiefpunkt. Erst der wissenschaftliche Fortschritt der Sowjetunion entfachte ein erneutes Interesse an den Naturwissenschaften und deren Bedeutung für die Menschheit. Durch die Debatte um die Effizienz der Naturwissenschaften kam es zur Curriculumreform und in diesem Zusammenhang zur Gründung der Gesamtschulen, wo das neu entwickelte Verbundfach erprobt werden sollte.

Der fächerübergreifende naturwissenschaftliche Unterricht wurde jedoch erneut durch die Vertreter der Fachdisziplinen gehemmt. Nach weiteren 15 Jahren gelang es zwei Projektgruppen durch die schlechten PISA und TIMSS Ergebnisse,konzeptionelle Gedanken zum fächerübergreifenden Unterricht zu entwickeln und zu publizieren. Die Projekte PING und FUN fanden vor allem in den neu gegründeten Gesamtschulen Anwendung. Weiter entwickelt wurden die Projekte im Rahmen des BLK-Modells als SINUS Projekt. Die Ergebnisse der Evaluation 2003 und 2007 zeigen den Erfolg des Konzepts des fächerübergreifenden Unterrichts. Dennoch ist das Verbundfach noch nicht in allen Bundesländern im Schulcurriculum verankert und die Ausbildung der Lehrkräfte nicht gewährleistet. So stellt sich die Frage, welche Gründe es für die Einführung des Verbundfaches gibt und welche Aufgaben dieses verfolgt. Im Moment entscheidet jedes Bundesland individuell, in welcher Form naturwissenschaftlicher Unterricht erfolgt. Ein Großteil der Bundesländer hat sich für einen teilweise fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht entschieden und es wurden auch erste Rahmenpläne dazu konzipiert. Wie in nahezu allen Fachdisziplinen unterscheiden sich jedoch die Inhalte der Rahmenpläne.

1.3 Bedeutung des integrativen naturwissenschaftlichen Unterrichts

Das Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts ist es, den Lernenden eine naturwissenschaftliche Grundbildung zu vermitteln. Übernommen wurde diese Begrifflichkeit aus dem anglo-amerikanischen Raum, wo es als 'Scientific Literacy' betitelt wird. Das erste Mal wurde diese Nomenklatur von *James Bryant Cohen* 1952 genutzt [27, S.8]. Seither wurde der Begriff definiert und als Grundlage verwendet. Mitgewirkt bei der Definition hat maßgeblich der amerikanische Naturwissenschaftsdidaktiker *Roger Bybee*, der die naturwissenschaftliche Grundbildung unter dem Konzept 'Scientific Literacy for all' betrachtete. Nach seinem Ansatz hat jeder Mensch die Möglichkeit, Wissen, Verständnis und Fähigkeiten ein Leben lang auszubauen. Mit diesem Kerngedanken entwickelte er ein hierarchisches Modell, welches sich an unterschiedlichen Niveaus naturwissenschaftlichen Verständnisses orientiert und somit unterschiedliche Dimensionen beschreibt. Angefangen mit der Erfahrungsstufe aus dem Alltag, welche oftmals Fehlvorstellungen hervorruft, erwerben die Lernenden stufenweise naturwissenschaftliche Kenntnisse und erlangen so eine naturwissenschaftliche Grundbildung. Die Dimensionen sind wie folgt charakterisiert: [28, S.30]:

Nominale Scientific Literacy

- „Identifizieren Begriffe und Fragen als naturwissenschaftlich, die nominale Kenntnis birgt jedoch falsche Themen, Probleme, Informationen, Wissen oder Verständnis."
- „Falsche Vorstellungen von naturwissenschaftlichen Konzepten und Prozessen."

- „Unzureichende und unangemessene Erklärungen naturwissenschaftlicher Phänomene."
- „Aktuelle Äußerungen zur Naturwissenschaft sind naiv."

Funktionale Scientific Literacy
- „Verwendet naturwissenschaftliches Vokabular."
- „Definiert naturwissenschaftliche Begriffe korrekt."
- „Lernt technische Ausdrücke auswendig."

Konzeptionelle Scientific Literacy
- „Versteht Konzept der Naturwissenschaft."
- „Versteht prozedurales Wissen und Fertigkeiten in der Naturwissenschaft."
- „Versteht Beziehungen zwischen den einzelnen Teilen einer naturwissenschaftlichen Disziplin und konzeptioneller Struktur."
- „Versteht die grundlegenden Prinzipien und Prozesse der Naturwissenschaft."

Multidimensionale Scientific Literacy
- „Versteht die Besonderheit der Naturwissenschaft."
- „Unterscheidet Naturwissenschaft von anderen Disziplinen."
- „kennt Geschichte und Wesen der naturwissenschaftlichen Disziplinen."
- „Begreift Naturwissenschaft in einem sozialen Kontext."

In Anbetracht dieses Stufenmodells wird die Bedeutung für die heutigen Lehrpläne ersichtlich, da der Unterricht bei den Alltagsvorstellungen der Lernenden beginnt und schrittweise naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen erlernt werden müssen. Bei der Formulierung der allgemein gültigen Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss und die Oberstufe diente diese Ausführung von *Bybee* als Grundstock der Arbeit. *Bybee* kam zu der Überzeugung, dass Standards zu einer Verbesserung von naturwissenschaftlichen Unterricht führen, da sie eine leistungsstarke Zusammenstellung von Leitlinien formulieren. Er sah darin jedoch noch nicht das Ziel der Reform erreicht. Vielmehr forderte er den ständigen Dialog und Diskussion über die Standards, eine Verdeutlichung über deren Bedeutung, sowie deren Auswirkung auf die Unterrichtspraxis [28, S.32]. Auch heute entspricht der Begriff 'Scientfic Literacy' der Vorstellung einer allgemeinen naturwissenschaftlichen Grundbildung für alle, auf die ein Leben lang weiter aufgebaut werden kann. Bis auf wenige Ausnahmen findet aus diesem Grund diese Nomenklatur ihre Bedeutung auch in vielen Lehrplänen. Die OECD definiert sie als Fähigkeit [29, S.178]:

- „die charakteristischen Eigenschaften der Naturwissenschaften als eine Form menschlichen Wissens und Forschens zu verstehen,"
- „naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, um Fragestellungen zu erkennen, die sich naturwissenschaftlich bearbeiten lassen, sich neues Wissen anzueignen, naturwissenschaftliche Phänomene zu beschreiben und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen,"
- „zu erkennen und sich dessen bewusst zu sein, wie Naturwissenschaften und Technik unsere materielle, intellektuelle und kulturelle Umwelt formen,"
- „sich mit naturwissenschaftlichen Ideen und Themen zu beschäftigen und sich reflektierend mit ihnen auseinanderzusetzen. "

Die Orientierung für die Lehrkräfte zur Vermittlung der naturwissenschaftlichen Grundbildung stellen die Rahmenpläne der jeweiligen Klassenstufe und Schulart und die formulierten Bildungsstandards dar. Die naturwissenschaftliche Grundbildung baut sich aus drei Säulen

auf, den zu erwerbenden Kompetenzen, den sinnstiftenden Kontexten und dem Fachwissen. Alle drei finden sich in den Rahmenplänen ausführlich formuliert und je nach Schulart und Klassenstufe differenziert wieder. Diese Säulen werden im Unterricht anhand von Themenschwerpunkten geschult und sollen die Lernenden auf das weitere Leben vorbereiten. Die Lehrpläne verfolgen das Ziel, den Lehrpersonen zu helfen kompetenzorientierte Lernumgebungen zu schaffen. Alle Lehrpläne für den integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht gliedern ihre Schwerpunkte nach Themenfeldern oder Modulen. Der naturwissenschaftliche Unterricht folgt dabei beispielsweise in Mecklenburg Vorpommern folgenden Leitzielen:

- „Was bedeutet das Objekt für mich?“
- „Was ist die Natur des Objekts, welche Eigenschaften hat es?“
- „Was bewirkt das Objekt im Kreislauf der Natur und wie wird es dabei verändert? “
- „Welche Qualität hat das Objekt für uns und wie sollte die Qualität sein? “
- „Wie kann ich menschengerecht und naturverträglich mit dem Objekt umgehen? “

Ausführlich werden die allgemein zu erwerbenden Ziele in den Kompetenzbereichen formuliert. Zusammenfassend kann geschlussfolgert werden, dass der integrative naturwissenschaftliche Unterricht das Fachwissen und die erworbenen Kompetenzen aus der Grundschule aufgreift und darauf aufbauend vertieft und die Grundlage schafft für den weiterführenden Unterricht im Fächerkanon. Diese Unterrichtsform erfüllt somit eine Brückenfunktion vom Sach- zum Fachunterricht.

Die historische Entwicklung zeigt, dass die naturwissenschaftlichen Kompetenzen lange Zeit separat im jeweiligen Fachunterricht vermitteln wurden. Seit den 70er Jahren und den Blick auf den naturwissenschaftlichen Unterricht in den Vereinigen Staaten, Großbritannien, Norwegen und den Niederlanden, die allesamt ein integriertes Fach 'Science' unterrichten, gibt es auch in Deutschland Fürsprecher eines fächerübergreifenden Faches. Dem gegenüber stehen die vehementen Gegner der Reform. Auch heute noch, fast 50 Jahre nach dem IPN-Symposium wird der Nutzen und die Sinnhaftigkeit des integrative Unterricht in Frage gestellt. Demzufolge ist es ratsam die Argumente der Gegner und Befürworter zu beleuchten. Zunächst erfolgt die Sichtweise der Kritiker, die sich gegen den integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht aussprechen.

1.3.1 Ängste und Grenzen des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht

Beim IPN-Symposium in Kiel 1973 vermerkte *Walter Jung* 'Grenzen der Integration der Naturwissenschaften im Bereich der disziplinspezifischen Methoden und Theorien'. Er formuliert die Schwierigkeit darin, in einem Fächerverbund disziplinübergreifend zu unterrichten. Als eine zentrale These sieht er, dass die Lernenden allgemeine Ziele nicht erreichen, in dem sie direkt darauf hingeführt werden, sondern durch das Vermitteln spezieller Ansatzpunkte und diese anschließend konkretisieren. Er bezeichnet es als fragwürdig und nicht aussichtsreich die einzelnen Disziplinen zu überspringen, wenn anschließend die Einzeldisziplinen zur Lösung des Problems wieder vertieft werden müssen. Seinen Standpunkt nach kann nur die Arbeit in Disziplinen die Bildungspotenz der Wissenschaft ausschöpfen [30].

Der Physikdidaktiker *Wilfried Kuhn* stellt 1997 in einem Artikel mit dem Titel 'Lernbereich Naturwissenschaften - ein Trojanisches Pferd' in der Zeitschrift 'Praxis der Naturwissenschaften - Physik' seine Sichtweise dar und führt seine Argumente auf. Er gibt zu bedenken, dass die Fachdisziplinen in Misskredit geraten und naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsmethoden in den Hintergrund gelangen. Durch die Betrachtung von einzelnen Phänomenen, ohne diese weiter zu hinterfragen, erschließen sich die Lernenden wissenschaftliche

Lösungsstrategien. In seinen Augen wird so keine Wissenschaft betrieben, sondern es ist ein reines 'Herumhantieren'. Bei einem phänomenorientierten, naturwissenschaftlichen Unterricht steht die Durchführung des Experimentes im Vordergrund und nicht das Fachwissen und die Methodik. Dieser Ansatz dient der Motivationssteigerung zu Beginn, aber die reine Beobachtung der Phänomene führt seiner Meinung nach auf langer Sicht zu Langeweile. Nach seinem Ermessen fordert der Erwerb naturwissenschaftlicher Kenntnisse harte, intellektuelle Anstrengung. Er unterstützt Projektunterricht, nachdem im Fachunterricht die Grundlagen geschaffen wurden. Begründungen findet er in der spezifischen Arbeitsweise der unterschiedlichen Fachdisziplinen und das jedes Fach für sich über abstrakte Begriffe verfügt. Das Zusammenspiel der Fächer kann zu Verwirrung der Fachsystematik führen, da vernetztes Lernen erst erlernt werden muss. Bevor dies erreicht werden kann, muss ein solides Fachwissen in den Einzelfächern erlangt werden. Er sieht die Gefahr, dass bildungswillige und fähige Schüler im integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht ihr Interesse verlieren. Des Weiteren führt er aus, dass der Unterricht einem Bildungsauftrag verpflichtet ist und sich nicht an wechselnden Schülerinteressen orientieren kann. Als größte Gefahr bemängelt er die Absenkung der Stundentafel für naturwissenschaftliche Fächer und damit das Risiko, die Naturwissenschaften durch den integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht in einen Dilettantismus zu führen [31].

In seiner Dissertation zum Thema 'Rahmenbedingungen naturwissenschaftlichen Lernens' fasst *Frank Sprütten* die Argumente der Kritiker des fächerintegrierten, naturwissenschaftlichen Unterrichts übersichtlich zusammen. Ursprünglich abstammend entwickelte sich der fächerintegrierte Unterricht aus den angelsächsischen Ländern. *Sprütten* führt an, dass es sich in diesen Ländern um eine äußere Integration handelt, da vereinzelte Themen in der Regel fachspezifisch behandelt werden und somit die Eigenständigkeit der Fächer erhalten bleibt. Als weiteres Argument wird ausgeführt, dass der Unterricht eines integrativen Faches im Bezug zu Problemstellungen komplexer ist, da verschiedene Sichtweisen untersucht werden müssen. Somit werden einige Themen hauptsächlich exemplarisch behandelt, weshalb vorher eine gezielte Auswahl von Fragestellungen erarbeitet werden muss. Das Unterrichten des integrierten Faches Naturwissenschaften erfordert von den Lehrkräften Kompetenzen in den drei Naturwissenschaften. *Sprütten* führt 2007 auf, dass diese in der Lehrerbildung noch nicht gegeben sind. Die meisten unterrichtenden Lehrkräfte verfügen über eine Ausbildung in einer oder zwei Naturwissenschaften. Sowohl die universitäre Ausbildung als auch das anschließende Referendariat vermitteln den angehenden Lehrern nicht die notwendigen Kenntnisse für den Fächerverbund. Wie schon im Kapitel 1.2 aufgeführt, ist dieses Argument zur Zeit im Wandel und die ersten Universitäten haben das Studienfach 'Naturwissenschaften' eingeführt und somit die Möglichkeit geschaffen, dieses Argument zu entkräftigen. Abschließend wird die Absenkung der Gesamtstundenzahl für die Naturwissenschaften aufgegriffen. Die Zusammenlegung der Fächer zu dem Verbundfach hat in Deutschland zu einer Kürzung der Stunden geführt, sodass nicht von einer Stärkung der Naturwissenschaften gesprochen werden kann [32, S.100-101].

Jürgens und Schieber veröffentlichen im Jahr 2001 ihren Erfahrungsbericht der Befragung zur Beliebtheit eines intergrierten Faches Naturwissenschaften in der Zeitschrift Mathematisch-Naturwissenschaftlicher Unterricht (MNU), in dem sie ausführen, dass sich das integrierte Fach Naturwissenschaften in den Klassen bis zur Jahrgangsstufe 7 bewährt hat. Ab der Klassenstufe 8 bemängeln sie vor allem die fachlichen Strukturierungen der Lerninhalte. Die beiden Autoren heben hierbei folgende Punkte hervor [33] :

- „Wenig fachlicher Tiefgang“
- „Phänomene werden nicht in der Form verstanden, dass sie mit Gesetzmäßigkeiten in Bezug gebracht werden.“

- „Die Fachdimensionen erscheinen feuilletonistisch und episodenhaft. “
- „Es fehlen systematische Bezüge, Schüler neigen daher zum Vergessen. “
- „Häufig werden fachlich fragwürdige Inhalte behandelt. “
- „Lernstarke Schüler können unterfordert werden.“
- „Haupt- und Realschüler stoßen in Bewerbungstests bei fachwissenschaftlichen Fragen auf Schwierigkeiten.“

Die beiden Autoren führen des Weiteren aus, dass sich die Lehrkräfte unbehanglich fühlen. Gerade der Umgang mit chemischen und physikalischen Aspekten stellt Schwierigkeiten in der Umsetzung dar. Die Lehrkräfte fühlen sich unsicher bei der Durchführung der Experimente und dem Umgang mit Chemikalien. Außerdem wird die Unbeweglichkeit und die Schwierigkeit der Schwerpunktsetzung kritisiert. Zu guter Letzt neigen die Fachlehrer eher dazu ihr erlerntes Unterrichtsfach hervorzuheben und in diesem den Schwerpunkt zu setzen. Ebenso sind sie nicht zureichend motiviert die weiteren naturwissenschaftlichen Aspekte zu unterrichten [33].

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft veröffentlichte 2010 ebenfalls ein Positionspapier mit der Überschrift 'Integrierter Unterricht Naturwissenschaften'. In diesem sprechen sie sich für einen integrativen Unterricht in der 5. und 6. Klassenstufe aus, für den weiterführenden Unterricht formulieren sie sieben Mindestanforderungen [34].

- „1. Für jede der fachwissenschaftlichen Disziplinen darf nicht weniger Unterrichtszeit zur Verfügung stehen als in fächerdifferenzierten Stundentafeln üblich.“
- „2. Der naturwissenschaftlichen Unterricht muss durch die fachspezifischen Kompetenz der Lehrkräfte getragen werden. “
- „3. Auch in einem integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht ist es unabdingbar, dass die Ordnungsstruktur der einzelnen Fächer klar erkennbar bleibt.“
- „4. Die Einhaltung der formulierten Bildungsstandards der Einzeldisziplinen müssen gewährleistet sein.“
- „5. Das Lehramtsstudium im Fach Physik behält uneingeschränkt Bedeutung und Gültigkeit.“
- „6. Der Einführung eines Faches 'Naturwissenschaften' müssen umfassende Maßnahmen in der Lehrerausbildung und Lehrerfortbildung vorangehen.“
- „7. Die Einführung eines Faches 'Naturwissenschaft' darf keinesfalls durch das Ziel motiviert sein, den Lehrermangel in einem der beteiligten Fächer zu kaschieren. “

Die Stellungsnahmen zeigen, dass einige Autoren nicht grundsätzlich gegen den integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht sind - gerade in der Grundschule und der Orientierungsstufe. Sie befürworten jedoch Bedingungen oder Anforderungen für die integrativen Naturwissenschaften aus und sprechen sich hauptsächlich für den getrennten Fachunterricht ab der achten Klasse aus. Viele weitere Autoren finden ebenfalls Begründungen für den integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht, welche im folgenden ausgeführt werden.

1.3.2 Möglichkeiten und Gründe des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht

Die Alltagssprache und -vorstellungen stimmen oftmals nicht mit der Wissenschaftssprache über ein. Als Beispiele sei hier genannt, dass Stoffe bei Verbrennungen verschwinden, oder dass wir Energie sparen, wenn wir Licht ausmachen. Ähnliches trifft auch für die Wissenschaftssprache innerhalb der drei Naturwissenschaften zu. Auf einer Tagung zum Thema 'Standards in den naturwissenschaftlichen Fächern' diskutierten Vertreter der Universitäten, Schulen und Wirtschaft die Umsetzung des naturwissenschaftlichen Unterrichts.

In einer abschließenden Erklärung der MNU wurden 2004 die Ergebnisse unter dem Titel 'Naturwissenschaften besser verstehen, Lernhindernisse vermeiden' veröffentlicht. In diesem Artikel steigen sie mit einer Kurzgeschichte ein, die exemplarisch die Problemsituation darstellt [35, S.4].

„Die Schüler der Klasse 9 werden im Physikunterricht gebeten den Begriff Energie zu erläutern: 'Energie gewinnt man beim Essen und verbraucht sie beim Sport.' Hierauf antwortet der Physiklehrer: 'Das habt ihr sicherlich so im Biologieunterricht gelernt, in Physik werdet ihr es dagegen richtig lernen, dass man nämlich Energie weder gewinnen noch verbrauchen kann!' Im Chemieunterricht hören die Schüler am Beispiel des Sauerstoffs, dass es Stoffe gibt, die sich aus Molekülen zusammensetzen. 'Aber in der Physikarbeit war die Antwort 'Alle Stoffe sind aus Atomen aufgebaut' richtig', merkt ein Schüler an. In der Biologiestunde versucht ein Schüler bei der Einführung des Begriffes Ökosystem Parallelen zum Chemieunterricht zu finden, in dem das Periodensystem behandelt wurde: 'Was ist denn nun eigentlich systematisch in einem Ökosystem?' "

Die verschiedene Verwendung und Bedeutung der Begrifflichkeiten führt zunehmend zu Verwirrungen bei den Lernenden und es erfordert von ihnen ein große Anstrengung umzulernen oder auch ein Fach zu verstehen, in dem die Begrifflichkeiten eine abweichende Bedeutung zu geschrieben bekommen. Das Ziel der Naturwissenschaften ist es den Lernenden zu ermöglichen, die naturwissenschaftlichen Phänomene der Welt zu erkennen und zu zeigen, wie die Naturwissenschaften die Welt erklären. Dabei sollen sich die drei Naturwissenschaften ergänzen und die unterschiedlichen Blickwinkel verdeutlichen. Schwierig wird es dies zu bestärken, wenn sie sich gegenseitig widersprechen. Die Aufgabe der naturwissenschaftlichen Bildung ist es, alle Perspektiven zu beleuchten und durch den integrativen Unterricht das gemeinsame Lernen aus allen Sichtweisen zu prädestinieren und somit die Perspektiven der einzelnen Fachwissenschaften zu stärken und nicht durch Begriffsverwirrungen zu behindern [8, S.64]. Die Abb. 1.6 zeigt die Verknüpfung der Naturwissenschaften. Je drei große Kreise stehen für die drei Naturwissenschaften, die sich in der Mitte alle drei überschneiden. Diese Überschneidung zeigt, dass Themenschwerpunkte von allen Naturwissenschaften gleichermaßen beleuchtet werden können. Ebenso wird deutlich, dass Überlappungen von jeweils zwei Naturwissenschaften existieren und das vereinzelte Themen nur durch separate Lerninhalte des Faches verdeutlicht werden können.

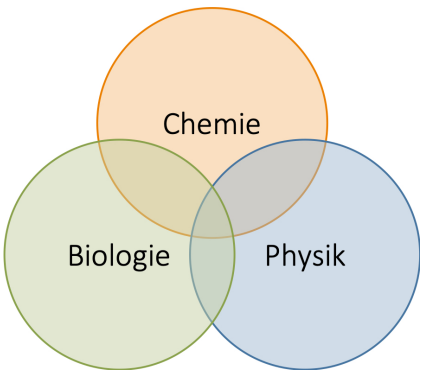


Abb. 1.6: Darstellung der Überschneidungsmöglichkeiten der Naturwissenschaften

Im Zusammenhang mit dem IPN Symposium spricht Gerda Freise 1973 eben diese Problematik der Bedeutung der Begrifflichkeiten an. Sie bemängelt, dass durch die starren Fachdisziplinen die Lernenden keine zureichende Kompetenz entwickeln können naturwissenschaftliche Fragestellungen zu beantworten. Sie argumentiert, dass die Schulfächer trotz gleichem Namen keine Abbilder ihrer Universitätsdizsiplinen werden dürfen. Sie bestärkt dies mit dem Argument, dass die Lernenden zwar fachwissenschaftlich richtig antworten können,

sie aber in ihrem weiteren Leben keinen Nutzen von den Satz- oder Formelmuster haben. Sie merkt an, dass die Lernenden keine sinnstiftenden Argumente für ihre Berufswahl aufführen können, gerade nicht im naturwissenschaftlichen oder technischen Bereich. Darin sieht sie mit einen der Gründe, weshalb sich so wenig Lernende für einen weiteren naturwissenschaftlichen Ausbildungsweg entscheiden. Sie bestärkt die Integration der Naturwissenschaften um eben dieser Problematik zu begegnen und argumentiert somit gegen die Ausführungen von *Jung*. Außerdem die Chance, im gemeinschaftlichen naturwissenschaftlichen Unterricht ein allgemeines Verständnis für die Naturwissenschaften zu legen. [36].

Im selben Zusammenhang nimmt auch *Stefan von Aufschnaiter* Stellung zu der Problematik. Er argumentiert ähnlich wie schon *Gerda Freise* und bestärkt ihre Position. Er verdeutlicht, dass das Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts nicht das Produzieren neuer wissenschaftlichen Erkenntnisse sei. Ebenso wenig ist es die Aufgabe der allgemeinbildenen Schule Schüler auszubilden zum Produzieren neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse. Bei der Integration der drei Naturwissenschaften unter einem Fächerverbund dürfen nicht die Erkenntnisbestände der Einzeldizsiplinen zusammen geschüttet und daraus ein naturwissenschaftlicher Verschnitt erlangt werden [37].

Zwei weitere Autoren des IPN-Symposiums seien noch genannt. Zum ersten *Horst Diehl*, der noch einen Schritt weiter geht. Er betrachtet die Thematik aus der Sicht der Universitäten und stellt in Frage, dass in den Schulen die Lernenden auf die universitäre Ausbildung vorbereitet werden müssen. In seinen Augen ist es nicht notwendig den Lernenden fachspezifische Kompetenzen zu vermitteln, sondern viel mehr fachunspezifische Kenntnisse und Prinzipien, die ihnen helfen, Phänomene zu erklären und einzuordnen. Die Universitäten übernehmen im Anschluss die berufsbildende Aufgabe und betreiben 'Wissenschaftspropädeutik' [38, S.406 ff.]. *Günther Petersen* schlussfolgert, dass die fachzentrierte Strukturidee dazu führt, dass es keinen Unterschied mehr gibt zwischen Wissenschaft und Schulfach. Die Bildungsidee der Schulfächer gibt jedoch vor, kein Resultat der Fachwissenschaft zu sein. Dieser Kerngedanke legitimiert die Fachdidaktiker, die Konzepte und Schulbücher für die Fächer erarbeiten. Ebenso resümiert Petersen, dass die Schüler die Fähigkeit zum Transfer durch die isoliert gewonnenen Erfahrungen des Faches verlieren [39, S.135 ff.].

Der Chemiedidaktiker Professor *Volker Woest* an der Universität Jena widmet sich mit seinem Arbeitskreis sehr intensiv dem Thema des integrativen naturwissenschaftlichen Unterrichts und veröffentlichte 1997 das Buch 'Den Chemieunterricht neu denken'. In diesem Werk greift er die Problematik auf, dass Alltagssituationen beziehungsweise -problemstellungen losgelöst von der Fachsystematik betrachtet werden müssen. Damit orientiert auch er sich an dem Konstruktivismus und verfolgt den Ansatz, dass dort begonnen werden muss, was die Lernenden wundert und sie somit zu denken beginnen. Piaget nennt dies, die Lernenden in ein geistiges Ungleichgewicht zu versetzen. Betrachtet der Unterricht solche Konflikte aus dem Alltag, werden unterschiedliche Sichtweisen berücksichtigt. Dies impliziert die Notwendigkeit die „künstlichen Grenzen der isolierten Fächer“zu verlassen. Die ganzheitliche Betrachtung kann nicht mit fachwissenschaftlichen Erklärungen gefunden werden, sondern erfolgt vor allem bei fächerübergreifender Anschauung. Das Zurückgreifen auf alltagsorientierte Lerninhalte bietet zusätzlich das Potenzial die Lernenden zu motivieren [40].

Angetrieben wurde die Disskusion um den Fachunterricht durch die PISA- und TIMSS-Studienergebnisse, die belegten, dass die deutschen Schüler deutliche Schwächen in den Naturwissenschaften und Mathematik aufweisen. Insbesondere wurde die ungenügende Leistung beim Anwenden und Übertragen von naturwissenschaftlichen Kenntnissen auf neue Situationen und der Anwendungsbezug des systematischen Wissens bemängelt. Das vorherrschende fragend-entwickelnde Unterrichtsverfahren wird als eine Ursache des schlechten Abschneidens genannt. Peter Labbude hebt in seinem Artikel 'fächerübergreifender Unter-

richt in und mit Physik: Eine zu wenig genutzte Chance' hervor, dass im Fachunterricht die Fachstruktur nicht der Lernstruktur entspricht. Er orientiert sich am konstruktivistischen Lernprinzip, welches der Annahme folgt, dass Lernen nur im relevanten Kontext gelingen kann. Um einen Lernerfolg zu ermöglichen, sollten die Inhalte möglichst lebens- und berufsnah sein. Diese Anforderungen an den Unterricht sieht er am besten umgesetzt im fächerübergreifenden Unterricht [3]. Desweiteren erkennt er im fächerübergreifenden Unterricht die Möglichkeit die Genderproblematik zu lösen. Bisherige Studien belegten, dass gerade die Mädchen weniger Interesse an Naturwissenschaften zeigten als die Jungen. Im intergrativen naturwissenschaftlichen Unterricht werden alle Lernenden gleichermaßen motiviert und gefördert. Studien belegten, dass die Unbeliebtheit der Naturwisenschaften und die geringe Selbsteinschätzung sanken [3].

In Rheinland-Pfalz wurden nach dem BLK-Modelversuch die Ergebnisse evaluiert. Diese bestätigen die Argumente von *Labbude*, da die Lernenden mit dem Fach Naturwissenschaften ein positiveres Selbstkonzept aufgewiesen haben als ihre Mitschüler, die im Fächerkanon unterrichtet wurden. Auch die Abweichung zwischen den Jungen und Mädchen ist kleiner, sodass auch mehr Mädchen für die Naturwissenschaften Interesse zeigen. Die Gründe dafür sind benannt in förderlicheren Unterrichtsklima und größerem Fachinteresse, als für die reine Physik oder Chemie. Durch die anwendungsorientierten Themen ist das Interesse der Mädchen stärker gebunden, da sie so gewählt werden können, dass sie an den Erfahrungskontexten der Mädchen anknüpfen [41, S. 7].

Im Jahr 2006 veröffentlicht die Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte e.V. (GDNÄ) eine Stellungsnahme zum integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht in der Jahrgangstufe 5/6. Unterstützt wurde die GDNÄ von der Gesellschaft Deutscher Chemiker. (GDCh), der Deutsche Physikalische Gesellschaft (GPG) und dem Verbund biowissenschaftlicher und biomedizinischer Gesellschaften (vbbm). Die Organisationen unterstützen den integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht unter Berücksichtigung folgender Bedingungen [42]:

- „Der 'integrative naturwissenschaftliche Unterricht' ist die naturwissenschaftliche Grundbildung in allen naturwissenschaftlichen Bereichen, auf die in den Folgejahren konstruktiv aufgebaut werden kann."
- „Ausgehend von den Ergebnissen des Sachunterrichts und bewusst an diese anschließend, stellt der 'integrative naturwissenschaftliche Unterricht' den Übergang zum Fachunterricht her. Der Unterricht insgesamt, insbesondere auch Experimente beziehungsweise Projekte, sind so anzulegen, dass physikalische, chemische und biologische Aspekte gleichgewichtig und miteinander verknüpft eine Rolle spielen."
- „Neben dem Beobachten gewinnen bewusstes Experimentieren und quantitative Aspekte, insbesondere das Messen, zunehmend an Bedeutung."
- „Im Mittelpunkt des 'integrativen naturwissenschaftlichen Unterrichts' steht die Behandlung von Phänomenen, insbesondere solcher aus dem Alltag der Schülerinnen und Schüler, wobei dem Verständnis der Jahrgangsstufe angemessen erste theoretische Hintergründe aufzuzeigen sind. Schüler und Schülerinnen sollen erkennen, dass Alltagserfahrungen auch zu Fehlschlüssen führen können, die erst durch naturwissenschaftliche Erkenntnisse aufgedeckt und beseitigt werden."
- „Naturwissenschaftliche Aspekte des Geographieunterrichts, die für die Allgemeinbildung Bedeutung haben, sind in den 'integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht' einzubeziehen."
- „Im 'integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht' sind besonders solche Fähigkeiten auszubilden und zu üben, die für alle Naturwissenschaften maßgebend sind. In Ansätzen ist aber bereits die Ausdifferenzierung vorzunehmen, die auf den Fachun-

terricht hinweist."

- „Lehrerinnen und Lehrer müssen in Lehrerbildung und Lehrerfortbildung auf diesen Unterricht intensiv und qualifiziert vorbereitet werden. 'Integrativer naturwissenschaftlicher Unterricht' verlangt integrativ ausgebildete Lehrkräfte. Die bisherige fachspezifische Ausbildung reicht dafür nicht aus. "
- „Ab Jahrgangsstufe 7 muss ein nach Fächern gegliederter 'fachübergreifender Fachunterricht' stattfinden. Dabei ist ein angemessener Anteil an der Stundentafel (ein Drittel für Mathematik und Naturwissenschaften zusammen) einzufordern, der der Bedeutung der Naturwissenschaften für die Allgemeinbildung gerecht wird."

Bereits ein Jahr vor dieser Stellungsnahme veröffentliche die Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh eine Empfehlung für einen durchgängigen naturwissenschaftlichen Unterricht von der Grundschule bis zum Fachunterricht der weiterführenden Schulen. Die Autoren sehen in dem integrativen naturwissenschaftlichen Unterrichtfach einen Faktor zur Stärkung der naturwissenschaftlichen Bildung. Als Argumentation wird aufgeführt, dass das naturwissenschaftliche Potenzial der Lernenden nicht gänzlich genutzt wird [25]. Diese Argumente finden ihre Legitimation in den Ergebnissen der PISA-Studie 2006 und der Internationale Grundschul-Lese-Untersuchung (IGLU)-Studie 2003. In der Grundschule erlangten die Lernenden noch die Kompetenzstufe 5, während drei Jahre später bei PISA die Lernenden nur noch die Kompetenzstufe 3 erreichten. Die GDCh sieht die Ursache für den Verlust an naturwissenschaftlicher Kompetenz im Versäumnis eines durchgängigen naturwissenschaftlichen Unterricht von der Grundschule bis zum Fachunterricht an den weiterführenden Schulen.

Der Erziehungswissenschaftler Manfred Prenzel untersuchte ebenso die Studientestergebnisse und kam zu der Schlussfolgerung, dass die Grundschulkinder sehr gut in der Lage waren naturwissenschaftlich zu denken, beziehungsweise naturwissenschaftliche Sachverhalte zu erkennen. Demzufolge ist das naturwissenschaftliche Potenzial nach der Grundschule gegeben, dieses muss genutzt und weiter geführt werden [8, S. 71].

1.3.3 Zusammenfassung

Die Naturwissenschaften werden in der schulischen Ausbildung weitestgehend anerkannt und haben ihre Berechtigung in dem Stundenkanon. Wie diese Ausbildung organisiert ist, weicht in den jeweiligen Bundesländern jedoch voneinander ab. In den letzten Jahren haben sich immer wieder Organisationen, Didaktiker, aber auch Industrie und Forschung für die naturwissenschaftliche Grundbildung eingesetzt und mittels schulischer und außerschulischer Lernangebote versucht Einfluss zu nehmen.

Dieser Einsatz ist auch in der Befürchtung begründet, dass die Schulen ihrem Bildungsauftrag der naturwissenschaftlichen Grundbildung nicht mehr gerecht werden. Nach wie vor dominiert an den weiterführenden Schulen der traditionelle Fachunterricht. Einzig die Gesamtschulen unterrichten in nahezu allen Bundesländern das Verbundfach. Den Bemühungen der Reformpädagogen und der Reformbewegung der 70er Jahre zum Trotz beginnt erst jetzt ein bildungspolitisches Umdenken in Richtung eines integrativen naturwissenschaftlichen Faches. Begründet werden kann dieses Zögern durch die Gegenargumente und Vorbehalte. Die Kritiker befürchten, dass mit der Einführung eines integrativen naturwissenschaftlichen Faches das naturwissenschaftliche Stundenkontingent verkürzt wird und die Naturwissenschaften ihren Stellenwert für die Schule und Industrie verlieren. Außerdem wird argumentiert, dass ein Fächerverbund den Teildisziplinen nicht gerecht werden kann und dass ein integriertes Arbeiten ohne fachliches Wissen nicht möglich ist. Das Beobachten an Phänomenen wird geschult, das Reflektieren bleibt jedoch aus. Als weiteres Argument führen sie auf, dass die Lehre eines Verbundfaches weder in der universitären Ausbildung noch im Referendariat erfolgt. Somit unterrichten zwangsläufig fachfremde Lehrkräfte das

Verbundfach.

Dieses Argument ist gerechtfertigt, doch durch die Schaffung des Studienganges 'integrierte Naturwissenschaft' wird dieses Argument entkräftet. Ebenso existieren auf den Seiten der Fortbildungszentren für Chemie Fortbildungsangebote für fächerübergreifende Themen. Die weiteren Argumente können teilweise durch die Befunde der Schulpraxis aus zahlreicher Länder widerlegt werden. Der Fächerverbund ermöglicht es einen frühzeitigen Einstieg in die Naturwissenschaften zu gestalten und die kindliche Motivation von der Grundschule an die weiterführenden Schulen mitzunehmen. Das Interesse an den Naturwissenschaften kann weiter geweckt und gestärkt werden. Durch die Brücke, die das Fach Naturwissenschaften baut, wird der Übergang vom Sach- zum Fachunterricht erleichtert. Ebenso hebt das integrative Fach das Schubladendenken auf und ermöglicht einen ganzheitlichen Blick auf die naturwissenschaftlichen Phänomene. Anschließend kann im weiterführenden Unterricht der Fachunterricht einsetzen und die bereits betrachteten Phänomene unter dem speziellen Gesichtspunkt vertiefen. Der Fächerverbund beugt somit den Schwierigkeiten der Begrifflichkeit vor und konzentriert sich auf die Vermittlung wichtiger naturwissenschaftlicher Konflikten aus dem Alltag der Lernenden.

Ebenso sprechen sich seit 2000 zahlreiche Verbände, wie zum Beispiel die GDCh oder die GDNÄ, für einen integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht aus, der sich in den BLK-Modellversuchen erfolgreich dargestellt hat. Die Autorin betrachtet es als sinnvoll und notwendig, ausgebildete Fachkräfte für dieses Unterrichtsfach einzusetzen. Ein fachfremdes Unterrichten führt in ihren Augen zu Überforderung und somit Abneigung die thematischen Schwerpunkte zu unterrichten. Ebenso wird der Kernpunkt des integrativen Unterrichts in den Klassenstufen 5 und 6 gesehen. Mit steigender Klassenstufe ist die Empfehlung der Autorin den Fachunterricht anzuschließen, um vertiefende, chemische oder biologische oder physikalische Inhalte zu vermitteln.

1.4 Status Quo des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts

Der fächerintegrierte Unterricht in der fünften und sechsten Klassenstufe verbindet den Sachkundeunterricht mit dem Fachunterricht. Hier werden die Inhalte der Grundschule aufgegriffen und weiter vertieft. Der weiterführte Unterricht verfestigt die Inhalte anschließend und differenziert das Fach in seine Einzeldisziplinen. Dies ermöglicht, dass biologische, chemische und physikalische Themen durchgehend unterrichtet werden. Für dieses Ziel, müssen die Aspekte auf den unterschiedlichen Anforderungsniveaus unterrichtet werden. Um zu erkennen, an welche Inhalte angeknüpft wird, erfolgt eine Analyse der Lehrpläne der Grundschule. Ebenso stellt sich die Frage, welche Grundlagen für den weiterführenden Chemieunterricht gelegt werden müssen. Aus diesem Grund erfolgt nun die Synopse der Sachkundelehrpläne und die der Chemiefachpläne. Zu guter Letzt wird die Analyse der Lehrpläne der integrativen Naturwissenschaften beschrieben.

1.4.1 Inhaltliche Kontexte im Sachkunde Unterricht

Der integrierte naturwissenschaftliche Unterricht in der Orientierungststufe knüpft an den Sachkundeunterricht der Grundschule an. Daraus impliziert sich die Notwendigkeit, die Rahmenpläne der Grundschule genauer zu beleuchten. Das Ziel ist es, die Lernenden dort abzuholen, wo sie gerade stehen und alle auf einen Stand zu bringen. Ein Blick in die Lehrpläne der Grundschule macht ersichtlich, dass alle sechzehn Bundesländer einen Schwerpunkt mit naturwissenschaftlichen Inhalten aufweisen. Die Benennung des Moduls unterscheidet sich zwar, außer in Berlin, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern, aber die chemisch-biologischen-physikalischen Inhalte decken sich nahezu. In der Tab. 1.6 sind alle Bundesländ-

der mit ihren zugehörigen naturwissenschaftlichen Modulen aufgeführt. Außerdem werden ihre chemischen Inhalte aufgeschlüsselt. Dies ermöglicht eine bessere Übersicht, woran der integrative naturwissenschaftliche Unterricht anschließt, welche Themen vertieft und welche neu einführt werden. Die Rahmenlehrplananalyse erfolgte am Stand von 2016 und beinhaltet folgende Lehrpläne [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52], [53], [54], [55], [56], [57], [58]

Bundesland	Modul	Inhalte
BW	Natur macht neugierig	Wasser, Feuer, Wetter, Luft, Wärme, Verbrennungen
BA	Natur und Umwelt	Wasser, Wetter, Luft, Stoffe, Energie
B	Naturphänomene	Wasser, Feuer, Wetter,
BB	Naturphänomene	Wasser, Feuer, Wetter,
HB	Natur	Wasser, Feuer, Wetter, Luft, Licht, Boden
HH	Unsere Erde	Stoffe, Energie, Klima
HE	Naturphänomene & Wasser	Stoffe und ihre Eigenschaften, Wasser
MV	Naturphänomene	Wasser, Feuer, Wetter,
NS	Natur	Wasser, Feuer, Wetter, Luft, Verbrennungen, Stoffe, Licht
NRW	Natur und Leben	Feuer, Wetter, Luft, Licht, Wärme, Stoffe & Umwandlung
RP	Perspektive Natur	Feuer, Verbrennung, Wetter, Licht, Stoffe
SR	Unbelebte Natur und Technik	Wasser, Feuer, Wetter, Luft, Verbrennung, Energie
S	Begegnung mit der unbelebten Natur	Wasser, Wetter, Licht, Luft
SA	Naturwissenschaftlicher Bereich	Wasser, Feuer, Wetter, Luft, Boden
SH	Natur und Umwelt	Wasser, Feuer, Luft, Erde, Stoffe, Licht
TH	Natur und Technik	Wasser, Wetter, Luft, Stoffe

Tab. 1.6: Themenschwerpunkte in den Rahmenplänen der Bundesländer

Die Module der Bundesländer zum Thema Natur weisen oftmals auch physikalische Themen auf, unter anderen Magnetismus, Schall oder Akustik. Für diese Arbeit sind jedoch vorwiegend die chemischen Inhalte relevant, weshalb auf ihnen das Augenmerk liegt. Deutlich zu erkennen ist, dass sich alle Bundesländer mit chemischen Aspekten beschäftigen. Alle chemischen Schwerpunkte werden im Sachkundeunterricht unter dem Gesichtspunkt der 'Natur' beleuchtet, egal ob unter Naturphänomene, Natur und Technik oder naturwissenschaftlicher Bereich. Neben diesem Modul weisen die Lehrpläne außerdem biologische Module auf, wie zum Beispiel Körper und Gesundheit, Mensch und Gemeinschaft, oder Individuum und Gesellschaft. Neben naturwissenschaftlichen Themen werden auch Schwerpunkte zum Thema Technik, Medien, Räume sowie Zeit und Geschichte verbindlich vermerkt. Durch die große Varianz der Lehrpläne werden unterschiedliche chemische Schwerpunkte gesetzt. Auffällig ist, dass das Thema Wetter, was auch geografische Aspekte hat, bei nahezu allen Bundesländern verpflichtend unterrichtet wird. Die Tab. 1.7 zeigt die Synopse der sechzehn Bundesländer mit ihren chemischen Schwerpunkten.

Deutlich zu erkennen ist, dass die Anzahl an chemischen Inhalten zwischen den Bundesländern variiert. So sind in Schleswig-Holstein alle sieben Themen im Lehrplan fest verankert, während in Mecklenburg-Vorpommern, Berlin, Brandenburg und Hamburg nur drei Themen als verbindlich betrachtet werden. Das Schlusslicht stellt Hessen dar, hier werden nur zwei chemische Schwerpunkte nämlich Stoffe und ihre Eigenschaften sowie der Themenkomplex Wasser untersucht. Nach Schleswig-Holstein schließen sich Hamburg und Niedersachsen mit sechs verbindlichen Modulen an. Die anderen Bundesländer liegen im Mittelfeld mit vier bis fünf Kernthemen.

Bei den vereinzelten Themenkomplexen wird in nahezu allen Bundesländern das Wetter und seine Erscheinungen vertiefend betrachtet. Insgesamt ist das Thema in vierzehn Bundesländern verankert, die Ausnahme stellen Bayern und Hessen dar. Ebenso wird der Komplex Wasser in nahezu allen Rahmenplänen, außer Hamburg, Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen, ausformuliert. Am wenigsten wird das Thema Boden in den Lehrplänen betrachtet. Lediglich drei Bundesländer, Sachsen-Anhalt, Bremen und Schleswig-

Holstein legen ein Augenmerk auf diese chemische Betrachtung. Das Thema Stoffe und Stoffeigenschaften im Zusammenhang mit der Unterscheidung Stoff und Körper finden ebenso in nur neun Bundesländern eine festen Platz in den Rahmenplänen.

Bundesland	Wasser	Feuer|Verbrennung	Wetter	Luft	Boden	Licht	Stoffe
BW	X	X	X	X	-	X	-
BA	X	X	-	X	-	X	X
B	X	X	X	-	-	-	-
BB	X	X	X	-	-	-	-
HB	X	X	X	X	X	X	-
HH	-	-	X	-	-	X	X
HE	X	-	-	-	-	-	X
MV	X	X	X	-	-	-	-
NS	X	X	X	X	-	X	X
NRW	-	X	X	X	-	X	X
RP	-	X	X	-	-	X	X
SR	X	X	X	X	-	-	X
S	X	-	X	X	-	X	-
SA	X	X	X	X	X	-	-
SH	X	X	X	X	X	X	X
TH	X	-	X	X	-	-	X

Tab. 1.7: Synopse der chemischen Schwerpunkte der Rahmenlehrpläne für die Grundschule

Die Themenfelder rund um die Natur können weiter differenziert werden. In Mecklenburg-Vorpommern beispielsweise wird es in neun Unterpunkte aufgeschlüsselt: Tiere, Pflanzen, Biotop, Wetter, Wasser, Feuer, Akustische Phänomene, Optische Phänomene, Magnetismus. Der Rahmenplan weist somit drei biologische, drei chemische und drei physikalische Schwerpunkte auf. Dies zeigt, dass das Verbundfach Sachkunde alle drei Naturwissenschaften gleichermaßen integriert. Mecklenburg-Vorpommerns Lehrplan weist ebenso kein weiteres biologisches Themenfeld auf. In Schleswig-Holstein werden die Inhalte in Lernfeldern formuliert, angepasst an die jeweilige Klassenstufe. Der Lehrplan vom Freistaat Sachsen gliedert die Themen in Lernbereiche. Diese wiederum sind sehr ausführlich ausformuliert und geben ein Stundenkontingent an, an dem sich orientiert werden kann. Für den Lernbereich 'Begegnung mit Phänomenen der unbelebten Natur' stehen in der Klassenstufen 1-2 insgesamt sechsundzwanzig Stunden zur Verfügung, in der Klassenstufe 3-4 noch einmal zwölf. Insgesamt ist der Rahmenplan sehr detailliert formuliert. Während die Lehrpläne von Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein und Brandenburg den Lehrpersonen etwas mehr freie Wahlmöglichkeiten lassen, wie tief die Thematik unterrichtet wird. Gegliedert werden die Inhalte in Sachsen in vier Unterkategorien: Licht, Luft, Wetter und Wasser, welche anschließend weiter aufgeschlüsselt werden. Baden-Württemberg hingegen formuliert unter dem Lernbereich 'Natur macht neugierig' nur sechs Inhalte und gibt kaum Beispiele oder vertiefende Inhalte vor.

Für die weitere Betrachtung und Aufschlüsselung werden die Rahmenpläne von Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Baden-Württemberg und Schleswig-Holstein in Betracht gezogen. Diese Rahmenpläne wurden ausgewählt, da Schleswig-Holstein alle chemischen Schwerpunkte integriert, der Rahmenplan von Sachsen sehr detailliert beschrieben ist. Baden-Württemberg wurde als südlichestes Bundesland mit zu Rate gezogen, da auch hier viele Schwerpunkte verpflichtend sind. Und da Berlin, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern einen gemeinsamen Lehrplan haben, steht der Rahmenplan von Mecklenburg-Vorpommern als Referenz für die anderen beiden.

Das Themenfeld **Wasser** untersucht die physikalischen und chemischen Eigenschaften und die Bedeutung von Wasser, außerdem werden Schwimm-und Sinkverhalten von Körpern

betrachtet. Der Freistaat Sachsen vertieft noch weiter in Wasser als Lösungsmittel, Aggregatzustände und den Wasserkreislauf. Alle Betrachtungen erfolgen aufgrund der Alltagserfahrungen der Grundschüler und weisen auf einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser hin.

Im Kernbereich **Feuer** werden die Eigenschaften verdeutlicht und beschrieben, sowie der Nutzen durch Licht und Wärme resümiert. Ebenso wird auf die Gefahren des offenen Feuers hingewiesen und der richtige Umgang mit Kerzen und Feuerstellen geschult. Im Zusammenhang mit den Brandschutzmaßnahmen bietet es sich an, dass eine Feuerwehr besucht werden kann. Des Weiteren schlägt der Lehrplan von Mecklenburg-Vorpommern einen Blick auf Feuerkatastrophen in der Welt vor und die geschichtliche Entwicklung des Feuers. Entweder in diesem Zusammenhang oder bei den Stoffen werden verbindlich die Verbrennungsreaktionen betrachtet. Doch zunächst nur auf phänomenologischer Ebene.

Die Aufschlüsselung rund ums Thema **Wetter** zeigt, dass das Augenmerk auf den Wettererscheinungen und den daraus resultierenden Jahreszeiten liegt. Hier können die Lernenden direkt von den Alltagserscheinungen abgeholt werden und das persönliche Verhalten im Bezug zum Wetter hinterfragt werden. An diesem Punkt werden angemessene Kleidung je nach Wetterlage oder Gefahren und das richtige Verhalten bei Nebel besprochen. Einen kleinen Ausblick ermöglicht auch schon die Verkehrssicherheit, da die Lernenden mit Fahrrädern unterwegs sein können. Dabei stellt sich die Frage nach dem Bremsweg bei einer nassen Fahrbahn oder dem Leuchtstreifen im Dunkeln. Bei der Untersuchung der Wetterphänomene werden experimentell Temperaturverläufe aufgenommen und das Skalenthermometer eingeführt. Die Entstehung von Wolken, Wind und Niederschlägen wird untersucht und dokumentiert. Die Wettervorhersagen werden genauer betrachtet und ihre Zuverlässigkeit beurteilt.

Beim Themenbereich **Luft** werden die Gase eingeführt. Mit einfachen Experimenten wird demonstriert, dass Luft ein Gewicht hat und einen Raum einnimmt. Die Eigenschaft der Ausdehnung bei Wärme kann anhand ausgewählter Beispiel wie das des Heißluftballon eindrucksvoll demonstriert werden. Ebenso wird der Umweltaspekt unter die Lupe genommen und die Luftverschmutzung mit deren Auswirkung den Lernenden näher gebracht. Im Zusammenhang mit dem Kernpunkt Luft wird das Thema Wind als bewegte Luft mit eingebracht.

Das Spektrum zum Themenbereich **Boden** ist in den Rahmenplänen kürzer gefasst. Hier werden hauptsächlich Zusammensetzung und erste Eigenschaften untersucht. Ein Ausblick erfolgt auch zum Bodenschutz in Anbetracht von Bodenverdichtung und Bodenversiegelung. Der Lehrplan von Sachsen bietet zusätzlich acht Wahlpflichtmodule an, aus denen die Lehrperson sich nach Bedarf Themen auswählen kann. Als eines dieser Wahlpflichtmodule bietet der Lehrplan den Schulgarten an, bei dem vertiefende Inhalte der Naturwissenschaften erlernt werden können. Zur weiteren Auswahl stehen noch Umweltproblem Abfall, Kinder im Straßenverkehr, Farben der Natur, Kräfte von Wind und Wasser, Steine und fahrpraktische Übungen mit dem Rad.

Im Lehrbereich **Licht** wird die Sonne als zentraler Punkt eingeführt. Strahlung und Lichtspektrum können so alltagsnah an die Lernenden herangeführt werden. Die Sonne als Lichtquelle und Wärmequelle wird untersucht, sowie ihr Nutzen für die Natur. An diesem Punkt vermerken die Rahmenpläne einen Hinweis zum Sonnenschutz und den Gefahren von der Sonnenstrahlung. Die Sonnenuhr und Schatteneffekte können erarbeitet werden. Experimentell besteht die Möglichkeit unterschiedliche lichtdurchlässige, lichtundurchlässige und reflektierende Materialien zu untersuchen.

Der letzte große Themenkomplex ist der Bereich **Stoffe und deren Eigenschaften**. Hier werden erste Stoffeigenschaften angesprochen wie die Farbe, Geruch, Löslichkeit, Viskosität und Dichte. Darauf aufbauend kann der Nutzen der Stoffe durch den Menschen beschrieben und die Verarbeitung von Stoffen recherchiert werden. Einige Bundesländer, wie zum

Beispiel Sachsen, erweitern an diesem Punkt die Lerninhalte um die Mülltrennung und das Recycling. Sinnvoll kann es hier auch sein über die Müllvermeidung zu sprechen.

Neben den zahlreichen Lehrplänen haben sich auch Chemiedidaktiken mit den chemischen Inhalten im Sachkundeunterricht beschäftigt. Im Jahr 1998/99 entwickelte die Universität Frankfurt zusammen mit dem hessischen Institut für Lehrerfortbildung und Pädagogik ein Projekt für Lehrerfortbildungen im Sachkundeunterricht. Das Ziel dieses Projektes war die Motivation und Qualifizierung der Lehrkräfte für naturwissenschaftliche Themengebiete, um diese in den Schulen zu unterrichten. Um dieses Ziel zu erreichen wurden unterrichtsrelevante Inhalte und deren didaktisch-methodische Integration erarbeitet und diskutiert. Es entstand eine Lehrerhandreichung mit zahlreichen Experimenten zu folgenden Themen [59, S.5]:

- „Lernfeld Raum “
- „Lernfeld Naturphänomen “
- „Lernfeld Wasser “
- „Lernfeld Öffentliches Leben “
- „Lernfeld Zeit “
- „Lernfeld Material und Materialeigenschaften “
- „Lernfeld Körper, Gesundheitserziehung und Ernährung “
- „Lernfeld Chemie und Lebensmittel “

Die Ausführungen in der Lehrerhandreichung beinhalten neben den Ausführungen der Experimente noch didaktisch-methodische Hinweise. Die Lernfelder selbst setzen den Fokus auf die Vermittlung von stoffkundlichen Inhalten wie beispielsweise Stoffe und Stoffeigenschaften, Lösen von Stoffen in Wasser, Grenzflächenaktivität von Spülmittel oder den Eigenschaften von Säuren und Basen.

Des Weiteren veröffentlichte die Universität Oldenburg eine Materialsammlung und boten dazu eine Lehrerfortbildung an. Die Oldenburger entwickelten im Jahr 2002 das Konzept CHEMOL - einen Zusammenschluss aus **Chem**ie und **Ol**denburg. Unter vier großen Unterpunkten zu den Themen Feuer, Luft, Wasser und Erde werden zahlreiche Experimente beschrieben, bei denen auf alltagsrelevante Materialien und Problemstellungen zugegriffen wird. In dem ausführlichen Lehrerskript befinden sich zahlreiche Arbeitsblätter und Versuchsbeschreibungen, die es den Lehrpersonen ermöglichen, diese in den Unterricht zu integrieren. Zusätzlich unterstützen die Lehrer zahlreiche ausführliche formulierte Erklärungen zur Auswertung und Durchführung der Experimente. Ebenso sind alle wesentliche Lernziele formuliert. Das Konzept ermöglicht den Einsatz von der zweiten bis zur sechsten Klassenstufe und deckt somit auch die integrativen Naturwissenschaften in der Orientierungsstufe ab. Nicht alle Lernbereiche, die von CHEMOL vorgeschlagen werden, sind in den Lehrplänen verbindlich vorgeschrieben und bieten somit ein weites Spektrum über die verpflichtenden Themen hinaus zu unterrichten. So werden beispielsweise Stoffumwandlungen anhand der Kerze oder auch am Eisen eingeführt, aber auch Löschvorgänge und Brandschutz werden integriert. Spielerisch wird den Lernenden experimentell Wissen zu Wasser und Luft vermittelt und dabei immer wieder an ihr Vorwissen angeknüpft. Das Gas Kohlenstoffdioxid wird anhand der Brausetablette einführt und die Stoffeigenschaften sauer, basisch und neutral werden phänomenologisch betrachtet. Die Autoren von CHEMOL legen bei ihren Ausführungen der Experimente nahe, dass die geschriebene Abfolge im Skript nicht der Reihenfolge im Unterricht entsprechen muss. Den Lehrpersonen wird freigestellt mit welcher Thematik und auch in welcher Reihenfolge die Experimente durchgeführt werden. Dies ermöglicht einen großen Spielraum und Freiheiten für die Lehrpersonen [60].

Eine weitere hier beschriebene Handreichung erschien erst 2007 und wurde von *Joachim Kahlert* und *Reinhard Demuth* entwickelt. Mit dem einfachen Titel 'Wir experimentieren in der Grundschule' veröffentlichten sie aufeinanderfolgen Bände. Das Lehrwerk ermöglicht den Grundschullehrern Themengebiete aus der Chemie und Physik im Unterricht zu behandeln. Das erste Lehrband beinhaltete folgende Schwerpunkte [61]

- Luft
- Schwimmen und Sinken
- Elektrizität
- Magnetismus
- Feuer
- Schall

Die entwickelte Lehrerhandreichung erhielt einen großen Zuspruch von den Lehrpersonen, sodass die Autoren sich entschieden einen weiteren Band zu verfassen. Dieser erschien nur ein Jahr später mit dem selben Titel und folgenden Inhalten [62]

- Stoffe und Stoffeigenschaften
- Energie
- Licht und Sehen
- Spiegel
- Wetter

Die Handreichung ist so aufgebaut, dass zuerst wichtige Grundlageninformationen ausformuliert sind. Zu ihnen gehören die Alltagserfahrungen, der fachliche Hintergrund und mögliche Schwierigkeiten. Anschließend wird ein mögliches Vorgehen im Unterricht beschrieben. Die Autoren legen jedoch Wert darauf hervorzuheben, dass diese keine kompletten Unterrichtsabläufe darstellen, sondern nur eine mögliche Abfolge der Experimente innerhalb eines Themenfeldes symbolisiert. In der vorgeschlagenen Abfolge werden didaktisch-methodische Hinweise gegeben, welche Verständnisschwierigkeiten verhindern sollen. Nach der Abfolge schließen sich die Lerninhalte an. Der letzten Abschnitt einer Einheit wird den Arbeitsblättern gewidmet, mit den zugehörigen Lösungsblättern.

Nur ein Jahr später 2009 veröffentliche *Babette Freiheit* von der Universität Rostock ihre Dissertation mit dem Titel 'Stoffen, ihren Eigenschaften und Veränderungen auf der Spur'. Sie beschäftigte sich während ihrer Promotion mit dem Entwurf eines Unterrichtskonzeptes für die Grundschulen. In ihrer Arbeit formuliert sie acht Unterrichtseinheiten, die eine feste Abfolge beinhalten. Somit wird der rote Faden durch ihr Konzept gewährleistet und den Lehrern zahlreiche Hilfestellungen gegeben. Die Unterrichtseinheiten beinhalten die Lerninhalte, didaktisch-methodische Aspekte und einen möglichen Unterrichtsverlauf. Desweiteren wurden zahlreiche Arbeitsblätter entworfen, die den direkten Einsatz im Unterricht ermöglichen. Die Unterrichtseinheiten sind aufeinander aufgebaut und beginnen mit ersten naturwissenschaftlichen Arbeitsmethoden und werden im Laufe immer komplexer. Die Handreichung bezieht sich auf das Konzept 'Chemie fürs Leben', dass an der Universität Rostock entwickelt und erprobt wurde. Orientiert an diesen Kerngedanken, werden folgende Unterrichtseinheiten formuliert [59]

- Forschen und Beobachten
- Körper und Stoffe
- Luft begreifen
- Kohlendioxid

- Wasser und seine Aggregatzustände
- Wasser als Lösungsmittel
- Stoffumwandlung
- Feuer und Energieumwandlung

Sowohl die Rahmenpläne der sechzehn Bundesländer als auch die entwickelten Lehrerhandreichungen zeigen, dass in den Grundschulen ein erstes naturwissenschaftliches Verständnis vermitteln werden kann. Spielerische und alltagsnahe Experimente ermöglichen die Motivation zur Lösung von chemische Fragestellungen und wecken das Interesse an den Naturwissenschaften im weiterführenden Unterricht. Die Betrachtungen von chemischen Zusammenhängen erfolgt weitestgehend phänomenologisch, woran der integrierte naturwissenschaftliche Unterricht anknüpfen und die bereits erlernten Phänomene erneut aufgreifen, vertiefen oder anwenden kann.

1.4.2 Inhaltliche Kontexte im Fachunterricht

An die Grundschule schließt sich die weiterführende Schule an. Auf Empfehlung der Lehrer entscheiden die Eltern, ob ihr Kind zukünftig an einem Gymnasium, einer Regionalschule, einer Gesamtschule oder einer Oberschule unterrichtet werden soll. Die Bezeichnung der Schularten variiert je nach Bundesland. Im folgenden Text werden die Schultypen Oberschule, Regionalschule, Gemeinschaftsschule und Realschule unter dem Synonym Regelschule zusammengefasst. Somit ergeben sich drei Schulformen, auf die sich im laufenden Text berufen wird. Die Regelschule, die Gesamtschule und das Gymnasium. In Brandenburg und Berlin besuchen die Lernenden die Grundschule bis zur sechsten Klassenstufe. Allgemein kann vereinfacht die fünfte und sechste Klasse als Orientierungsstufe zusammengefasst werden, da eine Aufsplittung in differenzierte Kurse erst ab der siebten Klasse erfolgt. Die Tab. 1.8 zeigt die aktuelle Situation vom Stand 2015 des einsetzenden Fachunterricht in den Bundesländern.

Bundesland		Orientierungsstufe		Gesamtschule		Gymnasium		Sekundarstufe I
	NaWi	Bio, Che, Phy	NaWi	Bio, Che, Phy	NaWi	Bio, Che, Phy	NaWi	Bio, Che, Phy
BW	X	-			-	7	WPF	7
BA	X	-	X	8	X	8	X	8
B	X GS	-			-	7	WPF	7
BB	X GS	-			-	7	WPF	7
HB	X	-	-	-	-	7	X	9
HH	X	-	-	-	WPF	7	WPF	7
HE	X IGS	-	-	7	-	7	-	7
MV	X	X Gym	-	7	-	7	-	7
NS	X	X Gym	X	10	-	7		
NRW	X	-	WPF	7	WPF	7		
RLP	X	-	-	7	-	7	-	7
SR	X	-	X	9	-	7	X	9
SA	-	X Gym	-	-	-	7	WPF	7
S	-	X	-	7	-	7	-	7
SH	X	-	X	-	-	7		
TH	X	-	X	+ ab 7	-	7		

Tab. 1.8: Fachunterricht in den Bundesländern

Deutlich wird, dass alle Bundesländer bis auf Sachsen und Sachsen-Anhalt in der Orientierungsstufe das Verbundfach Naturwissenschaften unterrichten. Der Zeitpunkt zum Wechsel auf den Fächerkanon schwankt von der siebten bis zur zehnten Klasse. Deutlich vermerkt ist auch, dass alle Gymnasien ab der siebten Klasse - mit Ausnahme von Bayern - den Fachunterricht in die drei Einzeldisziplinen aufgliedert. Die Chemie setzt je nach Bundesland ab der siebten oder achten Klasse ein. Die Gesamtschulen und Sekundarstufe I -Schulen

hingegen unterrichten entweder integriert oder im Fächerkanon, unterstützt durch die zusätzliche Möglichkeit eines Wahlpflichtfaches (WPF). Das Einsetzen des differenzierten Unterrichten der Einzeldiziplinen variiert stark, was in der Tab. 1.8 ersichtlich wird. Die dort vermerkten Zahlen in der Tabelle zeigen das Einsetzen des Fachunterrichts. Jedoch bedeutet dies noch nicht, dass die drei Einzelfächer simultan unterrichtet werden, wenn in der siebten Klasse das integrative Fach durch den Fachunterricht abgelöst wird. In den meisten Bundesländern setzt dort der Biologieunterricht ein, gegebenenfalls noch der Chemie- oder Physikunterricht. In Mecklenburg Vorpommern, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt wird an den integrativ arbeitenden Schulen in der Orientierungsstufe das Verbundfach unterrichtet, während an den Gymnasien der traditionelle Fachunterricht in der Regel Biologie und ab der sechsten Klasse Physikunterricht dominiert. Thüringen sticht hierbei mit einer besonderen Ausnahme hervor, da hier neben dem Verbundfach zusätzlich verpflichtend ab der siebten Klassenstufe der Fachunterricht einsetzt. Somit kann hier von einer deutlichen Stärkung im naturwissenschaftlichen Bereich gesprochen werden. Dieser Einsatz erfolgt jedoch nicht an den Gymnasien, sondern in den Regel- und Gemeinschaftsschulen.

Ein Blick in die Lehrpläne für den weiterführenden Chemieunterricht in der Sekundarstufe I zeigt eine große Ähnlichkeit. Der Einstieg erfolgt in der Regel über Stoffe und Stoffeigenschaften, führt über die Metalle zur chemischen Reaktion. Es schließen sich die Komplexe Luft und Wasser an, worauf die Nichtmetalle und Alkalimetalle folgen. Über Redoxreaktionen wird zu den Säuren, Basen, Neutralisation und Salzen übergeleitet und abschließend wird in der zehnten Jahrgangsstufe die organische Chemie behandelt. Leichte Abweichungen gibt es in der Reihenfolge der Themenschwerpunkte, jedoch sind alle hier genannten Themen verpflichtende Inhalte aller sechzehn Bundesländer.

An den Gymnasien in Mecklenburg Vorpommern, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt knüpft damit der Chemieunterricht in der 7. Klassenstufe an den Sachkundeunterricht der Grundschule an. In Mecklenburg-Vorpommern bedeutet dies beispielsweise, dass die Grundschulschüler erste Erfahrungen zum Thema Wasser wie Aggregatzustände und Trennverfahren, Feuer, wie Brandschutz und Feuereigenschaften kennen gelernt haben. Sachsen-Anhalt behandelt zusätzlich die Themen Luft und Boden, der Rahmenplan von Niedersachsen weist außerdem noch den Schwerpunkt Stoffe auf. Sachsen greift die Phänomene Wasser, Licht und Luft in der Grundschule auf und setzt in der fünften Klasse mit dem Biologieunterricht in allen Schulformen ein. Ab der siebten Klassen beginnt zusätzlich der Chemieunterricht ein.

Als Referenz werden Lehrpläne von Sachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Hessen analysiert, da alle Lehrpläne ziemlich ähnlich aufgebaut sind und nur geringe Abweichungen zeigen. Die Rahmenpläne von Sachsen und Hessen geben zusätzlich noch Stundenkontingente für die zu behandelnden Themen vor und sind sehr ausführlich formuliert, sodass hier beispielhaft der fortlaufende Unterricht aufgezeigt werden kann. Auf Grundlage derer soll eine kurze Übersicht erfolgen, mit welchen Themen in der Sekundarstufe I im Chemieunterricht eingestiegen wird, beziehungsweise wie der Chemieunterricht am Sachkundeunterricht der Grundschule anknüpft. Der Rahmenplan von Hessen verpflichtet die Themenfelder 'Stoffe-Strukturen-Eigenschaften' und 'Chemische Reaktion' zu unterrichten. Insgesamt werden dafür 54 Unterrichtsstunden veranschlagt. Sachsens Lehrplan sieht vor, innerhalb von 27 Unterrichtsstunden die Themen 'Untersuchen von Stoffen', 'Metalle' und 'Umwandlung von Stoffen' zu behandeln. Mecklenburg Vorpommern gibt keine Vorschläge zur Stundenumsetzung vor und steigt mit den Komplexen 'Stoffe erkennt man an ihren Eigenschaften', 'Metalle' und 'Chemische Reaktion' ein.

Jedes Themenfeld wird durch verpflichtende Schüler- oder Lehrerexperimente und zu vermittelnde Kompetenzen ausformuliert. Aufgeschlüsselt anhand der Inhalte werden folgende

Stichpunkte in den Lehrplänen zum Schwerpunkt 'Stoffe' vorgesehen:

- Stoffbegriff
- Körper und Stoffe
- Gefahrenstoffe und Umgang mit Chemikalien
- Stoffeigenschaften: Aggregatzustand, Farbe, Geruch, Löslichkeit
- Mischen und Trennverfahren
- Teilchenmodell

Die Lehrpläne von Mecklenburg Vorpommern und Sachsen sehen als zweites Thema die Metalle vor, wo auf die Eigenschaften und Verwendung von Metallen hingewiesen wird. Außerdem wird der Bau der Metalle und das Periodensystem der Elemente angesprochen. Übergeleitet wird von den Metallen zu der Chemischen Reaktion, wo folgende Inhalte eingeführt werden:

- Stoffumwandlung
- Chemische Reaktion und Energieumsatz
- Verbrennungsvorgänge
- Gesetz der Erhaltung der Masse

Der Rahmenplan von Hessen sieht hier noch die Inhalte zum Thema Wasser und Wasserstoff vor. Dieser Themenkomplex wird von den anderen Lehrplänen separat aufgegriffen und ausformuliert. Diese ersten Themenfelder können an den Sachkundeunterricht anknüpfen, da in vielen Bundesländern die Themen Stoffe und Stoffeigenschaften, sowie Feuer und Verbrennung bereits aufgegriffen wurde. Teilweise wurde auch zu den Themenkomplexen Wasser und seine Eigenschaften und Luft und ihre Eigenschaften erstes Grundlagenwissen geschaffen. Durch die recht lange Pause in der fünften und sechsten Klasse besteht jedoch die Gefahr, dass die Lernenden bereits erworbene Kenntnisse aus dem Sachkundeunterricht bis zum einsetzenden Fachunterricht in der Chemie in der siebten Klassenstufe vergessen haben. Der fächerübergreifende naturwissenschaftliche Unterricht soll deshalb die Brückenfunktion von Sach- zum Fachunterricht schlagen, an den Grundlagenkenntnissen anknüpfen und sie vertiefen für den weiterführenden Fachunterricht. Diese Aufgabe impliziert die Notwendigkeit, einen vertiefenden Blick in die Lehrplansituation der Bundesländer für die Naturwissenschaften zu werfen.

1.4.3 Inhaltliche Kontexte im integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht

Ein Blick auf die Tab. 1.8 auf der Seite 34 zeigte, dass nahezu alle Bundesländer das Fach Naturwissenschaften unterrichten. Der Name des Unterrichtsfaches unterscheidet sich jedoch. Die Datenerhebung erfolgt auf der Grundlage der Lehrpläne mit dem Stand von 2014. In Sachsen-Anhalt wird es zusätzlich zum Fachunterricht angeboten und benennt sich hier 'Angewandte Naturwissenschaften' [63], da die Kenntnisse der Fachdisziplinen hier angewendet und vertieft werden sollen. In Hamburg hingegen wird Fach 'Naturwissenschaften/Technik' [64] betitelt, da es Inhalte aus den drei Naturwissenschaften sowie technische und Informatik Aspekte integriert. In Baden Württemberg beinhaltet der Rahmenlehrplan Biologie, Naturwissenschaften und Technik und findet somit seinen Namen als 'Biologie, Naturphänomene und Technik' [58]. Die restlichen Bundesländer benennen das Fach einfach als 'Naturwissenschaften', es beinhaltet somit vorwiegend die Themen der drei Naturwissenschaften Biologie, Physik und Chemie. Eine Übersicht über die Themenverteilung gibt die Tab. 1.9, in der alle Bundesländer aufgelistet sind, die integrativ in der Orientierungsstufe arbeiten. Sachsen und Sachsen-Anhalt sind dabei außer Betracht gelassen,

da der Freistaat Sachsen insgesamt nur den Fächerkanon unterrichtet und Sachsen-Anhalt das Verbundfach nur als Wahlpflichtfach ab der siebten Jahrgangsstufe vorsieht.

Bundesland	Arbeitsweise	Wasser	Luft	Boden	Stoffe	Sonne
BW	X	X	X	X	X	X
BA	X	X	X	X	X	X
B	X	X	-	X	X	X
BB	X	X	X	X	X	X
HB	X	X	-	X	X	X
HH	X	X	X	-	-	X
HE	X	X	X	-	X	-
MV	X	X	X	X	-	X
NRW	X	X	X	X	X	X
NS	X	X	X	-	X	X
RLP	X	-	-	-	X	X
SR	X	-	-	-	X	-
SH	X	X	X	X	X	X
TH	X	-	-	-	X	-

Bundesland	Energie	Mensch	Pflanzen	Tiere	Technik	Informatik
BW	X	X	X	X	X	-
BA	X	X	X	X	-	X
B	-	X	X	-	-	-
BB	-	X	X	X	-	-
HB	-	X	X	X	-	-
HH	X	X	X	X	X	X
HE	-	X	X	X	X	-
MV	-	-	X	X	-	-
NRW	X	X	-	-	-	-
NS	-	X	X	X	X	-
RLP	-	X	X	X	X	-
SR	-	X	X	X	-	-
SH	-	-	X	X	-	-
TH	-	X	X	X	-	-

Tab. 1.9: Darstellung der Themenschwerpunkte in den Lehrplänen der Bundesländer

Die Aufgliederung zeigt, dass die 'naturwissenschaftliche Arbeitsweise' in allen Bundesländern verpflichtend unterrichtet wird. Gefolgt von dem Themenkomplex 'Pflanzen', welches von 13 Bundesländern in den Lehrplänen integriert ist. Der Themenschwerpunkt 'Informatik' wird nur von drei Bundesländern Bayern [65] und [66] sowieHamburg [64] vorgesehen. Auch die Energiebetrachtung wird nur in vier Bundesländern separat aufgeführt, jedoch wird in anderen Bundesländern bei anderen Themen der Energiegedanke im Sinne der Nachhaltigkeit aufgegriffen, so zum Beispiel beim Thema Luft die Windenergie. Häufige Themen sind auch die Themen 'Luft', 'Boden', 'Stoffe', 'Wetter', 'Mensch' und 'Tiere'. Auch der Bereich 'Technik' wird nur in fünf Bundesländern in den Lehrplänen verankert.

Der Vergleich der Curricula der Bundesländer zeigt eine große Varianz der Themenfelder, die verpflichtend behandelt werden sollen. In einigen Bundesländern wie Hessen [67] oder Niedersachsen in der Realschule [68] sowie der Hauptschule [69] und auch der Oberschule [70] und dem Gymnasium [71] ist es zudem den Lehrpersonen oder der Schule überlassen, ob sie integrativ oder Fächer separiert unterrichten. Der Thüringer Lehrplan [72] und [73] orientiert sich zudem stark an dem biologischen Lehrplan und weißt nur innerhalb der biologischen Module auf fächerübergreifende Aspekte der Chemie oder Physik hin. Auch im Saarland [74] dominieren die biologischen Inhalte deutlich vor den anderen Naturwissenschaften. Die Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern [75], Bayern [66], Berlin, Brandenburg [76], Schleswig Holstein [77] und Hessen [67] zeigen eine ungefähre Gleichgewichtung

der naturwissenschaftlichen Inhalte. In allen anderen Bundesländern führt die Chemie nach wie vor ein Schattendasein in den curriculären Vorgaben. Manche Inhalte variieren in ihrer Einbettung, so wird zum Beispiel das Wasser, die Luft und der Boden in einem Abschnitt 'Lebensräume' erforscht, während andere Bundesländer diesen Themen ein extra Modul zuweisen.

Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein bauen die Module mit einem persönlichen Bezug auf und betiteln die Module innerhalb des Lehrplans beispielsweise mit "Die Luft, die ich atme", "Der Boden, unter meinen Füßen", oder in Schleswig Holstein "Wasser als Lebenselement", sowie "Tiere in unserer Umwelt". Baden Württemberg [58] weist insgesamt elf Themenfelder auf und ist damit Spitzenreiter in der Themenanzahl. Direkt gefolgt von Bayern mit 10 Themenschwerpunkten, die meisten Bundesländer behandeln im Schnitt sechs Themenbereiche. Hamburg [78] verpflichtet nur zu fünf Modulen.

Anschließend soll nun die synoptische Darstellung der einzelnen chemischen Themenkomplexe derTab. 1.9 erfolgen. Hessen und Sachsen-Anhalt werden für die weitere Erhebung außer Betracht gelassen, da die Inhalte nicht verbindlich sind, sondern die Schulen die Wahl haben zwischen dem Fächerverbund und dem Fachunterricht. Ebenso wird auf die Unterscheidung nach Schularten verzichtet, da die Themeninhalte in dem jeweiligen Bundesland nicht variieren. Die Synopse erfolgt sowohl tabellarisch, um eine Übersicht zu geben, als auch ausformuliert und näher erläutert.

Der Themenbereich **Denk- und Arbeitsweisen der Naturwissenschaften** zielt als wesentlicher Aspekt auf die Kompetenzentwicklung der Lernenden ab. In diesem Sinne werden den Lernenden naturwissenschaftliche Arbeitsmethoden wie das Experimentieren, das Mikroskopieren oder die Modellarbeit näher gebracht. Kerninhalt der Naturwissenschaften stellt das Beobachten von Naturphänomenen und dem daraus resultierenden Erklärungsdrang dar. Diese meist komplexen Vorgänge müssen von den Lernenden reduziert auf einfache, anschauliche Modelle werden. Dies impliziert die Notwenigkeit, dass den Lernenden der Umgang mit Modellen, deren Möglichkeiten als auch Grenzen veranschaulicht wird. Das naturwissenschaftliche Denken von der Problemstellung bis zur Lösungsfindung muss erprobt werden. Die naturwissenschaftliche Arbeitsweisen vermitteln dabei zahlreiche Operatoren, wie beispielsweise das Beschreiben, Ordnen, Optimieren, Präsentieren, Experimentieren oder Beobachten.

Beim Themenkomplex **Wasser** zeigt die Synopse, die in Tab. 1.10 aufgegliedert ist, sowohl gemeinsame als auch spezielle Kernbereiche, die nur von einigen Bundesländern behandelt werden. Alle gemeinsam beinhalten sie die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Wassers. Hierbei wird darauf hingewiesen, dies an Alltagsphänomenen zu erarbeiten und experimentell zu überprüfen. Ebenso wird auf die Aggregatzustände, sowie die Phasenübergänge hingewiesen, welche beispielsweise am natürlichen Wasserkreislauf eingebettet werden können. Hierbei soll ein Augenmerk auf die Temperaturabhängigkeit der Phasenübergänge gelegt werden. Im Sinne der Kompetenz der Bewertung wird in nahezu allen Lehrplänen mit Ausnahme von Berlin die Bedeutung des Wassers für die Natur und der nachhaltige Umgang angesprochen.

Die Bedeutung von Trinkwasser und die Abwasseraufbereitung in den Kläranlagen wird in sechs Bundesländern (MV, BA, HH, NS, SR, SH) verankert. Hierbei sollen die Lernenden Trennverfahren modellhaft nachvollziehen. In diesem Zusammenhang ergibt sich in den Lehrplänen von HH, MV, NS, SH, BW und HB die Diskussion um die Notwendigkeit und Wege zum Erhalt von Wasserressourcen und der Wasserqualität. Ein weiteres Anwendungsbeispiel finden die Rahmenpläne von BW, BA, HH, MV, NS, SR und SH in der Löslichkeit. Dabei soll das Verhalten der Löslichkeit von verschiedenen Stoffen sowie den Löslichkeits-

BL	Eigenschaften	Anomalie	Aggregatzustände	Stoffgemisch	Kreislauf	Raum	Auftrieb	Schutz
BW	X	-	X	X	X	-	X	X
BA	X	X	X	X	X	X	X	X
B	X	-	X	X	X	-	-	-
BB	X	-	X	X	X	-	-	-
HB	X	-	X	-	X	-	-	-
HH	X	-	X	X	X	X	X	X
HE	X	-	X	X	X	X	-	X
MV	X	X	X	X	X	X	-	X
NS	X	X	X	X	X	X	-	X
NRW	-	-	X	-	X	-	X	-
SH	X	-	X	X	X	X	-	X

Tab. 1.10: Inhalte im Themenfeld Wasser in den Bundesländern

bedingungen experimentell untersucht werden. Hierbei wird empfohlen, Trennverfahren und den Begriff Stoffgemisch mit zu integrieren. Auf die Anomalie des Wassers weisen nur die Bundesländer BA, MV und SR hin. Mit der Oberflächenspannung des Wassers werden in den Bundesländern HH, MV und SH weitere Grundsteine für den weiterführenden Unterricht gelegt. Das Teilchenmodell wird in MV, NS, SR, HH und BW am Beispiel der Eigenschaften des Wassers eingeführt. Zusätzlich wird die Molekülverbindung aus Wasserstoff und Sauerstoff submikroskopisch betrachtet.

Der Themenbereich **Luft** zeigt nur wenig gemeinsame Kernbereiche, wie in der Tab. 1.11 ersichtlich ist. Die Luft als lebensnotwendiges Stoffgemisch wird in allen Rahmenlehrplänen verpflichtend verankert. Hierbei wird die Zusammensetzung der Luft verdeutlicht und die chemischen und physikalischen Eigenschaften experimentell untersucht.

BL	Zusammensetzung	Eigenschaften	Feuer	Lebensraum	Aerodynamik	Schutz
BW	X	X	X	X	-	-
BA	X	X	X	-	X	X
BB	X	X	-	-	-	-
HH	X	X	-	-	X	-
HE	X	X	X	X	-	X
MV	X	X	X	X	X	X
NS	X	X	X	X	X	X
NRW	X	X	X	X	X	X
SH	X	X	-	X	-	X

Tab. 1.11: Inhalte im Themenfeld Luft in den Bundesländern

In den Rahmenlehrplänen von BW, BA, MV, NS und SR werden die Aspekte rund ums Thema Feuer betrachtet. Damit einhergehend wird hierbei die Rolle des Sauerstoffs diskutiert und experimentell nachgewiesen. Weiter kann der Brandschutz und das Branddreieck erarbeitet werden. Die Bundesländer BW, MV, NS und SH knüpfen an die Themenbereiche Pflanzen und Tiere an und weisen den Luftraum als Lebensort aus. Ebenso wird in vier Bundesländern (MV, BA, NS und HH) die Luftfahrt thematisiert. Die physikalischen und biologischen Grundlagen werden anhand des Tierfluges erarbeitet und anschließend mit der menschlichen Technik verglichen. An diesem Punkt ist es möglich, Themenbereiche zur Aerodynamik, Auftrieb, Strömung und Zirkulation zu behandeln. Vereinzelt wird an diesem Punkt auf Windenergie hingewiesen und die Länder MV, NS, BA und SH weisen im Sinne der Nachhaltigkeit auf Luftverschmutzung und die Probleme Ozon, Smog, saurer Regen und den Treibhauseffekt hin.

Der Komplex zum **Boden** greift neben den naturwissenschaftlichen Aspekten noch geografische auf. In der Tab. 1.12 ist die Synopse der Themen aufgeschlüsselt. Diese zeigt, dass die Lehrpläne die Behandlung der Bodenarten und der Bodeneigenschaften beinhalten. Die Bodeneigenschaften, wie beispielsweise der pH-Wert sollen experimentell erarbeitet werden. Ebenso wird der Boden als Lebensraum thematisiert und Bodenlebewesen untersucht. Hierbei wird die Artenvielfalt und die Anpassung pflanzlicher und tierischer Organismen erläutert. Die Nachhaltigkeit wird auch im Themenbereich Boden aufgegriffen und Aspekte zur Bodennutzung, wie dem Ackerbau und Bodenschutz verwiesen. Hierbei wird auf die Phänomene Bodenverdichtung, Bodenversiegelung und Erosion ein besonderes Augenmerk gelegt. Vereinzelte Bildungspläne weisen auf die Bodenbildung durch Verwitterungsprozesse hin sowie auf die Humusbildung. Der bayrische Rahmenplan erwähnt außerdem die Mineralien und Fossilien sowie die Bildung von Kristallen.

BL	Arten	Profil	Eigenschaften	Verwitterung	Humusbildung	Raum	Nutzen	Schutz
BA	-	-	X	X	X	X	X	X
B	X	X	-	-	-	-	X	X
BB	X	X	-	-	-	-	X	X
HB	X	X	-	-	X	-	X	X
MV	X	X	X	X	X	X	X	-
NRW	X	X	-	-	-	-	X	-
SH	X	-	X	-	-	X	X	X

Tab. 1.12: Inhalte im Themenfeld Boden in den Bundesländern

Die Inhalte rund um das Thema **Stoffe** sind in der Tab. 1.13 aufgeschlüsselt. Auch bei diesem Themenschwerpunkt geben die Rahmenpläne die Möglichkeit vor, das einfache Teilchenmodell einzuführen. Dies soll genutzt werden, um die experimentell entdeckten Stoffeigenschaften zu erklären. Anhand ausgewählter Kriterien sollen die Stoffvielfalt geordnet und Klassifizierungsmerkmale erarbeitet werden. Durch die Erarbeitung von Stoff-Struktur-Eigenschaftsbeziehung können Verwendungsmöglichkeiten abgeleitet werden.

BL	Reinstoff/Stoffgemisch	Eigenschaften	Trennverfahren	Stoffumwandlung	Atommodell
BW	-	X	X	X	X
BA	X	X	X	X	-
B	X	X	X	X	-
BB	X	X	X	-	-
HB	X	X	-	-	-
HE	X	X	X	X	-
NRW	X	X	X	-	-
SH	X	X	X	X	-
TH	X	X	X	X	-

Tab. 1.13: Inhalte im Themenfeld Stoffe in den Bundesländern

Die Bundesländer BA, B, BB und NS erarbeiten den Stoffbegriff anhand alltagsnaher Beispiele. Anhand der Stoffgemische werden diverse Stofftrennverfahren experimentell erprobt. Die Unterscheidung zwischen Reinstoffen und Stoffgemisch wird thematisiert. In vereinzelten Bundesländern wird anhand des Themengebietes die chemische Reaktion als Stoffumwandlung eingeführt. Dies soll am Beispiel der Verbrennungsreaktionen erfolgen, welche in anderen Curricula im Bereich der Luft behandelt werden. Baden-Württemberg geht noch einen Schritt weiter und führt die chemische Formelsprache, das Periodensystem und das Atommodell ein. Ebenso wird im Zusammenhang mit der Verbrennungsreaktion der Redoxbegriff das erste Mal aufgegriffen.

Alle Rahmenpläne haben gemeinsam, dass sie die Module oder Themenfelder vorgeben, die Reihenfolge bleibt aber den Lehrkräften offen. Es werden lediglich Empfehlungen ausgesprochen. Nur das erste Modul 'Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen' wird als Ausgangslage festgesetzt. Die ansonsten freistehenden Themen können individuell variiert unterrichtet werden.

1.4.4 Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht international

Die historische Entwicklung in Deutschland zeigt, dass der integrierte naturwissenschaftliche Unterricht in Deutschland einen langen Weg hinter sich hat. In anderen Ländern schritt die Entwicklung des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts schneller voran. Jedoch wird nicht überall fächerintegriert unterrichtet, sodass im Folgenden von fächerübergreifend gesprochen wird. Als Referenz dienen die Länder United Staates of America (USA), Kanada, Schottland, Schweden und die Schweiz, da diese Länder alle verpflichtend fächerübergreifend unterrichten.

Die **USA** waren das erste Land, dass die Naturwissenschaften unter dem Fach 'Science' zusammenfasste und Themen fächerübergreifend unterrichteten. Unter dem Präsidenten *Dwight D. Eisenhower* wurde 1959 der erste Lehrplan für die Klassen eins bis acht entwickelt und in den Schulen umgesetzt. Heute haben die Lernenden die Chance, bis zur 12. Klasse das integrierte Fach zu belegen, wobei es bis zur 9. Klasse verpflichtend ist und anschließend wahlobligatorisch neben den Fächerdisziplinen zur Verfügung steht [79]. Unterrichtet wird das Fach mit einer Stunde am Tag, also fünf Unterrichtsstunden in der Woche. Das Fach wird je nach Interesse und Kenntnissen in den Einführungskurs, den Aufbaukurs und den Fortgeschrittenenkurs differenziert. Der Lehrplan konkretisiert insgesamt sieben Kategorien der nationalen naturwissenschaftlichen Standards, welche fachliche, methodische und soziale Kompetenzen formulieren [80]. Das Lernen wird als ein aktiver Prozess verstanden, weshalb Schülerexperimente fest in dem Rahmenplan verankert sind. Als Bildungsziel haben sich die USA gesetzt, dass die Lernenden in der Lage sind, sich selbstständig und aktiv Wissen anzueignen und dieses anzuwenden. Dabei steht die Befähigung zu naturwissenschaftlichen Prinzipien und Prozessen im Vordergrund, um diese in die eigenen Entscheidungen mit einzubeziehen. Eine solide naturwissenschaftliche Ausbildung erleichtert es den Lernenden, alltägliche Probleme und Fertigkeiten zu lösen beziehungsweise kritisch zu denken, kooperativ in Gruppen zu arbeiten und Methoden effizient zu nutzen [81].

Das direkte Nachbarland **Kanada** unterrichtet ebenso fächerübergreifend von der ersten bis zur achten Klasse die Naturwissenschaften. Im Gegensatz zu den USA setzt das föderalistische Bildungssystem seinen Schwerpunkt auf die nachhaltige Entwicklung. Der verpflichtende Lehrplan beinhaltet präzise Beschreibungen der Lernziele und der Themeninhalte. Auch sie setzen sich das Ziel, alltags-, handlungs- und schülerorientiert zu arbeiten. Hierbei werden vor allem lokale Themen mit in das Curriculum integriert. In der Umwelterziehung wird ein Schwerpunkt gesetzt. Die selbstständige Entwicklung von Modellen und der gewissenhafte aber auch kritische Umgang mit ihnen wird fokussiert.

Schottlands Bildungssystem ist dem der USA und Kanada sehr ähnlich, ein wesentlicher Unterschied liegt im Schwerpunkt. Schottland legt den Kernpunkt auf die Handlungsfähigkeit der Lernenden. Das Fach Science war bis Ende der 60er Jahre in der Probephase und konnte sich dabei etablieren. Der schottische Lehrplan betont Aspekte wie naturwissenschaftliche Neugier, Kompetenzen, naturwissenschaftliches Verständnis, Kreativität und Sensibilität. Der größte Unterschied ist wohl, dass es in Schottland nur ein reines Gesamt-

schulsystem gibt. Alle Lernenden aller Schultypen lernen gemeinsam unter einem Dach und machen je nach Fähigkeiten ihren Schulabschluss. Ab der zehnten Klassenstufe haben auch in Schottland die Lernenden die Wahl, ob sie ie Naturwissenschaften fächerintegriert oder fächergertrennt die Naturwissenschaften erlernen wollen [80].

Schwedens Schulsystem ist ähnlich dem Schottischen, denn auch hier besuchen bis zur neunten Klassenstufe alle Lernenden eine gemeinsame Schule - hier Grundschule genannt. Anschließend wechseln sie direkt zu berufsorientierten Schulen und erlangen dort den angestrebten Schulabschluss. Die Naturwissenschaften werden bis zur sechsten Klasse integriert unterrichtet und differenzieren sich im Anschluss in die Fachdisziplinen aus. Als Bildungsziel hat der Lehrplan formuliert, dass die Naturwissenschaften helfen sollen, den Lernenden ihren Platz im Leben, in der Natur und der Gesellschaft finden. Außerdem sollen die naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen erprobt und die Geschichte der Naturwissenschaften erlernt werden. Als zentraler Punkt werden die Schülerexperimente betrachtet. Damit diese Ziele erreicht werden, werden die Inhalte im Rahmenplan anhand von Phänomenen unterrichtet. Um die solide, naturwissenschaftliche Ausbildung zu gewährleisten, nehmen die Naturwissenschaften 10-15% des Stundenkontingents ein. Im Rahmenplan festgehalten sind die Standards und Ziele, die vom Ministerium formuliert wurden [82].

Als letztes Land soll die **Schweiz** vorgestellt werden, das von einer heterogenen, föderalistischen Bildungspolitik geführt wird. Die Grundschule begleitet die Lernenden bis zur sechsten Unterrichtsklasse. Die Naturwissenschaften werden bis zur neunten Klasse integrativ in der Realschule und der Sekundarschule unterrichtet. Das Stundenkontingent ist recht hoch besetzt und steigert sich kontinuierlich. In der ersten und zweiten Klasse werden die Naturwissenschaften mit sechs Stunden in der Woche gegeben, in der siebten und achten Klasse sind es dann neun Stunden. In der neunten Klasse sinkt es wieder auf acht Stunden. Der Lehrplan baut sich aus Leitkonzepten auf, wobei die Themenfelder als roter Faden dienen. Als Stärken des Curriculums zählen die Offenheit, die Verbindungen zwischen den Teilgebieten und Inhalten, die Angebots- und Auswahlmöglichkeiten sowie die Themenstruktur. Als Schwächen werden die geringe Verbindlichkeit, die Dichte des Stoffes und die Ansprüche an die Umsetzung angesehen. Außerdem werden hauptsächlich biologische und physikalische Themen betrachtet, es werden kaum chemische Bezüge integriert. Die Durchführung wird dahingehend offen gehalten, ob der Unterricht regelmäßig, epochal oder als Projektunterricht erfolgt [83].

Der Vergleich der sechs Länder zeigt, dass alle Länder die Naturwissenschaften bis zur sechsten Klasse fächerübergreifend unterrichten. In Deutschland schließt er sich dem Sachkundeunterricht nach der Grundschule an und erfüllt eine Brückenfunktion zur Vorbereitung für den Fachunterricht. Dies wird in den fünf anderen Ländern anders betrachtet, hier wird das Fach als naturwissenschaftliche Disziplin angesehen, welches den gleichen Stellungswert hat, wie die Einzeldisziplinen. Die Tab. 1.14 zeigt die Übersicht über die sechs Länder mit verpflichtendem Unterricht, bis zu welcher Klassenstufe, den Themengebieten der fünften und sechsten Klasse und die darin enthaltenen chemischen Aspekte. Der direkte Vergleich zeigt, dass sich die Themenfelder ähneln und sie alle biologische, chemische und physikalische Aspekte enthalten. Chemische Schwerpunkte die Unterrichtsinhalte zu den Stoffe, Energie und Aggregatzustände. Alle Länder berücksichtigen dabei die Vorstellung der Lernenden von ihrer natürlichen, künstlichen und sozialen Umwelt und beziehen diese in das Curriculum mit ein. Die eigenständige Arbeit mit dem zentralen Punkt des Schülerexperiments stellt in allen Konzepten den wesentlichen Aspekt dar. Ein Ziel setzen sich die Lehrpläne, dass die Lernenden Fachwissen erlangen und dieses mit den Werten und Normen der Gesellschaft verbinden. Als weiterer Unterschied zwischen den deutschen und den

internationalen Lehrplan kann die Zielformulierung betrachtet werden. Ein weiterer Unterschied zwischen deutschem und internationalen Lehrplan ist die Zielformulierung, da diese international nicht kompetenzorientiert ist.

Land	USA	Kanada	Schottland
Klassenstufe	Kindergarten bis 9	Klasse 1-10	Klasse 1-9
Themengebiete	Physikalische Themen	Stoffeigenschaften	Planet und Erde
	Kraft, Energie, Bewegung	Energieerhaltung	Kraft, Energie, Wellen
	Technik	Organe	biologische Systeme
	Fortpflanzung	Artenvielfalt	Gesellschaft
	Ökosystem	Kraft	geschichtliche Themen
	Gesundheit	Fliegen	geografische Themen
	natürliche Ressourcen	Elektrizität	
	astronomische Themen		
Chemische Aspekte	Stoffeigenschaften	Stoffeigenschaften	Stoffeigenschaften
	Aggregatzustände	Aggregatzustände	Aggregatzustände
	Stoff-/Energieumwandlung	Stoff-/Energieumwandlung	Stoff-/Energieumwandlung
		irreversible/reversible Prozesse	Energieerhaltung
		chemische Konservierung	

Land	Schweden	Schweiz	Deutschland
Klassenstufe	Kindergarten bis 9	Klasse 1-10	Klasse 1-9
Themengebiete	Stoffbegriff	Energie und Materie	Denk-/Arbeitsweisen
	Organe	Naturbegegnung	Pflanzen und Tiere
	Artenvielfalt	Landschaft, Lebensräume	Mensch
	Lebenskreislauf	Ich in der Gesellschaft	Wasser
	Elektrizität	Gesundheit	Luft
	Sonnensystem	Welt-/Gottesbilder	Boden
	Meteorologie	Stadt und Land	Sonne
		Handel und Verkehr	Stoffe
			Technik und Informatik
Chemische Aspekte	Stoffeigenschaften	Stoffeigenschaften	Stoffeigenschaften
	Aggregatzustände	Aggregatzustände	Aggregatzustände
	Stoff-/Energieumwandlung	Stoff-/Energieumwandlung	Stoff-/Energieumwandlung
	Lösungen	Energieerhaltung	Reinstoff/Stoffgemisch
	Abbau von Substanzen	Energieformen	Wasser, Luft, Boden

Tab. 1.14: Kurzsynopse der internationalen Lehrpläne

1.4.5 Zusammenfassung

Die Synopse der Lehrpläne der Grund- und Weiterführenden Schule zeigt eine große Varianz der Themen. Der Sachkundeunterricht unterrichtet in allen Bundesländern ein naturwissenschaftliches Modul. Die Grundschule weist dabei bereits erste chemische Aspekte zu den Themenaspekten Wasser, Feuer, Boden, Luft und Stoffe auf. Ebenso gibt es zusätzliche Lehrmaterialien, die Versuchsvorschriften und Arbeitsblätter zur Verfügung stellen. Im weiterführenden Unterricht werden der Stoffbegriff und die chemische Reaktion erneut aufgegriffen beziehungsweise eingeführt. Je nach Bundesland erfolgt in der Orientierungsstufe das fächerübergreifende Unterrichten. In den meisten Bundesländern vorwiegend an den Gesamtschulen, jedoch sind unter anderem seit 2014 auch neue Lehrpläne in Thüringen, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg für Gymnasien zu finden. Das integrative Fach löst in den meisten Bundesländern die Fachdisziplin Biologie ab und übernimmt deren Stundenkontingent. Lediglich in vereinzelten Bundesländern wird das integrative Fach Naturwissenschaften zusätzlich unterrichtet. Somit stellt das Fach eher eine Zusatzqualifikation für interessierte Naturwissenschaftler dar. In einigen Bundesländern wird das Verbundfach

wahlobligatorisch unterrichtet, sodass die Schulen individuell entscheiden können, ob sie reinen Biologieunterricht geben oder das Verbundfach unterrichten. Somit ist eine genaue Analyse, welche Vorkenntnisse die Lernenden mitbringen eher schwierig festzustellen.

Das Fach der integrierten Naturwissenschaften verfolgt das Ziel, die Lücke zwischen dem Sachkunde- und dem Fachunterricht zu schließen und die Lernenden frühzeitig für die Naturwissenschaften zu motivieren und zu interessieren. Um dies zu ermöglichen, empfehlen viele Verbände und Organisationen, Inhalte der drei Naturwissenschaften Chemie, Biologie und Physik bereits in der Orientierungsstufe zu unterrichten. Der fächerübergreifende Unterricht hat jedoch nicht in allen Bundesländern Einzug gehalten, so unterrichtet der Freistaat Sachsen und Sachsen-Anhalt als letztes Bundesland ausschließlich die Fachdisziplinen. In anderen Bundesländern wird das integrative Fach größtenteils als Wahlpflichtfach, teilweise bis zur Vollendung der zehnten Jahrgangsstufe, unterrichtet. Hauptsächlich wird an den Gesamtschulen integrativ gearbeitet, jedoch liegen auch erste Lehrpläne für die Gymnasien vor. Schrittweise wurde das Fach in den letzten Jahren an den Schulen durch zahlreiche Modellversuche etabliert und Kerncurricula erarbeitet. Um die unterrichtenden Lehrer auf die Herausforderung vorzubereiten, bieten die ersten Universitäten Studiengänge an und die Lehrerfortbildungszentren ermöglichen Lehrerfortbildungen.

Die Synopse der integrierten naturwissenschaftlichen Fächer zeigt ein heterogenes Bild. Die Vielfalt der Themenkomplexe zeigt die Bildungssouveränität der Bundesländer. Die große Varianz weist das Spektrum und die Vertiefung der Inhalte. Insgesamt können elf Themenschwerpunkte in den Rahmenplänen charakterisiert werden, in denen die Aspekte der Lehrpläne zusammengefasst werden können. Als Beispiel dient das Thema Feuer. Dieses wird in einigen Bundesländern im Themenkomplex 'Luft' behandelt, in anderen bei 'Stoffen'. Beim Thema Luft wird eher der Brandschutz und die Rolle des Sauerstoffs betrachtet, beim Thema Stoffe hingegen wird das Augenmerk auf die chemische Reaktion gelegt. Ähnlich ist es auch bei anderen Themen - wie beispielsweise dem Boden. In Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern wird diesem Thema ein eigener Komplex zugeordnet, wie auch bei Wasser und Luft. In Brandenburg und Berlin hingegen werden alle drei Bereiche im Modul Lebensräume aufgegriffen und dabei die Eigenschaften untersucht.

Jedoch ist auffällig, dass in manchen Bundesländern, wie beispielsweise Thüringen, die Chemie noch ein Schattendasein im integrativen Fach Naturwissenschaften führt und die biologischen Inhalte dominieren. Das Arbeiten an den Phänomenen, wie es die Rahmenpläne vorgeben, ermöglicht den Lehrern viel Spielraum bei der Vertiefung der Themen. Hier liegt auch eine gewisse Gefahr, dass fachfremde Lehrer eher dazu neigen, die Schwerpunkte in ihrer Fachrichtung zu legen. Ziel jedoch ist, zu zeigen, dass die Natur nur mit allen Blickwinkeln der drei Naturwissenschaften erklärt werden kann.

Die Informatik hat hingegen bisher kaum Einzug in die integrativen Naturwissenschaften erhalten. Lediglich in Bayern und Hamburg werden die Lernenden mit der Daten- und Informationsverarbeitung innerhalb der Naturwissenschaften konfrontiert. In anderen Bundesländern, wie zum Beispiel Mecklenburg-Vorpommern, bleibt das Fach als Einzeldisziplin bestehen. Auch der Bereich Technik, welcher sich mit Geräten, Stromkreisen und Ähnlichen befasst, wird nicht in allen Bundesländern fest verankert. Mecklenburg-Vorpommern ist zudem das einzige Bundesland, das dem 'Mensch' kein eigenes Modul zuordnet und keine Lehre über den Aufbau, gesunde Ernährung oder Sexualaufklärung innerhalb des integrativen Faches betreibt. Diese Inhalte bleiben dem Biologieunterricht separat erhalten. Die Synopse zeigt somit, dass chemische Inhalte innerhalb der Orientierungsstufe weiter gestärkt werden müssen.

Der internationale Vergleich beweist, dass sich das Fach integrierte Naturwissenschaften in verschiedenen Ländern seit längerer Zeit sehr etabliert hat. Der Anteil an chemischen Aspekten führt jedoch in allen Ländern ein Schattendasein. Die einzigen Themen, die international Bedeutung haben, sind die Stoffeigenschaften, Aggregatzustände und die Stoff-

und Energieumwandlung in der 5/6 Klasse. Im Gegensatz zu Deutschland werden die Naturwissenschaften jedoch bis zur neunten, teilweise bis zur zehnten Klasse fächerübergreifend unterrichtet. Dies zeigt ein positives Bild auf die Entwicklung des fächerübergreifenden Fachs für die Zukunft.

1.5 Forschungsgedanke

Die historische Entwicklung zeigt, dass die Naturwissenschaften eine große Bedeutung für die Menschheit haben. Ohne die technischen, biologischen, physikalischen und chemischen Fortschritte wäre eine Welt, wie wir sie heute kennen, nicht möglich. Die Medizin ermöglicht es, viele Krankheiten zu heilen, die Biologie und Pharmazie entwickeln ständig neue Medikamente, die Chemie und Physik suchen nach innovativen Lösungen für die Energieversorgung. Nahezu jeder Beruf benötigt die Naturwissenschaften, der Frisör beispielsweise, um Haarfärbungen zu verstehen oder die Funktionsweise der Seife nachzuvollziehen, die Mechanikerin für die komplexen Vorgänge im Motor, der Koch für die Zubereitung seiner Speisen, um nur einige Beispiele zu nennen. Was uns umgibt, ist die Natur und deshalb ist es so wichtig, die Lernenden frühzeitig an die Naturwissenschaften heranzuführen und deren Bedeutung für die Menschen aufzuzeigen. Es ist die Natur, die uns mit Nahrung, Energie und Luft versorgt. Ein Schritt zu einem durchgängigen, naturwissenschaftlichen Unterricht wurde durch die Einführung eines integrativen Faches 'Naturwissenschaften' geschafft. Der integrierte naturwissenschaftliche Unterricht erfüllt somit eine Brückenfunktion zwischen dem Sachkundeunterricht und dem Fachunterricht. Damit wird nahtlos angeknüpft an die Kenntnisse der Lernenden im Anschluss der 4. Klasse; erlerntes Wissen wird in der Orientierungsstufe erneut aufgegriffen, wiederholt oder vertieft. Anschließend verbindet der jeweilige Fachunterricht in Biologie, Chemie und Physik an und arbeitet unter anderem die Alleinstellungsmerkmale der jeweiligen Fachdisziplinen heraus. Dieser durchgängige naturwissenschaftliche Unterricht ermöglicht es, dass die Bedeutung der Naturwissenschaften für die Lernenden erkenntlich bleibt, erlernte Kenntnisse nicht vergessen werden. Das die Naturwissenschaften kontinuierlich unterrichtet werden und somit nicht aus dem Interessenfeld der Lernenden geraten ist ein weiterer Vorteil.

Der große Pluspunkt dieses Faches liegt darin, dass ein Phänomen aus der Sichtweise aller Naturwissenschaften beleuchtet wird. In dieser Chance liegt auch die große Herausforderung. Es reicht nicht, über die Kenntnisse von einer oder zwei Naturwissenschaften zu verfügen, sondern die Lehrperson muss sich die Kenntnisse zu allen Sichtweisen aneignen. Sie muss sich der Herausforderung stellen, Phänomene zu finden, an denen alle Naturwissenschaften gleichermaßen beteiligt sind.

Im Abschnitt 1.4.3 wurden anhand der Rahmenpläne der sechzehn Bundesländer Themenbereiche herausgearbeitet, die im integrativen Fach Naturwissenschaften in der 5. und 6. Klasse unterrichtet werden sollen. Insgesamt wurden zwölf Themenbereiche identifiziert, welche in der Tab. 1.9 aufgezählt sind. Zu diesen gehören naturwissenschaftliche Arbeitsweisen, Wasser, Luft, Boden, Stoffe, Sonne, Energie, Mensch, Pflanzen, Tiere, Technik und Informatik. Die Betrachtung der Inhalte, die unter dem Themenbereich vermittelt werden sollen, zeigte, dass die Themen Mensch, Pflanze und Tier hauptsächlich biologische Inhalte vermitteln, Sonne, Energie, Technik und am Rande auch Informatik physikalische Betrachtungen einbeziehen und die Themenbereiche Wasser, Luft, Boden und Stoffe chemische Zusammenhänge aufweisen. Der Themenbereich naturwissenschaftliche Arbeitsweisen wird in allen naturwissenschaftlichen Fächern benötigt und geschult. Ebenso gibt es zwischen den Themenbereichen keine klare Abgrenzungen, da auch der Bereich zur Pflanze chemische Bezüge enthält oder beispielsweise bei dem Bereich Sonne die biologischen und chemischen Aspekte zu Rate gezogen werden. Dies ist auch die Intention eines integrativen Faches Na-

turwissenschaften. Zusammengefasst kann geschlussfolgert werden, dass vier hauptsächlich chemische Themenbereiche vorliegen. Die Analyse der Rahmenpläne zeigt, welche Inhalte unter diesen Themenbereichen vermittelt werden sollten. Diese wurden ausführlich auf den Seiten 36 ff. aufgeführt. Die Tab. 1.15 zeigt die Übersicht der allgemeinen, verpflichtenden Inhalte der Lehrpläne für den integrativen, naturwissenschaftlichen Unterricht der vier chemischen Themenbereiche.

Themenbereiche	Wasser	Luft	Boden	Stoffe und ihre Eigenschaften
Inhalte	Eigenschaften Anomalie Aggregatzustände Stoffgemisch Kreislauf Raum Auftrieb Schutz	Zusammensetzung Eigenschaften Feuer Lebensraum Aerodynamik Schutz	Arten Profil Eigenschaften Verwitterung Humusbildung Raum Nutzen Schutz	Gemisch/Reinstoff Eigenschaften Trennverfahren Stoffumwandlung Atommodell

Tab. 1.15: Verpflichtende Inhalte der Lehrpläne in den chemischen Themenbereichen

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen Kontext zu identifizieren, unter dem möglichst viele Themenbereiche und dazugehörige Inhalte vermittelt werden können. Um dieses Ziel zu erreichen und das Interesse der Lernenden zu wecken, sollen die Themenbereiche in einen lebensweltlichen Zusammenhang eingebettet werden und ein übergeordneter Kontext für jeden Themenbereich gewählt werden. Hierbei wird das Konzept *Chemie fürs Leben* von der Universität Rostock mit in die Betrachtung einbezogen. Gerade in den unteren Jahrgangsstufen, aber auch im fortlaufenden Unterricht sind die Forderungen nach lebenstauglichen Experimenten und Inhalten ungebrochen. Der naturwissenschaftliche Unterricht in der Orientierungsstufe soll die Lernenden aus ihrer Lebenswelt abholen und zum Fachunterricht hinführen. Er erfüllt damit die Brückenfunktion von der Grundschule zur Sekundarstufe I. Der Ansatz *Chemie fürs Leben* knüpft genau an diesem Kerngedanken an und formuliert folgende Grundsätze, an der sich diese Arbeit orientiert [84, S. 72]:

1. Der Naturwissenschaftliche Unterricht soll einen erkennbaren Beitrag zur Allgemeinbildung leisten. Die Naturwissenschaften haben oftmals den Ruf abstraktes Wissen zu vermitteln. Die Lernenden sollen aber erkennen, dass die Naturwissenschaften zur Allgemeinbildung beitragen und sie durch ein naturwissenschaftliches Verständnis dazu befähigt werden, das eigene Handeln zu hinterfragen und zu bewerten. Der Allgemeinbildungsauftrag gilt kontinuierlich in allen Klassenstufen und soll die Lernenden befähigen, das erworbene Wissen in ihren Alltag zu integrieren beziehungsweise anzuwenden.
2. So oft wie möglich soll ein Alltagsbezug hergestellt werden. Dies ist gerade im Anfangsunterricht der Naturwissenschaften von Bedeutung, um die Lernenden nicht mit komplexen Themen zu verschrecken. Die Verwendung von Alltagsgegenständen leistet sowohl einen Beitrag zur Allgemeinbildung, da die Lernenden die verwendeten Gegenstände aus ihrem Alltag kennen, als auch zur Motivation, da an Wissen angeknüpft werden kann. Zum einen kann es problematisch sein, dass die verwendeten Stoffe zur Organischen Chemie zugeordnet werden, zum anderen sind die Wirkungsweisen teilweise sehr komplex. Hier muss eine didaktische Reduktion für die Orientierungsstufe erfolgen. Dies knüpft an den nächsten Punkt an:
3. Die geistigen Fähigkeiten und Voraussetzungen der Lernenden müssen berücksichtigt werden. Diese wurden von Piaget charakterisiert. In der 5. und 6. Klasse sind die Lernenden zwischen 10 und 12 Jahren alt und können noch nicht formal operational denken. Aus diesem Grund muss der Unterricht so erfolgen, dass anhand ausgewählter Beispiele der Zusammenhang deutlich ersichtlich wird.

4. Nichtsdestotrotz müssen unverzichtbare fachliche Inhalte vermittelt werden, die die Lehrpläne vorgeben. Der naturwissenschaftliche Unterricht soll nun nicht nur aktuelle, alltagsbezogene Themen unterrichten, die das Interesse der Lernenden wecken, sondern Grundkenntnisse vermitteln, an die der anschließende Fachunterricht anschließen kann.
5. Die Lernenden sollen so oft wie möglich selbst aktiv werden. Ein guter naturwissenschaftlicher Unterricht ermöglicht es den Lernenden selbstständig zu forschen und sie aktiv in den Lernprozess einzubeziehen. Der Besuch eines außerschulischen Lernortes ist dabei eine Möglichkeit sowie der forschend-entwickelnde Unterricht. Die eigenständige Durchführung von Schülerexperimenten ist jedoch ein zentrales Anliegen. Das eigenständige Experimentieren erhöht die Motivation und Leistungsbereitschaft der Lernenden und steigert maßgeblich die Behaltensleistung. Um dies zu gewährleisten und das Gefahrenpotential so gering wie möglich zu halten, wird möglichst oft auf Stoffe aus dem Alltag zurück gegriffen. Dies bietet den Vorteil, dass sie verhältnismäßig günstig im Handel zu erwerben sind, als auch ein geringeres Gefahrenpotential aufweisen.

Zu den chemischen Themenbereichen wird somit ein schülernaher, alltäglicher Kontext gesucht, unter denen alle Themenbereiche mit den zugehörigen Inhalten unterrichtet werden können. Hier konnten insgesamt vier Kontexte gefunden werden. Die Tab. 1.16 zeigt übersichtlich, welche Themenbereiche unter welchem Kontext behandelt werden können. Für den Themenbereich Wasser wurde der Kontext **Unsere Ozeane** ausgewählt. Die Ozeane bieten viel Spielraum und treffen auf das Interesse der Lernenden der 5./6. Klasse. Hierbei kann die Rolle der Ozeane für den Menschen verdeutlicht werden sowie die Fortbewegung, die Ernährung und die Gefahren. Das Thema Tiere lässt sich zum einem geschichtlich betrachten - der Weg vom Wasser zum Land - als auch die genaue Betrachtung der Wasserlebewesen. Die analoge Vorgehensweise eignet sich auch für den Schwerpunkt der Pflanzen. Ebbe und Flut sowie die thermische Entwicklung können unter dem Aspekt der Sonne genauer betrachte und auf Licht, Strahlung und Wärme eingegangen werden. In gleicher Betrachtungsweise bietet es sich an auch das Thema Energie zu thematisieren. Die Technik wird benötigt beim Schiffbau, Ölplattformen oder Off-Shore-Windparks. Die Inhalte zum Wasser mit allen Lösungsvorgängen und Wassereigenschaften bietet bei diesem Kontext die zentralen Aspekte. Der Bereich zur Luft kann nur bei der Atmung der Säugetieren angesprochen werden, der Boden jedoch spielt nahezu keine Rolle im Oberthema Ozean. Stoffe und ihre Eigenschaften können auch nur am Rand als Phänomen der Ozeanverschmutzung oder der Materialwahl beim Schiffbau thematisiert werden.

Der Themenbereich Luft wird unter dem Kontext **Luftraum und Luftfahrt** betrachtet, wo die Lufteigenschaften und die Luftzusammensetzung sowie die Atmosphäre genauer betrachtet werden. Der Inhalt zum Bereich Wasser ist nur am Rand realisierbar. Der Wasserdampf im Luftraum bietet hier eine Einstiegsmöglichkeit. Pflanzen, Tiere und Pflanzen benötigen Luft zum Stoffwechsel, hier ist es möglich Gemeinsamkeiten und Unterschiede herauszustellen. Die Sonne spielt im Zusammenhang mit dem Ozonloch, dem Treibhauseffekt und den Jahreszeiten eine entscheidende Rolle. Luftströmung und Wind sind zudem Phänomene, die aus chemischen und physikalischen Sichtweisen betrachtetet werden. Außerdem bietet es Anknüpfungspunkte für die Themen Technik oder Energie im Zusammenhang mit Windrädern und der Windenergie. Die Schwerpunkte Stoffe und Boden sind nur schwer zu integrieren.

Der **Schulgarten** bietet die Grundlage zum Themenbereich Boden. Hier können alle inhaltlichen Felder integriert werden, mit unterschiedlicher Vertiefung. Das Thema Boden mit der Zusammensetzung und den Bodeneigenschaften ist der zentrale Kernpunkt. Stoffe und Stoffeigenschaften können im Zusammenhang mit Gartengeräten erarbeitet werden, Gefahrstoffe sind am Beispiel der Dünger zu erarbeiten. Die Inhalte zu den Bereichen Luft und Wasser können sowohl direkt am Boden als auch anwendungsbezogen unterrichtet

werden. Wasser und Bodenluft spielen für die Bodenlebewesen und die Bodenbeschaffenheit eine wichtige Rolle. Der Teich bietet eine weitere Möglichkeit, um Wasserlebewesen oder Wasserpflanzen zu thematisieren. Die Sonne beeinflusst den Boden und auch die Lebewesen im und auf dem Boden. Die Jahreszeiten, die Keimung und die Photosynthese werden durch die Sonne beeinflusst. Lerngegenstände zur Energie und Technik sind durch Gartengeräte, wie Rasenmäher und Solarlampen zu realisiert. Pflanzen werden von der Keimung bis zur Ernte betrachtet. Hierbei kommt auch der Mensch ins Spiel, gesunde Ernährung, Bewegung und soziales Verhalten sind hier im Fokus. Bei der Artenvielfalt spielen Bodenorganismen, Wirbellose und auch Wirbeltiere eine entscheidende Rolle.

Als letztes großes Thema bleiben die Stoffe und die Stoffeigenschaften, welche thematisch unter dem Kontext **Müll und Recycling** eingeordnet werden. Auch bei diesem Kontext sind fast alle Themen zu integriert. Zunächst die Müllproduktion durch den Menschen und das Material des Mülls: Plastikmüll, Elektromüll und Atommüll. Mülltrennung schafft die Möglichkeit, Trennverfahren zu charakterisieren. Müllproblematik in den Ozeanen und auch in den Städten ist ein großes Thema für Lebewesen, Pflanzen und auch den Menschen. Auch bei den Trennverfahren im Recycling-Prozess spielt das Wasser und die Luft eine wichtige Rolle, Beispiele sind dort das Windsichten und das Schwimm-Sink-Verfahren. Müllverbrennung und Müllentsorgung spielen bei der Technik und Energiethematik eine wesentliche Rolle. Die Thematik rund um die Sonne kann nur schwer in das Oberthema integriert werden.

Thema	Wasser	Luft	Boden	Stoffe
Kontext	Unsere Ozeane	Luftfahrt	Schulgarten	Müll und Recycling
Wasser	X (Lebensraum)	X (Wasserdampf)	X (Bodenwasser)	X (Grundwasserbelastung)
Luft	- (Atmung)	X (Lebensraum)	X (Bodenluft)	X (Luftverschmutzung)
Boden	-	-	X (Lebensraum)	X (Deponie)
Stoffe	X (Schiffe)	X (Flugzeuge)	X (Gartengeräte)	X (Müll)
Sonne	X (Ebbe/Flut)	X (Ozonloch)	X (abiotischer Faktor)	-
Energie	X (Wärmekapazität)	X (Windenergie)	X (Erdwärme)	X (Müllverbrennung)
Mensch	(-) (Verhalten)	X (Atmung)	X (Lebensweise)	X (Müllproduzent)
Pflanze	X (Lebensraum)	X (Stoffwechsel)	X (Lebensraum)	X (Schutz)
Tiere	X (Lebensraum)	X (Stoffwechsel)	X (Lebensraum)	X (Schutz)
Technik	X (Ölplattform)	X (Luftfahrt)	X (Gartengeräte)	X (Trennverfahren)

Tab. 1.16: Themenbereiche mit ausgewählten Kontexten und zu integrierenden Themen

Alles in allem kann zusammengefasst werden, dass bei den Kontexten Müll und Recycling sowie dem Schulgarten nahezu alle Themenbereiche aus den Rahmenplänen integriert werden können. Deshalb soll nun ins Detail gegangen und die genaueren Inhalte betrachtet werden. Zunächst folgt ein Blick in den Schulgarten. Stoffe spielen bei der Bodenbearbeitung eine wichtige Rolle, das Körper-Stoff-Prinzip kann beispielhaft an Gartengeräten erarbeitet werden. Der Unterschied zwischen Reinstoff und Stoffgemisch kann anhand des Bodenkörpers selbst erarbeitet werden. Trennverfahren und Stoffumwandlungen spielen an verschiedenen Punkten im Schulgarten eine Rolle, zum Beispiel um Bodenarten zu trennen oder bei Lösungsvorgängen von Dünger in Wasser. Die Thematik Bodenwasser behandelt die Wassereigenschaften, die Wasseranomalie, die Aggregatzustände und der Wasserkreislauf. Der Teich bietet sich als Lebensraum an. Hier kann ebenso die Nachhaltigkeit und der Schutz angesprochen werden. Beim Themenbereich Luft wird der Vergleich der Zusammensetzung von Bodenluft und Atmosphärenluft gebracht. Feuer und Stoffumwandlung können beispielsweise an der Holzverbrennung erläutert werden. Die Luft bietet Lebensraum für Insekten und Vögel, welche unter anderen für die Bestäubung verantwortlich sind.

Der Boden wird als Nahrungsgrundlage in seinen Bestandteilen, dem Profil und als Raum betrachtet. Hier ist auch die Betrachtung des Nutzens und der Bodenschutz vorgesehen. Tiere und Pflanzen leben im und auf dem Boden und können somit genauer charakterisiert werden. Die Artenvielfalt und der Naturschutz sind zwei wichtigen Fakten, die in diesem Punkt betrachtet werden können. Wetter und Klima spielen eine entscheidende Rolle bei allen Vorgängen im und auf dem Boden. Das Sonnensystem und der Tag/Nacht-Zyklus beeinflussen zum Beispiel die Keimung. Der Mensch steht auch im Schulgarten im Mittelpunkt. Das Auspflanzen, die Pflege, der Schutz und die Ernte wird von den Lernenden selbst durchgeführt. Die Bewegung im Garten schult den gesunden Umgang mit dem eigenen Körper und ein eigenes Verhältnis zu Nahrungsmitteln. Sinnesorgane werden geschult, da alle Pflanzen anders riechen, schmecken und aussehen. Inhalte, die nicht thematisiert werden können sind Sexualität, Pubertät und das Thema Sucht.

Der Kontext Müll und Recycling hat seinen Schwerpunkt beim Themenbereich Stoffe und Stoffeigenschaften. Müll eignet sich, um den Unterschied zwischen Körper und Stoff heraus zu arbeiten sowie die Stoffeigenschaften der unterschiedlichen Materialien zu charakterisieren. Die unterschiedlichen Stoffeigenschaften leiten somit auch über auf mögliche Trennverfahren, wie das Windsichten. Hierbei wird das Thema Luft, die Entstehung von Wind und die Eigenschaften von Luft behandelt. Ein weiteres Trennverfahren ist das Schwimm-Sink-Verfahren, bei dem die Dichte der Stoffe ausgenutzt wird. Als Medium dient in der Regel Wasser, was eine Überleitung zum Themenkomplex Wasser schafft. Hierbei wird auch das Thema Stoffgemisch angesprochen. Der Themenkomplex Wasser eignet sich weiter, um die Bedeutung des Wassers, den Schutz und die Wassereigenschaften zu vertiefen. Die Deponierung von Müll im und auf dem Boden bietet sich zur Thematisierung an. Dies ist nur möglich, weil der Boden eine Filterfunktion hat und der Boden über ein breites Bodenprofil verfügt. Jede Bodenschicht besteht aus verschiedenen Bodenarten, welche unterschiedliche Eigenschaften haben. Der Boden bietet jedoch nicht nur Raum für Müll, sondern auch für Lebewesen, weshalb der Boden geschützt werden muss. Hier kann auch auf Artenvielfalt sowie Pflanzen und Tiere eingegangen werden. Der Mensch als Müllproduzent kann im Sinne eines nachhaltigen Umgangs thematisiert werden. Bei der Müllverwertung wird auf die Stoffumwandlung und das komplette Thema Feuer verwiesen.

Die Analyse zeigt, dass einige wichtige Themen und Inhalte nicht unter dem Kontext 'Müll und Recycling' integriert werden können, auch der Schulgarten beinhaltet nicht alle Inhalte der Themenbereiche. Nichtsdestotrotz können im Schulgarten bedeutend mehr Inhalte der Themenbereiche integriert werden. Der Schulgarten kann nach individuellen Bedürfnissen gestaltet werden und bietet dadurch ein breites Spektrum für einen abwechslungsreichen, phänomen- und problemorientierten Unterricht. Aus dieser Erkenntnis heraus ist das Ziel entstanden, ein Konzept für den integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht zu entwickeln, welches die chemischen Inhalte stärkt und möglichst viele Themenschwerpunkte integriert. Dies alles kann im Schulgarten umgesetzt und gewährleistet werden. Aus diesem Grund wird im folgenden Kapitel der Schulgartenunterricht hinsichtlich seiner historischen Entwicklung und hinsichtlich seiner aktuellen Situation analysiert.

KAPITEL 2

Der Schulgarten

Chinesisches Sprichwort: „Willst du einen Tag lang glücklich sein, betrinke dich! Willst du eine Woche lang glücklich sein, schlachte ein Schwein! Willst du ein Jahr lang glücklich sein, heirate! Willst du ein Leben lang glücklich sein, werde Gärtner!“

Schaut man in die Historie des Schulgartenunterrichts, dann wird schnell klar: Hier gab und gibt es Höhen und Tiefen. Derzeit erfährt der Schulgarten an allgemeinbildenden Schulen eine Renaissance, weil das Bewusstsein für die Natur, für gesunde Lebensmittel und für nachhaltige Landwirtschaft (parallel zur immer stärkeren Digitalisierung) intensiver wird.

Schulalltag heute: Der Fachunterricht zeichnet sich auch in offenen Unterrichtsphasen durch vergleichsweise wenig körperliche Aktivität aus. Kognitionen stehen vermehrt im Fokus. Außer in den Schulpausen und im Sportunterricht findet Bewegung eher in den Schülerköpfen statt. An genau dieser Stelle können die Naturwissenschaften einen wichtigen Beitrag leisten und die körperliche Aktivität von Schülern fördern: Der Schulgartenunterricht verknüpft körperliche Anstrengungen und naturwissenschaftliches Fachwissen auf spielerische Weise. Im Schulgarten ist es möglich, alle Sinne anzuregen und echte Erfahrungserlebnisse zu schaffen. Die Schüler können darüber hinaus den Schulgarten im Wandel der Jahreszeiten erleben und der Wert von regionalem Obst und Gemüse kann durch den eigenen Anbau einen neuen Wert erhalten (wie durch den Anbau von Radieschen, siehe Abb. 2.1).



Abb. 2.1: Radieschen

Neben der Förderung von handwerklichem gärtnerischen Geschick steigert der Schulgartenunterricht aber auch die Sensibilität der Schüler im Bezug auf Pflanzen und Tieren. Sie lernen sprichwörtlich den Boden unter ihren Füßen kennen. Damit schafft der Schulgarten

zahlreiche Gelegenheiten, um körperliche Aktivitäten der Schüler zu steigern, er schafft Emotionalisierung als innere Tiefenstruktur des Unterrichts und realisiert damit kognitive Aktivierung. Betont werden hierbei Prinzipien der Naturerziehung, der Gesundheitsförderung, der Verbraucherorientierung und der Ernährungsbildung.

Wie wichtig die angesprochenen Werte, Fertigkeiten und Kompetenzen sind, zeigt das folgende Beispiel aus dem *Praxisratgeber Schulgarten des pädagogischen Landesinstituts aus Rheinland-Pfalz* am Beispiel des Radieschens, dessen Natur anscheinend von Menschen unterschiedlichem Bildungsgrades nicht durchdrungen wurde [85].

Ein ganzes Bund Radieschen-Geschichten ... genauso passiert!

„*Lehramts-Studierende sollen Radieschen sähen. Sie bekommen Samen und ein Gefäß und säen die Radieschen im Kreis. Auf die Frage warum sie die Radieschen in Kreisform gelegt haben, kommt die Antwort: Ja aber wenn man Radieschen kauft, dann ist das doch auch ein Kreis.*“

„*Mit einer Gruppe Langzeitarbeitsloser wurden Radieschen gesäht und dann geerntet. Einer zieht ein Radieschen aus der Erde und fragt: Wo sind die anderen?*“

„*Mit einer Gruppe Schüler werden Radieschen geerntet. Keiner weiß, was das für ein Gemüse ist. Erst als die Betreuerin mehrere Radieschen zu einem Bund zusammenbindet, fällt der Groschen: Ach so, das sind Radieschen!*“

Diese Beispiele zeigen, dass Schüler, wie auch Studenten oder Erwachsene, durchaus auch ausschließlich Vorstellungen über die Natur und zum Pflanzenwachstum aus dem Supermarkt mitbringen und keine eigenen Erfahrungen im Anbau und in der Ernte haben. Genau an diesem Punkt kann angesetzt werden, um den Schülern im naturwissenschaftlichen Unterricht tatsächlich wieder mehr Bewusstsein für die Natur zu vermitteln.

Im nun folgenden Kapitel werden die historische Entwicklung des Schulgartenunterrichts, dessen konkrete Bedeutung für die Schüler und die Schwierigkeiten bei der Realisierung beleuchtet. Darauf aufbauend wird in Abschnitt 2.3 eine Rahmenlehrplananalyse aktueller Rahmenpläne aller Bundesländer vorgenommen. Diese wurden mit der Absicht der Entwicklung eines möglichen Schulgartenkonzepts für den naturwissenschaftlichen Unterricht hin untersucht, wobei die Frage im Raum stand, welche chemischen Inhalte sich mit dem natürlichen roten Faden eines Schulgartenunterrichts verknüpfen lassen.

2.1 Historische Entwicklung des Schulgartens

Der erste Schulgarten in Deutschland wurde im Jahr 1700 von *A. H. Francke* in Halle an der Saale anlegt [86]. Neben ihm arbeiteten noch weitere Didaktiker wie zum Beispiel *J. B. Basedow* und *C. Salzmann* an dem Konzept eines Schulgartens. Die von ihnen entwickelten Anlagen stellten jedoch Einzelprojekte dar, die den Botanikunterricht durch eine Erhöhung der Pflanzenvielfalt mittels verschiedener Präparate unterstützen sollten. Etabliert haben sich die Schulgärten in Deutschland im Rahmen der ersten Schulgartenbewegung im 19. Jahrhundert. In diesem Zuge wurden zentrale Gärten, heute *Botanische Gärten* genannt, in Großstätten eingerichtet. Diese haben zu jener Zeit Schulen mit Präparaten und Anschauungsmaterialien für den naturwissenschaftlichen Unterricht ausgestattet. So wurden speziell für den Biologieunterricht Pflanzen gezüchtet, die für Anschauungsmöglichkeiten liefern sollten (wie beispielsweise durch Präparate verschiedener Lillilengewächse

oder Kreuzblütengewächse). Diese zentralen Gärten schafften es, erhebliche Mengen an Blumen und Lehrmaterial auszuliefern. So wurden allein in Hannover im Jahre 1903 mehr als eine Millionen Pflanzen für Bestimmungsübungen beziehungsweise die Behandlung der Pflanzenanatomie im Biologieunterricht genutzt. Im Zuge dieses naturnahen Unterrichts stieg die Begeisterung der Schüler am naturwissenschaftlichen Unterricht selbst. Infolgedessen beteiligten sich immer mehr Schüler an den zentralen Schulgärten. Daraus erwuchs das Ziel, sowohl an städtischen als auch an ländlichen Schulen Schulgärten aufzubauen. Bei den Stadtschulgärten wurde der Schwerpunkt des Schulgartens in der Bereitstellung von Lehrmaterial gesehen. Auf dem Land hingegen kam die Idee auf, die Lernenden insgesamt besser auf das Landleben vorzubereiten. Dafür sollten die Schüler immer stärker selbst in den Gärten aktiv werden. Daraus entwickelten sich die ersten Arbeitsschulgärten [86]. Hinter dem Arbeitsschulgarten stand das *Konzept der Lehre zur Arbeitsamkeit*: Dies bedeutete, dass die Schüler durch die Arbeit im Schulgarten verstärkt in Reflexion darüber gelangen sollten, dass sowohl der Lebensmittelanbau als auch die Ernte von Lebensmitteln mit viel Arbeit und Pflege verbunden sind.

Die Einführung des Schularbeitsgartens an deutschen Schulen wird heute als die zweite Schulgartenbewegung angesehen. Das Bestreben, dass sich Schulen selbstständig mit Lebensmitteln versorgen können und die Schüler in diesem Bereich ausgebildet werden, war gerade in der Kriegs- und Nachkriegszeit des ersten Weltkriegs von enormer Bedeutung [87]. Zu diesem Zweck wurden an immer mehr Schulen eigene Schulgärten angelegt. Anfang der 1930er Jahre existierten schätzungsweise 30.000 Schulgärten in Deutschland. Die didaktischen Konzepte entwickelten sich ebenfalls weiter, die sich durch vier übergeordnete Prinzipien auszeichneten (individuelle Erfahrung, Gemeinschaftsarbeit, Beobachtungsarbeit, Freilufterziehung). Die Arbeit im Schulgarten differenzierte sich damit von einer rein gärtnerischen Arbeit zu einer ebenfalls geistig anspruchsvollen Tätigkeit [86].

- Individuelle Erfahrung: Die Schüler reflektieren durch die praktische Schulgartenarbeit ihr eigenes Handeln und Empfinden.
- Gemeinschaftsarbeit: Die Schüler planen die Umsetzung innerhalb des Schulgartens gemeinsam als Gruppe.
- Beobachtungsarbeit: Die Schüler beobachten durch Geduld und Ruhe die Vorgänge der Natur.
- Freilufterziehung: Die Schüler fokussieren sich auf die Natur und erfahrbare Phänomene.

Mit dem einsetzenden Nationalsozialismus in Deutschland veränderte sich der Schulgarten an den Schulen, er wurde funktionalisiert [88, S.356 ff.]. Der Biologieunterricht und die Naturwissenschaften sollten die Ideen der Rassenehre vermitteln und die Schüler auf das Kriegswesen vorbereiten [87]. Die Aufgabe des Schulgartens wurde nun darin gesehen, die Vererbungslehre, die Rassenlehre sowie die Prinzipien der Ertragssteigerung in Kriegssituation zu lehren. Der grundlegende Gedanke, dass Schüler selbstständig im Schulgarten die Natur erforschen und entdecken, wurde grundsätzlich abgelehnt.

Auf Grund dieser Entwicklung spielten die Schulgärten in den alten Bundesländern der Bundesrepublik Deutschland nach dem zweiten Weltkrieg keine bis nur noch eine untergeordnete Rolle [86]. Im Vordergrund stand der Wiederaufbau der Städte und ein Unterricht im Sinne der Wirtschaftlichkeit. Naturwissenschaftlicher Unterricht wurde erneut hauptsächlich curricular und an der Wissenschaft orientiert aufgebaut. Der Gedanke der Arbeitsschule und der des Arbeitsschulgartens wurden nicht mehr aufgegriffen. Viele Schulgärten verfielen und wurden nicht mehr genutzt.

In der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik wurden die Schulgärten stattdessen gefördert, indem das Schulfach *Schulgarten* eingeführt wurde. Hier sollten die Schüler gemeinschaftlich naturwissenschaftlichen Phänomene erleben und verstehen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit die Schüler mit dem neuen Schulfach für landwirtschaftliche Arbeiten begeistert werden: Naturerlebnisse schaffen, das war seine Aufgabe. Mit dem Fall der Mauer und der deutschen Wiedervereinigung wurde auch das Bildungssystem der Deutschen Demokratischen Republik überarbeiten. In diesem Zuge wurde in Anlehnung an die Rahmenpläne der alten Bundesländer das Unterrichtsfach Schulgarten teilweise mit in das Fach *Sachkunde* integriert. Die Bildungshoheit liegt in Deutschland jedoch bei den jeweiligen Bundesländern. Als einziges Bundesland hat Thüringen das Fach Schulgarten nicht integriert, sondern existiert noch heute als eigenständiges Unterrichtsfach [89].

Nicht nur der integrative naturwissenschaftliche Unterricht erhielt unter der Reformation durch die PISA und TIMMS einen neuen Aufschwung. Auch der Schulgarten konnte wieder an Bedeutung dazu gewinnen. Die Reformpädagogik und die ökologische Bewegung ließen Diskussionen zur Bewusstseinsförderung im Sinne der Nachhaltigkeit und der Umwelterziehung erwachsen [87]. Daraus entstand der Gedanke, dass der Schulgarten als natürlicher Schulort betrachtet wird, bei dem praxis- und naturbezogen lebensweltliche Themen exemplarisch vermittelt werden können. Das ganzheitliche Lernen mit allen Sinnen rückt in den Fokus und der Schulgarten wird als Raum für Naturerlebnisse, Umweltbildung aber auch als soziale Begegnungsstätte betrachtet. So erlebt die Schulgartenbewegung eine erneute Renaissance. Durch diverse Förderprogramme und Schulgartenwettbewerbe gewinnt der Schulgarten immer mehr an Bedeutung, auch wenn schätzungsweise heute noch nicht wieder die Anzahl an Schulgärten existieren, wie sie zu ihren Hochzeiten in den dreißiger Jahren.

Einen aktuellen Stand zu den Zahlen an Schulgärten in Deutschland zu geben, ist in der Tat sehr schwierig, da es keine Verzeichnisse über Schulgärten gibt. Dennoch gibt es viele Initiativen [85, 90–92], die sich mit der Förderung und der Unterstützung von Schulgärten beschäftigen. Die *Bundesarbeitsgemeinschaft für Schulgarten* [93] hat eine Internetseite ins Leben gerufen, auf der alle Bundesländer mit den verantwortlichen Koordinatoren verzeichnet sind. Hier finden sich zahlreiche Informationsmaterialien und Wettbewerbsausschreibungen. Im Jahr 2015 wurde in Cottbus eine Schulgartenjahrestagung einberufen, die sich mit der Integration junger Menschen in die Gesellschaft beschäftigte. Dabei wurde der Schulgarten als außerschulischer Lernort hervorgehoben, der es ermöglicht, die Integration junger Menschen zu fördern. In diesem Zusammenhang wurde von der Arbeitsgruppe der sogenannte *Cottbuser Appell* formuliert [94].

Cottbuser Appell

„*Nachhaltiges Handeln und Wirtschaften entscheiden über unsere Zukunftsfähigkeit. Natur- und Umweltbildung sind deshalb über-lebenswichtig und müssen bereits in jungen Jahren zum Alltag gehören. Die Entfremdung von der Natur muss gestoppt werden!*“

„*Natur- und Umweltbildung verlangen Lernorte, die die Begegnung mit der Natur erlebbar machen und praktische Kompetenzen vermitteln. Der Schulgarten ist ein solcher Lernort; er ist pädagogisch und didaktisch hervorragend geeignet, Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) zu fördern und praktische Fähigkeiten im Umgang mit der natürlichen Umwelt zu vermitteln.*“

„Auch der KITA-Garten ist für eine erste Begegnung mit dem natürlichen Umfeld von unschätzbarem Wert. Kenntnisse und Fertigkeiten im Umgang mit der Natur in frühester Jugend prägen später die Einstellung zur lebendigen Umwelt.“

„Schul- und KITA-Gärten sollen nicht Umweltinseln auf dem Gelände ihrer Einrichtungen sein, sondern sind vielmehr einzubetten in ein 'grünes Kleid', das alle Bereiche erfasst, insbesondere die Spielflächen und Schulhöfe. Das fördert und stärkt zugleich die Biodiversität und ihre Erlebbarkeit.“

„Natur- und Umweltbildung in Schul- und KITA-Gärten sollen sich darüber hinaus auf ein Netzwerk von weiteren Einrichtungen und der in ihnen tätigen Fachkräfte stützen können: z.B. Schulbiologie-Zentren, Naturschutzverbände und -stationen, Kleingartenanlagen, Obst- und Gartenbauvereine, Botanische Gärten. Durch Zusammenwirken von Eltern, Lehrern und Schülern ist ein positives Klima der Kreativität und Hilfsbereitschaft anzustreben.“

„Die Arbeit in Schul- und KITA-Gärten unterstützt die Integration von Menschen unterschiedlicher Herkunft und Weltanschauung – angesichts steigender Zuwanderung besonders dringlich – und fördert die Inklusion von Kindern und jungen Menschen mit besonderem Förderbedarf. Sie unterstützt auch solche Kompetenzen, die im Leben junger Menschen und für unsere Gesellschaft immer wichtiger werden, wie z.B. Verantwortung übernehmen und Kreativität entwickeln.“

„Schulgartenarbeit erfordert pädagogische und fachdidaktische Betreuung sowie deren Einbindung in die Schulorganisation. Dies verlangt eine qualifizierte Aus-, Fort- und Weiterbildung der Lehrkräfte. Ziel ist die Verankerung des Schulgartenunterrichts in allen Lehr- beziehungsweise Bildungsplänen und die Ausstattung der Schulen und KITAS mit entsprechendem Personal, Sachmitteln und Geld.“

„Vorhandene Schul- und KITA-Gärten sind zu sichern und zu reaktivieren. Dazu eignen sich z.B. Schulgarteninitiativen und Wettbewerbe, die gemeinsame Anstrengungen der Schul- und KITA-Gemeinschaft unterstützen. Neue Schul- und KITA-Gärten sind möglichst auf dem Gelände im Zusammenhang mit einer ökologischen Umgestaltung anzulegen. Partnerschaften mit Gärten in der Nachbarschaft oder Kleingartenanlagen sind geeignete Wege.“

„Die außerordentlich positiven Effekte und Erfolge der Arbeit in Schul- und KITA- Gärten verdienen öffentliche Anerkennung. Die Arbeit wird gegenwärtig durch große Leistungsbereitschaft der Lehrkräfte und ErzieherInnen erbracht und ist auch dem ehrenamtlichen Engagement der Eltern zu verdanken. Das wird den großen bildungspolitischen Herausforderungen, denen sich Schulen und KITAS annehmen müssen, nicht gerecht. Die Arbeit in und mit Schul- und KITA-Gärten verlangt deshalb die volle Unterstützung und finanzielle Förderung durch die Träger der Einrichtungen und die öffentliche Hand!“

Mit Hilfe des *Cottbuser Appells* gelang es der Bundesarbeitsgemeinschaft, ihren Zielen und Forderungen Ausdruck zu verleihen und Koordinatoren in allen Bundesländern zu finden, die an der Umsetzung der Forderungen mitwirkten. Somit hat die *Bundesarbeitsgemeinschaft Schulgarten* ein Netzwerk für den Schulgarten aufgebaut, bei dem interessierte Lehrer mitwirken können. Durch die Jahrestagungen und den öffentlichen Schulgartentag wird der Schulgarten in den Medien und den Ministerien in Erinnerung gehalten und die Bedeutung des Schulgartens hervorgehoben.

2.2 Bedeutung des Schulgartens

Schulgarten wird in erster Linie mit Biologieunterricht assoziiert. Er ist ein außerschulischer Lernort, um Pflanzen und Tiere zu bestimmen. Wie bereits erläutert, waren das auch zu Beginn der Schulgartentwicklung die Ziele. Heute ist die Bedeutung dieses außerschulischen Lernortes jedoch viel umfassender.

Ein Rückblick: Im Jahre 1972 tagte die deutsche Organisation der Vereinten Nationen für Bildung, Wissenschaft und Kultur (UNESCO)-Kommission und erarbeitete wichtige Ziele für Bildung und Umwelt [95]. Auf dem Weltgipfel (2002) in Rio wurde die Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) ins Leben gerufen. Bis zum Jahr 2014 erarbeitete die UNESCO anschließend die Ziele, die sie schlussendlich auf einer Weltkonferenz vorstellten: Das UNESCO-Weltaktionsprogramm BNE wurde gestartet. Dieses Programm sollte zunächst fünf Jahre laufen. Ziel war er, langfristig eine systematische Veränderung im Bildungssystem zu bewirken und in dem Zusammenhang die BNE fest zu verankern.

Dabei hat sich die UNESCO mit dem Ziel der Vermittlung einer sogenannten Gestaltungskompetenz ein sehr anspruchsvolles gesetzt. Im Detail bedeutet dies: Die Menschen sollen aus der Reflexion der Vergangenheit heraus und mit Hilfe von Zukunftsstudien selbstständig zu Schlussfolgerungen über ökologische und soziale Entwicklungen kommen, um damit Entscheidungen treffen zu können, die nachhaltige Entwicklungsprozesse realisieren [96]. Um die Umsetzung des gesetzten Zieles zu visualisieren und zu verdeutlichen, wurden insgesamt zwölf Teilkompetenzen formuliert. Bildungseinrichtungen, wie beispielsweise Kindergärten und allgemeinbildende Schulen sind aufgefordert, das Weltaktionsprogramm und damit die BNE zu unterstützen und die beschriebenen Teilkompetenzen umzusetzen. Der Schulgarten stellt hierbei einen idealen außerschulischen Lernort dar, um diese in den Lernprozess zu implementieren [97]. Das soll nun exemplarisch dargestellt werden:

Kompetenz zur Perspektivübernahme als Fähigkeit, weltoffen neue Perspektiven integrierend Wissen aufzubauen. Der Schulgarten eignet sich zum globalen Lernen, da auch fremdländische Obst- und Gemüsesorten angebaut und verarbeitet werden können.

Kompetenz der Antizipation als Fähigkeit, vorausschauend Entwicklungen analysieren und beurteilen zu können. Gartenarbeit bedarf viel Planung und vorausschauendes Handeln, wie beispielsweise das Düngen im Herbst für die Ernte im Folgejahr.

Kompetenz zur disziplinübergreifenden Erkenntnisgewinnung als Fähigkeit, interdisziplinäre Erkenntnisse zu gewinnen und nach diesen zu handeln. Schulgärten im integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht ermöglichen die Erarbeitung eines Kontextes aus biologischer, chemischer und physikalischer Betrachtung. Neben den Naturwirtschaften können auch Sprachen und künstlerische Fächer integriert werden, in dem beispielsweise die Pflanzenbeschriftungen auf Englisch formuliert werden.

Kompetenz zum Umgang mit unvollständigen und überkomplexen Situationen als Fähigkeit, Risiken, Gefahren und Unsicherheiten zu erkennen und abzuwägen. Gartenarbeit ist der Laune der Natur ausgesetzt. Durch gute Planung und Vorsichtsmaßnahmen können schwierige und unvorhergesehene Situationen gelöst werden.

Kompetenz zur Kooperation als Fähigkeit, gemeinsam mit anderen planen und handeln zu können. Erfolgreiche Schulgartenarbeit ist das Produkt guten Teamworks. Die Klasse beziehungsweise die gesamte Schule entscheidet, welche Pflanzen angebaut werden und wer welche Aufgaben übernimmt.

Kompetenz zur Bewältigung individueller Entscheidungsdilemmata als Fähigkeit, Zielkonflikte bei der Reflexion über Handlungsstrategien berücksichtigen können. Schulgartenarbeit beinhaltet nicht nur äußerlich schöne Aufgaben, sondern auch unbeliebte. Somit ist er ein guter Lernort, um Kompromissfähigkeit zu lernen.

Kompetenz zur Partizipation als Fähigkeit, an kollektiven Entscheidungsprozessen teilhaben zu können. Ein Schulgarten erblüht nur, wenn gemeinschaftlich entschieden wird und diese Entscheidungen auch umgesetzt werden.

Kompetenz zur Motivation als Fähigkeit, sich und andere motivieren zu können. Die Motivationskette *Interesse-Motivation-Planung-Handlung* kann sehr gut im Schulgarten umgesetzt werden. Die Schüler säen, pflegen, ernten und verarbeiten. Nicht in jeder Phase sind die Schüler gleich motiviert, aber mit einem entsprechendem Ziel vor den Augen, können sie sich immer wieder motivieren.

Kompetenz zur Reflexion auf Leitbilder als Fähigkeit, die eigenen Leitbilder und die anderer reflektieren zu können. Schon bei der Planung eines Schulgartens wird festgelegt, ob es sich eher um einen Arbeitsschulgarten, um einen Nutzgarten oder um ein Erholungsort handelt. Die Schüler setzen sich mit ihren eigenen Vorstellungen und denen ihrer Mitschüler auseinander und reflektieren ihr Bild eines Schulgartens.

Kompetenz zur zum moralischen Handeln als Fähigkeit, Vorstellung von Gerechtigkeit als Entscheidungs- und Handlungsgrundlage nutzen zu können. Unbeliebte Aufgaben im Schulgarten gerecht untereinander zu verteilen, zu entscheiden, wann welche Kompromisse in den Zielvorstellungen getroffen werden, sind nur einige Beispiele für Entscheidungsfindungen der Schüler.

Kompetenz zum eigenständigen Handeln als Fähigkeit, selbstständig planen und handeln zu können. Die Planung und Vorbereitung für den Schulgarten können die Schüler selbstständig übernehmen.

Kompetenz zur Unterstützung anderer als Fähigkeit, Empathie anderen gegenüber zu zeigen. Der Schulgarten ist ein gemeinschaftliches Projekt, gemeinsam werden Ernteerfolge gefeiert aber auch Niederlagen verarbeitet. Außerdem können die Schüler Empathie für Pflanzen und Tiere in ihrem Umfeld erlernen.

Diese zwölf vorgeschriebenen Teilkompetenzen der UNESCO können im Schulgartenunterricht erlernt werden [97, S.18 ff.].Hinsichtlich aktueller Diskussionen zur Inklusion sollte angemerkt werden, dass der Schulgarten insbesondere ein Ort sein kann, an dem Schüler mit ihren eignen Fertigkeiten und Fähigkeiten aktiv werden können. Schüler können sich auf diese Weise besser untereinander verstehen lernen.

Aus der naturwissenschaftlichen Sicht ist vor allem der dritte Punkt des *interdisziplinären Lernens* entscheidend. Der fächerübergreifende naturwissenschaftliche Unterricht hat das Ziel, Themen und Inhalte der drei Naturwissenschaften zusammenhängend zu beleuchten. Aus Sicht der Autorin ist das gerade im Schulgarten sehr gut möglich, da dieser einige Kontexte bietet, für deren Klärung alle drei Naturwissenschaften gleichermaßen eine Rolle spielen. Als Beispiel sei die Photosynthese genannt, auch wenn diese in der Orientierungsstufe nur phänomenologisch untersucht wird. Bei der Photosynthese spielen aus biologischer Sicht der Pflanzenaufbau und die Zellbestandteile eine entscheidende Rolle, aus physikalischer Sicht ist das Licht, die Lichtbrechung und -reflexion entscheidend, aus

chemischer Sicht sind es die ablaufenden Stoffwechselprozesse. Dieses Beispiel zeigt, dass der Schulgarten Lernkontexte bietet, unter dem exemplarisch alle drei Naturwissenschaften unterrichtet werden können.

In verschiedenen Zeitungsartikeln [98–100] wird wiederkehrend festgehalten, dass die Naturwissenschaften und vor allem Chemie und Physik bei Schülern unbeliebt sind. Die Naturwissenschaften führen im Verhältnis zu anderen allgemeinbildenden Fächern ein Schattendasein und werden seltener Leistungskurse in der Oberstufe belegt. Die Folge ist, dass Nachwuchswissenschaftler für naturwissenschaftliche Ausbildungswege fehlen [98]. Unter anderem werden als Gründe dafür angeführt, dass Chemie und Physik sich mit der unbelebten Natur befassen und deshalb nicht so 'alltagsrelevant' und 'interessant' sind. Der Schulgarten kann genau diese Problematik aufgreifen und unter anderem zeigen, dass das Medium Teich, in dem die Frösche und Fische leben, aus Wasser besteht[1]. Pflanzen benötigen wiederum Wasser für ihr Wachstum und müssen dieses aufnehmen und transportieren. Diese, in den Augen der Schüler, eher biologischen Phänomene, sind durch die Kapillarkräfte und den Wechselwirkung zwischen den Molekülen chemisch begründet. All diese Phänomene können die Schüler im Schulgarten entdecken und untersuchen und so wird ihnen erkenntlich gemacht, dass sie die Chemie und Physik tagtäglich umgibt und es keine reine Labor-Chemie beziehungsweise -Physik gibt. Als zweiter Kritikpunkt wird den beiden Naturwissenschaften die hohe Theorie und Formellast zugeschrieben. Zwar sind in den beiden Naturwissenschaften deutlich mehr Formeln nötig, als im Vergleichsfach Biologie, dennoch ist es gerade im Schulgarten möglich, immer wieder einfache, praktische Schülerexperimente durchzuführen und die Theorie auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Theorie ist jedoch ganz im Sinne von *Chemie fürs Leben* an geeigneten Stellen auch nötig, um die Alltagsphänomene im Schulgarten fachlich zu erklären und zu verstehen.

Der Schulgarten weist damit ein großes Potenzial auf, um die Inhalte der Lehrpläne der drei Naturwissenschaften aufzugreifen und zu vermitteln. Dabei kann der integrative Gedanke im hohen Maß gefördert werden. Des Weiteren ermöglicht der Schulgarten das Lernen am unmittelbaren, lebendigen Objekt, was Schülerfehlvorstellungen in den Fächern Chemie und Physik verhindern kann [101, S.58, 106 ff.]. Die Inhalte der Naturwissenschaften können gestärkt werden, indem die Schüler in einen bewussten Umgang mit der unbelebten und der belebten Natur kommen. In einer Zeit wachsender Digitalisierung finden Schüler Antworten zu ihren Fragen in Sekunden per Mausklick. In der Natur brauchen Pflanzen Tiere aber Zeit, um zu entstehen und zu wachsen. Der Schulgarten schult Kompetenzen wie beispielsweise die Geduld [97]. Alles in allem verfügt der Schulgarten über ein großes Potenzial zur Stärkung der Naturwissenschaften.

Mögliche Probleme und deren Lösung: Der Schulgarten bringt jedoch auch Arbeit und Verantwortung mit sich. Schüler haben in regelmäßigen Abständen Schulferien und gerade die Sommerferien sind mit sechs Wochen sehr lang für einen Schulgarten. Auch Wochenenden können für einen konstant wachsenden Schulgarten problematisch sein, beispielsweise bei trockenen Wetterperioden. Deshalb muss ein Schulgarten von Beginn an sehr gründlich geplant werden. Um auf diese Etappe vorzubereiten, hat das pädagogische Landesinstitut von Rheinland-Pfalz einen *Praxisratgeber Schulgarten* [85] veröffentlicht. In eben diesem werden für die Planung zehn Checkpunkte vorgeschlagen, die bei der Planung beachtet werden sollten. Unter der Beantwortung der folgenden zehn Fragestellungen sollte ein Schulgarten kategorisch angelegt werden.

[1] Oder dass die Wasserläufer nur über den Teich laufen können, weil Wasser eine besonders hohe Oberflächenspannung aufweist.

- Welcher Standort ist geeignet?
- Welche Infrastruktur ist nötig?
- Wer arbeitet im Schulgarten?
- Welche Nutzpflanzen sind geplant?
- Welche naturnahen Pflanzung sind geplant?
- Welche Beetformen sind geplant?
- Welche Kulturformen sind möglich?
- Wie soll das Erntegut verarbeitet werden?
- Welche Unterrichtsfächer sollen mit einbezogen werden?
- Was wollen wir mit dem Schulgarten erreichen?

Ideen für die Planung und die Umsetzung gibt es bereits zahlreiche, welche unter anderem auf der Internetseite der *Bundesarbeitsgesellschaft Schulgarten* [93], als auch im *Praxisratgeber Schulgarten* [85] und anderen Handreichungen [86, 92, 102] vorgestellt werden. So kann das Ferien- und Wochenend-Problem durch ein **'Gärtnern in Kisten'** gelöst werden: Mit mobilen Kisten können Schülern und/oder Lehrkräfte Teile des Gartens transportieren und zuhause weiter pflegen. Alternativ dazu kann ein rotierender Plan zur Versorgung erstellt werden oder der Hausmeister um Mithilfe gebeten werden.

Ein zweiter wesentlicher Faktor bei der Realisierung eines Schulgartens ist die **Zeit**. Die Schüler selbst werden hauptsächlich während des Unterrichts im Schulgarten tätig sein. Es gibt dennoch auch Aufgaben, die in der vorgesehenen Unterrichtszeit von den Schülern nicht geschafft werden können. Diese Aufgaben verbleiben dann auf den Schultern der Lehrkräfte. Dies könnte insofern gelöst werden, als dass möglichst viele Klassen im Schulgarten integriert werden, um ein Netzwerk aus Lehrern und Schülern aufzubauen, die den täglichen Aufgaben in den Schulgarten nachkommen. Außerdem muss sichergestellt werden, dass die Schulgartenarbeit möglichst viele Inhalte der Lehrpläne aufgreift, um die fachlichen Inhalte der jeweiligen Klassenstufe zu sichern.

Oftmals sehen sich die Lehrer auch **fehlender Akzeptanz** der Schüler gegenüber [97, S. 21]. Mögliche Ursachen können beispielsweise sein, dass die Schulleitung einen Schulgarten nicht unterstützt oder die Eltern nicht hinter dem Schulgartenkonzept stehen. Durch klärende Informationsveranstaltungen und Besichtigungen gut funktionierender Schulgärten kann diesem Hindernis begegnet werden. Sind die Schüler motiviert und begeistert, überträgt sich dieses auch auf die Eltern.

Die größte Herausforderung liegt im Faktor **Finanzierung**. Im jedem Garten fallen Verbrauchskosten an, wie zum Beispiel neue Blumenerde oder auch neue Samen [85]. Außerdem müssen einige Dinge von Zeit zu Zeit gebaut oder repariert werden, wie ein Kompost oder eine Regentonne. Diese Baumaßnahmen können meist nicht aus dem Budget der Schule gedeckt werden. Oftmals sind Schulen daher auf Spenden oder auf Investoren angewiesen. Die Partnersuche ist hierfür kann sehr mühselig sein. Die *Bundesarbeitsgemeinschaft Schulgarten* [93] zählt, ebenso wie der *Praxisratgeber Schulgarten* vom Pädagogischen Landesinstitut Rheinland-Pfalz [85], einige Partner auf, die Schulgärten unterstützen. Als Tipp werden Generationsgärten vorgeschlagen: Senioren erfreuen sich über die Arbeit im Garten mit jungen Menschen und können den Garten beispielsweise während der Schulferien pflegen. Im Gegenzug können sie zur Ernteverarbeitung eingeladen und bekocht werden. Auch Samen und Aussaatgut können oftmals in Kleingartenanlagen günstig erworben werden. Kleine Bäume können durch Ableger von den Schülern groß gezogen werden. Sollten Reparaturen anfallen, können sich die Schüler auch innerhalb eines Arbeit-Wirtschaft-Technik-Unterrichts damit beschäftigen. Zusätzliche Gelder können außerdem durch die Teilnahme an Schulgarten-Wettbewerben gewonnen werden [103–105].

Zusammenfassend heißt das, dass der Schulgarten viele Chancen bietet, um den Schulunterricht in nahezu allen Fächern zu ergänzen und zu vertiefen. Das Lernen am direkten Objekt spricht sowohl die affektive als auch die psychomotorisch-instrumentelle Ebene an [101]. Es wird die Sozialkompetenz ebenso geschult, wie auch die Methoden- und die Bewertungskompetenz. Trotz der vielfältigen Möglichkeiten, die einen Schulgarten auszeichnet, muss festgehalten werden, dass die Schulgartenarbeit auch einigen Hürden mit sich bringt. Diese beginnen bereits bei der Planung des Gartens und gehen darüber hinaus bis zur Bewirtschaftung. Nicht zu vergessen ist, dass die Schulgartenarbeit auch wetterabhängig ist. Nicht nur der Ertrag der Bewirtschaftung, sondern auch die Frage, ob der Unterricht draußen stattfinden kann, sind nicht planbar. Trotz der genannten Schwierigkeiten zeigen die vielen erfolgreichen Schulgärten, vorgestellt in den Zeitschriften wie beispielsweise 'Gärtnern macht Schule' [92], 'naturnahes Schulgelände' [102], 'Pflanzgarten der Franckeschen Stiftung' [106], 'Garten macht Schule' [86], 'Schulgärten blühen auf' [107], 'Praxisratgeber Schulgarten' [85] in Deutschland, dass sich die Arbeit und der Einsatz lohnen, um die Naturwissenschaften tatsächlich in der Natur zu unterrichten.

2.3 Status Quo des Schulgartens

Der Schulgarten gewinnt in den letzten Jahren wieder an Bedeutung und Relevanz. Die historische Entwicklung hat gezeigt, dass Schulgärten schon früher ein fester Bestandteil eines Schulalltags an Grund- und weiterführenden Schulen war. Durch die Rückkehr und Wiederbelebung alter Schulgärten existieren bereits einige Konzepte und Handreichungen, die den Schulen in der Zukunft Wege zu einem eigenen Schulgarten erleichtern sollen.

Inhaltliche Bezüge des Schulgartens in den Rahmenplänen der Bundesländer

Wie bereits umfassend geschildert, beginnt die naturwissenschaftliche Grundbildung im Sachkundeunterricht in der Grundschule. Eine Analyse der Grundschulrahmenpläne hat gezeigt, dass ein Großteil der Rahmenpläne den Schulgarten ausdrücklich als außerschulischen Lernort benennt. Einige Bundesländer drücken sich eher vage aus, sodass die Realisierung eines Schulgartens kein verpflichtendes Ziel ist, sondern eher eine Möglichkeit des naturnahen Erlebens darstellt. In Tab. 2.1 wird gezeigt, unter welchen Punkten die Bundesländer den Schulgarten in den Rahmenplänen der Grundschulen benennen.

Bundesland	Modul	Thema
MV	Naturphänomene	Pflanzen und Räume
Berlin	Naturphänomene	Pflanzen und Räume
Brandenburg	Naturphänomene	Pflanzen und Räume
Schleswig-Holstein	Natur und Umwelt	-
Hamburg	Unsere Erde	forschendes Lernen
Bremen	Natur	Pflanzen
Nordrhein-Westfalen	Natur und Leben	-
Rheinland-Pfalz	Perspektive Natur	-
Hessen	Naturphänomene und Wasser	Pflanzen, Naturerfahrung
Bayern	Natur und Umwelt	-
Baden-Württemberg	Natur macht neugierig	Tiere und Pflanzen in ihren Lebensräumen
Thüringen	Natur und Technik	Schulgarten als Fach
Saarland	Unbelebte Natur und Technik	Raum, Tiere und Pflanzen
Niedersachsen	Natur	Natur
Sachsen-Anhalt	Naturwissenschaftlicher Bereich	Pflanzen und Tiere,
Sachsen	Begegnung mit der unbelebten Natur	Schulgarten , Körper, Pflanzen und Tiere

Tab. 2.1: Schulgarten in den Rahmenplänen der Grundschulen aller Bundesländer, Stand 2019

Zum Teil kann festgestellt werden, dass der Schulgarten direkt benannt wird. Anderseits wird er auch lediglich als Möglichkeit des außerschulischen Lernens aufgezählt. Nur vereinzelt ist der Schulgarten fest in der Regelschulzeit verankert. Der Schulgarten wird im Modul 'Natur' der jeweiligen Bundesländer, wie zum Beispiel in Rahmenplan von Hamburg [50], in Mecklenburg Vorpommern [52] oder auch in Brandenburg [54] aufgegriffen. Die Analyse zeigt, dass 12 der 16 Bundesländer den Schulgarten als Teil des Sachkundeunterrichts benennen. Er wird als außerschulischer Lernort zur Begegnung mit der Natur angesehen und stellt Anschauungsmaterialien für das forschende Lernen bereit. Hauptsächlich wird im Schulgarten das Thema *Pflanzen* angesiedelt. Das Bundesland Sachsen widmet dem Schulgarten ein Wahlpflichtmodul. Auch in den Pflichtmodulen wird der Schulgarten im Lernbereich 'Begegnungen mit Pflanzen und Tieren' genannt und als außerschulischer Lernort besonders hervorgehoben. Im Wahlpflichtmodul steht der Schulgarten im Vordergrund. Hier werden Tiere und Pflanzen im jahreszeitlichen Rhythmus beobachtet, Unterschlüpfe und Wachstumsbedingungen untersucht. Ebenso können Lebensräume für Pflanzen und Tiere, sowie Nahrungsangebote für Tiere geschaffen werden und Schutzmaßnahmen für Pflanzen ergriffen werden. In Thüringen bildet der Schulgarten ein eigenes Schulfach.

Neben den Grundschulrahmenplänen wurden auch die Rahmenpläne der weiterführenden Schulen analysiert. Das Fazit: Nur sehr selten findet eine Fortsetzung des Schulgartens in den weiterführenden Schulen statt. Einige wenige Bundesländer wie Hamburg, Hessen, Niedersachsen und Saarland verweisen jedoch ausdrücklich auf den Schulgarten. In Berlin und Brandenburg besuchen die Lernenden die Grundschule bis zur sechsten Klasse, sodass auch hier in der Orientierungsstufe der Klassen fünf und sechs der Schulgarten als außerschulischer Lernort zur Verfügung steht. In der Tab. 2.2 wird übersichtlich gezeigt, unter welchen Punkten die Bundesländer den Schulgarten in den Rahmenplänen der weiterführenden Schulen benennen.

Bundesland	Rahmenplan des Faches	Thema
Berlin	Naturphänomene	Pflanzen und Räume
Brandenburg	Naturphänomene	Pflanzen und Räume
Hamburg	Naturwissenschaften/Technik	Pflanzen, Tiere, Menschen Ökosysteme
Hessen	Naturwissenschaften	Umgang mit Pflanzen
Saarland	Naturwissenschaften	Grundlagen der Naturwissenschaften
Niedersachsen	Naturwissenschaften	Pflanzen in unserem Leben
Sachsen	Biologie (Mittelschule)	Bau und Funktion von Pflanzen
Rheinland-Pfalz	Biologie	Pflanzen, Pflanzenorgane

Tab. 2.2: Schulgarten in den Rahmenplänen der Naturwissenschaften aller Bundesländer, Stand 2019

Derzeit existieren keine Statistiken über die aktuellen Zahlen der Schulgärten in Deutschland. Folgt man der *Bundesarbeitsgemeinschaft Schulgarten*, so ist ein deutlicher Aufschwung im Bereich Schulgarten zu verzeichnen. Zahlreiche Schulgartenwettbewerbe werden von Ministerien unterstützt und finanziell gefördert. Diese Unterstützung und Förderung kann mit dazu beitragen, dass immer mehr Schulen einen Schulgarten aufbauen oder wieder beleben. Im Folgenden soll ein detaillierter Blick auf die einzelnen Bundesländer gelegt werden.

Baden-Württemberg

Im Rahmenplan der Grundschulen wird der Schulgarten als außerschulischer Lernort benannt [58]. Die Schüler sollen innerhalb des Faches Sachkunde Naturphänomene im Schulgarten erkunden. Außerdem ist der Schulgarten ein fester Bestandteil in den Rahmenplänen des weiterführenden Unterrichts in Baden-Württemberg. Sogar an Gymnasien ist der

Schulgarten namentlich in den Lehrplänen verankert. Damit hat Baden-Württemberg ein Alleinstellungsmerkmal.

Diese feste Verankerung ist auch auf der Internetseite der *Bundesarbeitsgemeinschaft Schulgarten* zu erkennen [93]. Hier können sich Lehrer über die Gartenakademie, moderne Schulgartenarbeit, über das Landesschulzentrum für Umwelterziehung und über den Landesverband der Gartenfreunde informieren. Neben diesem Anlaufpunkt hat das Land Baden-Württemberg einen Leitfaden für Schulgärten unter dem Titel *'Gärtnern macht Schule'* veröffentlicht [92]. Hier finden sich weitere Informationen rund um die Geschichte des Schulgartens.

Im Jahr 2005 wurde von der Karlsruher Universität eine Studie zur Erhebung der Zahl der Schulgärten in Baden Württemberg durchgeführt [108, 109]. Dazu wurden 4000 allgemeinbildende Schulen im gesamten Bundesland angeschrieben und um die Ausfüllung eines Fragebogens gebeten. Es antworteten 35,9 % aller Schulen. Anhand der Antworten wurde eine Hochrechnung über die Zahl Schulgärten im Land angestellt. Demnach verfügen 43 % aller Grundschulen über einen eigenen Schulgarten. Alle Gesamt- und Waldorfschulen des Landes haben einen eigenen Schulgarten oder naturnahes Schulgelände. Von den Gymnasien in Baden-Württemberg können 38,6 % auf Schulgärten zurückgreifen, bei den Haupt- und Realschulen sind es 25 %. Die Studie zeigt, dass flächendeckend, wie auch durch den Rahmenplan gefordert ist, der Schulgarten einen festen Bestandteil an Schulen bildet.

Bayern

In den Grundschulen Bayerns ist der Schulgarten Teil des Sachkundeunterrichts (Bereich: Naturphänomene) [44]. Daran knüpfen auch die weiterführenden Schulen im Unterrichtsfach 'Natur und Technik' an [65, 66]. Jedoch ist das Modul *Schulgarten* hier ein Wahlpflichtmodul.

Um den Schulgarten als Wahlpflichtmodul an den weiterführenden Schulen erfolgreich umzusetzen, wurde 1992 ein Schulgartenkonzept entwickelt. Als Einstieg und Begründung des Konzepts heißt es: „Schulgärten können als unmittelbare Erlebnis-, Erfahrungs- und Experimentierräume mit natürlicher Umwelt vor Ort wesentlich zur Umweltbildung beitragen." [87, S.25] Das vorgeschlagene Konzept gliedert sich in die vier Abschnitte „Der Boden und seine Eigenschaften", „Der Nutz- und Ziergarten", „Naturnahe Lebensräume" und „Arten- und Biotopschutz".

Im Jahr 2015 veröffentlichte die Bayrische Staatsregierung eine überarbeitete Fassung zum Schulgartenkonzept [107]. Unter dem Titel *'Schulgärten blühen auf!'* wurde eine Handreichung veröffentlicht, die den Lehrern zahlreiche, erfolgreiche Schulgärten vorstellt, sowie eine Liste mit wichtigen Anlaufstellen und Adressen aufgezählt, an die sich interessierte Lehrer wenden können. Die Forderung dieser Handreichung ist klar formuliert: „*Schulgärten und naturnahe Schulumfelder sind wertvolle Lernorte.* "

Trotz der umfangreichen Konzepte aus dem Jahr 1992 zum Wahlpflichtmodul Schulgarten und der Handreichung von 2015 bleibt der Schulgarten in Bayern eine freiwillige Projektarbeit. Eine feste Verankerung innerhalb des Curriculums ist nicht vorgesehen. Obwohl der Schulgarten als solcher in den Rahmenplänen der Verbundfächer 'Sachkunde' und 'Natur und Technik' erwähnt wird, findet sie in den fachzentrierten Rahmenplänen keine Erwähnung. Außerdem gibt es keine genauen Angaben, wie viele Schulen in Bayern über einen eigenen Schulgarten verfügen oder einen Zugang zu einem Gemeinschaftsgarten haben [110]. Ebenso wenig ist bekannt, wie viele Lehrer beziehungsweise Schulen einen Schulgarten in ihren Unterricht integrieren.

Berlin
In Berlin bildet der Schulgarten kein eigenes Unterrichtsfach. Nur im Grundschulbereich ist er fester Bestandteil des Rahmenplans [54]. Hier erfolgt Schulgartenarbeit also von der ersten bis zur sechsten Klasse. Damit bietet der Rahmenplan erste Möglichkeiten für die Lehrer, die Naturwissenschaften im Schulgarten zu unterrichten. Der Rahmenplan selbst lässt in seiner Umsetzung viel Freiraum. Folgende Themenschwerpunkte werden jedoch vorgeschrieben: „Erde – Wie sieht es hier aus und was wächst bei uns?", „Schulgarten erkunden, einrichten und pflegen", „Markt – Woher kommt unser Obst und Gemüse, Wachstumsbedingung und Keimversuche". Es ist zu vermerken, dass der Schulgarten in Berlin stark gefordert und gefördert wird.

Der Erste Bundesschulgartentag fand unter dem Motto *'Heute für morgen sähen'* am 20.Juni 2017 in Berlin statt. Zur Begrüßung anlässlich der Tagung fanden Eröffnungsreden von Dagmar Pohle, Bezirksbürgermeisterin von Berlin-Marzahn und Gordon Lemm, Bezirksstadtrat für Schule, Sport, Jugend und Familie statt. Beide politischen Träger bekräftigten den politischen Willen, allen Schulen in Berlin in der Zukunft einen Schulgarten zur Verfügung zu stellen [93]. Berlin verfügt demzufolge über ein sehr gut ausgebautes grünes Netzwerk und großflächige Gartenarbeitsschulen, die ihre Pforten für alle Kindertagesstätten und allgemeinbildenden Schulen öffnen. Zusätzlich arbeiten innerhalb der Gartenarbeitsschulen Fachpersonal wie Gärtnermeister und Biologen. Diese Gartenanlagen bieten Konzepte zum fächerübergreifenden Unterricht für alle Jahrgangs- und Altersstufen an.

In Berlin ist die letzte Studie zur Erhebung der Zahlen an Schulgärten im Jahr 2006 von der TU Berlin durchgeführt worden. Demnach haben 35 % aller Schulen in Berlin einen eigenen Schulgarten [111, 112].

Brandenburg
Brandenburg und Berlin arbeiten oftmals gemeinsam an ihren Rahmenplänen und verfolgen dabei ähnliche Lerninhalte. Die Rahmenpläne für Grundschulen unterscheiden sich jedoch. So kann im aktuellen Rahmenplan (Fassung 2004) der Grundschulen von Brandenburg bereits der Schulgarten namentlich gefunden werden [54]. Erwähnung findet er in den folgenden Bereichen. Klasse 1/2: Naturphänomene erschließen, Pflanzen untersuchen, Entwicklung und Veränderung von Pflanzen beobachten und dokumentieren, Pflanzen im jahreszeitlichen Wechsel beobachten, Keimversuche, Gärtnerei auf dem Fensterbrett, für die Pflege von Pflanzen Verantwortung übernehmen, Zimmerpflanzen, Pflanzen auf dem Schulhof; Räume nutzen, Schulgarten; Klasse 3/4: Naturphänomene erschließen, Pflanzen, Wachstums- und Entwicklungsbedingungen von Pflanzen durch Experimente bestimmen und dokumentieren, Entwicklung von Pflanzen in Abhängigkeit vom jeweiligen Standort.

Zusätzlich zu den Schulgärten in den Schulen existiert in Cottbus ein *'Pädagogisches Zentrum für Natur und Umwelt'*. Diese ist eine große Gartenanlage, die für Schüler aller Altersstufen Möglichkeiten bietet, den Sachkundeunterricht im Schulgarten durchzuführen. Das Zentrum bietet hierfür folgende Themen: Energiefelder, Pfad der Sinne, Spiel und Begegnungsfläche, Streuobst- und Wildblumenwiese, Feucht- und Trockenbiotop, Kräutergarten, Bienenhaus [113]. Lehrer können innerhalb ausgewählter Module, je nach Jahreszeit, einen Schwerpunkt für den Besuch im Garten wählen. Für die Grundschule sind dies folgende:

- Kräuteröl und Kräuteressig selbst gemacht
- Die Kartoffel eine tolle Knolle
- Gesunde Ernährung: Kennenlernen der Nahrungspyramide und Zubereiten einer gesunden Mahlzeit
- Adventsgestecke

- Weihnachtsprojekte – Kreatives Gestalten mit Naturmaterialien und Backen von Weihnachtsplätzchen
- Natur im Winter: Vögel im Winter und Winterknospen der Bäume
- Luft erforschen - Luft ist nicht nichts
- Warme Luft erforschen
- Luftdruck und Vakuum (4.Klasse)
- Feuer – Kleine Experimente, Feuer in der Kunst und Backen von Stockbrot
- Was wächst denn da? – Mitarbeiten bei der Jungpflanzenanzucht im Gewächshaus und Kennenlernen der Frühblüher im Garten
- Die Kirschblüte
- Leben am und im Teich
- Die Blumenwiese entdecken
- Vom Korn zum Brot

Für die fünfte und sechste Klassenstufe schließen sich folgende Modulthemen an:

- Gesunde Ernährung
- Einführen ins Mikroskopieren
- Samenpflanzen
- Pflanzenfamilien
- Fortpflanzen von Samenpflanzen
- Blüte
- Früchte und Samen
- Bestimmungsübung

Auch für die weiterführenden Schulen hat das Zentrum ein breites Angebot entwickelt, auf das gerade der Biologieunterricht zurückgreifen kann und sich dort Anregungen holen oder Projekttage absolvieren kann:

- Natur erleben mit allen Sinnen
- Was blüht denn da?
- Auch Pflanzen besitzen Organe
- Wie heißt die Pflanze, die dort wächst?
- Gegen alles ist ein Kraut gewachsen: Heil- und Gewürzpflanzen
- Vielfalt einheimischer Pflanzen und Tierarten in einem Lebensraum
- Gesunde Ernährung
- Vom Korn zum Brot
- Die Kartoffel eine tolle Knolle
- Lavendel - eine Zauberpflanze
- Wunder der Natur - Aloe Vera
- Das Leben im Wassertropfen

Außerdem spricht sich das Zentrum ausdrücklich für die Integration von förderbedürftigen Schülern aus und unterstützt Schüler mit Lernschwierigkeiten. Wie bereits im Abschnitt 2.1 auf der S. 52 ff. erwähnt wurde, fand im Jahr 2015 in Cottbus eine große Offensive für den Schulgarten von der *Bundesarbeitsgemeinschaft Schulgarten* statt. Hier wurde der *Cottbuser Appell* formuliert. Das Zentrum richtet seine Zielstellung und seine Vorhaben nach eben diesem Appell und versucht, möglichst vielen Schülern aus Cottbus und dem Umland den Schulgarten näher zu bringen.

Für das Bundesland Brandenburg gibt es zum heutigen Zeitpunkt noch keine Erhebung über die Anzahl und die Qualität der Schulgärten. Aus diesem Grund können nur Mutmaßungen und Schätzungen vorgenommen werden. Brandenburg als eines der neuen Bundesländer hatte zu den Zeiten vor dem Mauerfall an nahezu jeder Schule einen Schulgarten. Wie viele Schulgärten nach dem Mauerfall weiter genutzt wurden oder während der neuesten Schulgartenbewegung reaktiviert wurden, konnte bisher nicht festgestellt werden.Da der Schulgarten im Rahmenplan erfasst ist, lässt sich vermuten, dass nahezu jede Schule einen Zugang zu einem Schulgarten hat.

Bremen
Die Rahmenpläne der Grundschule sehen den Schulgarten nur fakultativ vor. Im Grundschulbereich wird an insgesamt drei Stellen auf den Schulgarten hingewiesen. Der erste Hinweis findet sich in der Beschreibung der Lernfelder. Hier heißt es, die Schüler sollen *„Verantwortung für die artgerechte Pflege und für die Aufzucht von Pflanzen im Klassenzimmer oder im Schulgarten übernehmen“*. Die beiden folgenden Vermerke sind auf den Bereich *Pflanzen* ausgelegt, wo der Lerninhalt entweder im Klassenraum oder aber im Schulgarten erfasst werden soll. Inhaltlich beziehen sich diese auf die Entwicklung und die Veränderung von Pflanzen im jahreszeitlichen Wechsel und auf die Aufzucht und die Pflege von Pflanzen, wobei der Schulgarten als außerschulischer Lehr- und Lernort namentlich erwähnt wird. An den weiterführenden Schulen gibt es keinen Vermerk zum Schulgarten. Dennoch ist in Bremen insgesamt eine positive Entwicklung in Richtung Schulgarten erkennbar. Im Jahr 2016 wurde die Schulgarteninitiative *FlorAtrium* [114] gegründet, die für ihren Start zunächst in einer großen Umfrage die Ausgangslage untersuchte. Hierbei wurden zahlreiche Schulen aller Schularten angeschrieben und zum Schulgarten, sowie dem Schulgartenunterricht, befragt. Es zeigte sich, dass in Bremen gut 30 % aller Schulen einen Schulgarten haben und diesen auch effektiv im Unterricht nutzen – und das angesichts der aktuellen Rahmenlehrplansituation.

Die Studie des FlorAtrium zur Schulgartensituation in Bremen brachte ebenso hervor, dass viele Lehrer Interesse und Motivation mitbringen im Schulgarten zu arbeiten, sich aber teilweise unvorbereitet fühlen. Dieses Problem hat die Initiative aufgegriffen und insgesamt vier Lehrerfortbildungen für den Schulgarten zu folgenden Schwerpunkten entwickelt.

- Grundlagen des biologischen Gärtnerns im Schulgarten
- Urban Gardening: Mit Palettenbeeten, Bäckerkisten den Schulhof gestalten.
- Ressourcen- und Artenschutz im Schulgarten
- Schulgartenmanagement und Lernkonzepte

Hamburg
Im Rahmenplan für Hamburgs Grundschulen lässt sich ein didaktischer Grundsatz herausfiltern, der die Vorteile des Schulgartens benennt: *„Ein wichtiger Erfahrungsraum für das naturbezogene Lernen stellt dabei die Arbeit im Schulgarten dar.“ [50]* Die Rahmenpläne der weiterführenden Schulen in Hamburg enthalten keinen Hinweis auf die Schulgartenarbeit. In Hamburg gibt es derzeit keine Erhebung über die Schulgartensituation, der Schulgarten wird jedoch vom Land gefördert. Es existiert auf dem Bildungsserver Hamburgs beispielsweise eine Kategorie zum Schulgarten, worin Rahmenpläne, Beschreibungen verschiedener Themenfelder, Linksammlungen und eine Liste von Hamburgs Schulgärten zu finden sind. Nach Angaben des *Landesinstituts für Lehrerbildung und Schulentwicklung Hamburg* haben 25 % aller Schulen in Hamburg Zugang zu einem Schulgarten [115]. Diese Statistik lässt sich jedoch schulartenspezifisch nicht weiter differenzieren.

Hessen
Der Rahmenlehrplan der Grundschulen, aus dem Jahr 1995, legt einen deutlichen Fokus auf den Schulgarten. Er ist im Primarbereich ein fester Bestandteil des Schulunterrichts[2]. Unter dem Schwerpunkt *'Raumgestaltung'* wird der Schulgarten unter einem gesonderten Stichpunkt hervorgehoben. Hier heißt es: *„Ein Schulgarten hat heute zunehmend neben seiner traditionellen Funktion im naturkundlichen Sachunterricht eine Bedeutung für die praktische Umwelt- und Gesundheitserziehung."* [49] Für die weiterführenden Schulen in Hessen ist die Situation der Schulgärten relativ schwer zu erfassen. Es existiert eine nicht bekannte Zahl an Schulen, die integrativ die Naturwissenschaften unterrichten, also nach dem alten Lehrplan. Ähnlich sieht die Situation auch bei den Schulgärten aus. Die Rahmenlehrpläne für die weiterführenden Schulen enthalten keinen Vermerk auf den Schulgarten, auch nicht in der Orientierungsstufe. Der ehemalige Rahmenplan von 1996 für die integrativen Naturwissenschaften befasst sich stattdessen mit dem Schulgarten im Bereich der Pflanzen. Dort wird das Ziel der gemeinsamen Schulgartenarbeit verankert. Alle Schulen, die integrativ gearbeitet haben, dürften auch nach der Absetzung des Faches weiter integrativ arbeiten. Demzufolge lässt sich vermuten, dass einige integrierte Gesamtschulen über einen Schulgarten verfügen und diesen für den Unterricht nutzen.

Mecklenburg-Vorpommern
In Mecklenburg-Vorpommern ist der Schulgarten ein fester Bestandteil des Grundschulunterrichts [52]. Im Themenfeld 'Naturphänomene erschließen' wird das Lernziel 'Entwicklung und Veränderung von Pflanzen beobachten und dokumentieren' beschrieben, das durch den Schulgartenunterricht realisiert werden soll. Gleiches gilt für den Schwerpunkt 'Für die Pflege von Pflanzen Verantwortung übernehmen'. Beide Lerninhalte sind in der ersten und zweiten Klasse angesetzt, sodass ein frühzeitiger Zugang zum Schulgarten gewährleistet ist. Auch in der dritten und vierten Jahrgangsstufe ist der Schulgarten namentlich erwähnt, wobei formuliert wird: Die Schüler sollen: 'Verantwortung für Räume übernehmen; Verhaltensregeln; Wachstums- und Entwicklungsbedingungen von Pflanzen durch Experimente bestimmen und dokumentieren, Entwicklung von Pflanzen in Abhängigkeit vom jeweiligen Standort' beobachten. In den Lehrplänen der weiterführenden Schulen findet sich kein Hinweis auf den Schulgarten.
Der Schulgarten ist ein fester Bestandteil der Biologie-Lehrerausbildung an der Universität Rostock. Die Universität verfügt im Botanischen Garten über einen Schulgarten, an denen Lehreramtsstudenten Schulgartenunterricht erproben. Organisiert von *Retzlaff-Fürst*, fand vom 27. – 28. September 2018 eine Schulgartentagung in Rostock unter dem Motto 'Für das Leben lernen' in statt.
Eine Schulgartenerhebung gibt es für das Bundesland nicht. Somit kann nur geschätzt werden, ob und wie viele Schulen in Schulgärten unterrichten. Der Wunsch und politische Wille scheint gegeben, da der aktuelle Ministerpräsident *Backhaus* Schulgartenwettbewerbe finanziell unterstützt.

Niedersachsen
Die Lehrpläne der Schulen geben wenig Hinweise auf die Realisierung von Schulgartenunterricht, weder im Grundschulbereich noch an den weiterführenden Schulen. Den einzigen Anzeichen auf die Umsetzung eines Schulgartenunterrichts lässt sich im Rahmenlehrplan

[2]Verpflichtend wird er in folgenden Themenbereichen angesiedelt: Ästhetische Erfahrung sammeln, gemeinsam einen Schulgarten anlegen und pflegen; Erfahrung mit Mengen und Strukturen; Im Schulgarten gerade Linien ziehen, Pflanzen abzählen; Erfahrung mit Natur und Technik, Anlage, Pflege und Nutzen eines Schulgarten; Sachunterricht erschließt die Lernumwelt, Schulgarten; Pflege von Pflanzen über den Jahreszyklus, Einblicke in deren Entwicklungsphasen; Vermehrung von Pflanzen und ihre Lebensgrundlagen; Boden, Wasser, Luft, Licht im Schulgarten.

der integrierten Gesamtschule finden. Dieser ist im Bereich *'Pflanzen in unserem Leben'* zu finden [70]. Unter dem Stichpunkt *'Unser Schulgarten'* werden folgende Lerninhalte formuliert: *„Herbarium, Pflanzenfamilien, Steckbriefe, Bestimmungsschlüssel, Zusammenhang zwischen Ansprüchen und Standort, Pflanzen im Wandel der Jahreszeiten, Vermehrung bei Pflanzen, Aufbau und Verbreitung von Samen und Früchten, vegetative Vermehrung, Bedeutung von Pflanzen für die Umwelt, einheimische Pflanzen, Artenschutz."*
Die Bemühungen in Niedersachsen für den Schulgartenunterricht sind deutlich zu erkennen: Universitäten [116] und auch die Koordinatoren der *Bundesarbeitsgemeinschaft Schulgarten* [93] zeigen Engagement für den Schulgarten. Von Seiten des Kultusministeriums hingegen wird der Schulgarten bisher kaum betrachtet und ist somit auf Eigeninitiative der Lehrer angewiesen [116].

Die Universität Vechta veröffentlichte im Jahr 2014 eine Studie zur Schulgartensituation in Niedersachsen [116]. Die Rücklaufquote betrug jedoch nur 11 %, das entspricht 325 Schulen. Von den Schulen, die geantwortet haben, verfügen 241 Schulen über einen Schulgarten und weitere 23 weitere haben zu der Zeit einen Schulgarten in Planung. Die Studie legte außerdem offen, dass die meisten Schulgärten 1990 gegründet wurden und seither die Zahl stetig steigt.

Nordrhein-Westfalen
In den Rahmenplänen Nordrhein-Westfalens findet man derzeit keine Hinweise auf einen Schulgartenunterricht. Die Schulgartenarbeit liegt damit komplett auf Seiten der Eigeninitiative der Lehrer. Unterstützung liefern hierbei der *Naturschutzbund* (NaBu) und die *Natur- und Umweltschutzakademie* (Nua). Der NaBu schreibt jährlich einen Schulgartenwettbewerb aus und zeichnet schmetterlingsfreundliche Gärten mit einer Plakette aus. In diesem Zusammenhang fördert der NaBu die Schulen vor allem finanziell. Die Nua unterstützt Schulgärten vor allem mit Materialien, nützlichen Adressen und Umfragen zum Schulgarten.
Im Jahr 2009 fand eine Umfrage zur Schulgartensituation in Nordrhein-Westfalen statt, zusätzlich wurden 293 Schulen in Köln zur Schulgartensituation befragt. Beide Befragungen ergaben keine Zahlen zur aktuellen Schulgartensituation. Jedoch wurde auch das Interesse und die Bereitschaft für den Schulgarten erfragt. Hier zeigte sich, dass die Lehrer des Landes ein großes Interesse für den Schulgarten haben, bei gleichzeitig hohem Bedarf an Unterstützung und Beratung. Aufgrund dessen wurde ein zweijähriges Projekt mit dem Titel *'Schule als Garten'* ins Leben gerufen [117]. Die durchweg positive Rückmeldung aus dem Projekt führte zu einer Verlängerung unter dem neuen Titel *'Kompetenznetzwerk Schule als Garten'* [118]. Ziel war es, dass sich bereits engagierte Lehrer mit interessierten Lehrern in Workshops, Fortbildungen und gemeinsamen Projekten austauschen. Aktuell wird das Projekt von engagierten Lehrern ehrenamtlich fortgeführt [118]. Aus dem Abschlussbericht des Projekts geht hervor, dass die Anzahl der Schulgärten im Land kontinuierlich wächst.
Zusammenfassend kann aus der Analyse geschlussfolgert werden, dass auch in Nordrhein-Westfalen ein positiver Trend zum Schulgarten zu verzeichnen ist. Durch die Unterstützung von Dritten, Projekten und Institutionen erfahren Lehrer Hilfen und Unterstützung in der Umsetzung der Idee des Schulgartens.

Rheinland-Pfalz
Die aktuellen Rahmenpläne verweisen in keinem Punkt auf die Implementation eines Schulgartenunterrichts. Somit ist der Schulgarten bisher kein fester Bestandteil des Unterrichts, weder an der Grundschule [48] noch an den weiterführenden Schulen [119].

Es ist aber durchaus eine positive Entwicklung in Richtung Schulgarten erkennbar. So existiert beispielsweise der *Praxisratgeber Schulgarten*, der seit dem Jahr 2013 von allen

Lehrern des Bildungsservers des Landes Rheinland-Pfalz kostenlos heruntergeladen werden kann [85]. Dieser bietet hilfreiche Tipps, nützliche Adressen und einige Modellbeispiele von Schulgärten aus Rheinland-Pfalz. Hier zeigt sich auch, dass ein Konzept zur nachhaltigen Entwicklung des Schulgartens existiert, was die Bedeutung des Schulgartens für das Bundesland aufzeigt. So wurde ein Schulgartennetzwerk ins Leben gerufen, das für Lehrer und Schüler zahlreiche Materialien zur Verfügung stellt [120]. Des Weiteren wird eine Liste mit bekannten Schulen geführt, die über einen Schulgarten verfügen, ähnlich einem Schulgartenverzeichnis [120]. Demzufolge haben über 41 von 969 Schulen Zugriff auf einen Schulgarten.

Saarland

Ähnlich wie in Berlin wurde der Rahmenplan des Saarlandes im Jahr 2013 überarbeitet, wodurch der Schulgarten Einzug in den Sachkundeunterricht an Grundschulen hielt [45]. Das erste Mal wird der Schulgarten im Rahmenplan in den ersten und zweiten Klassenstufen erwähnt. Unter dem Lernbereich *'Raum und Zeit'* wird vermerkt, dass die Schüler das Schulgelände und den Schulgarten erforschen und gestalten sollen. In der dritten und vierten Klasse liegt der Schwerpunkt im Themenbereich *'Mensch, Tier und Pflanze'*, in dem die Entwicklung und Vermehrung der Pflanze im Schulgarten beispielhaft erlernt werden soll. Aber auch im naturwissenschaftlichen Unterricht der fünften und sechsten Klasse wird der Schulgarten in dem Rahmenplan für das Fach Naturwissenschaften als ein außerschulischer Lernort vermerkt. Es werden jedoch keine verpflichtende Inhalte festgeschrieben. Vielmehr dient der Schulgarten als Beispiel, indem der naturwissenschaftliche Unterricht stattfinden kann. Es wird zusätzlich darauf verwiesen, dass sich im Schulgarten das Thema *'Boden'* sehr gut vermitteln lässt [74]. Im Saarland werden die Schulgärten vom Umweltministerium finanziell unterstützt[3] [121]. Der Umweltminister *Jost* erklärte:

> *„Im Sinne der Bildung für nachhaltige Entwicklung ist dieser Schulgarten ein Paradebeispiel dafür, Kindern zu zeigen und sie zu lehren, wie unser Obst und Gemüse heißt, wo es wächst und was für die Saat, die Pflege und letztlich auch für die Ernte zu tun ist. Die Schülerinnen und Schüler haben hier die wunderbare Gelegenheit, theoretisches Schulwissen in praktisches Handeln umzusetzen, Verantwortung für die Natur zu übernehmen und Kompetenzen zu erwerben. "* [121]

Sachsen

In Sachsen ist der Schulgartenunterricht nur in den Grundschulen fest verankert [47]. So heißt es : *„Dem Lernen im Schulgarten und an außerschulischen Lernorten kommt besondere Bedeutung zu."*. Im weiteren Verlauf des Rahmenplans für Grundschulen werden Ziele formuliert, in denen geschrieben ist, dass die Schüler „im Schulgarten bei der Gestaltung der Natur mitwirken". Differenziert wird dies in der Themenübersicht des Plans. In der ersten und zweiten Klasse sollen Gewürzkräuter sowie Obst und Gemüse angebaut werden, um bei der Gestaltung eines gesunden Frühstücks integriert zu werden. Im Themenbereich *'Pflanzen'* sollen die Blütenstadien der Pflanzen im Schulgarten beobachtet und beschrieben werden. Außerdem wird ein Wahlpflichtmodul (*'Unser Schulgarten'*) mit folgenden Inhalten beschrieben. Die Schüler ...

- beurteilen den Lernort Schulgarten anhand naturnaher Kriterien.
- entdecken Unterschlupfmöglichkeiten für Tiere, untersuchen günstige Wachstumsbedingungen für Pflanzen und stellen Beobachtungen von ausgewählten Pflanzen oder Tieren im Jahreslauf an.

[3] So spendete das Ministerium im Jahr 2015, um beispielsweise an der Max-von-der-Grün-Schule einen neuen Schulgarten zu eröffnen [121].

- bilden Lebensräumen für Tiere im Schulgarten.
- schaffen Unterschlupf für Vögel, den Igel, Regenwürmer, Insekten und bauen Nahrungsangebote auf, wie beispielsweise Wildfrüchte, eine pflanzliche Bodendecke oder Blüten für Insekten.
- schützen Pflanzen.
- handeln naturschutzrechtlich.

In der dritten Klassenstufe ist das Ziel, dass die Schüler Pflanzen und Tiere aus ihrem Umfeld besser kennen lernen. Dazu sollen unter anderem Kartoffeln und Getreidesorten im Schulgarten angebaut werden, um auch die Verwendung letzterer als Grundnahrungsmittel zu diskutieren. In der vierten Klasse untersuchen die Schüler den Boden und lernen erste Bodeneigenschaften kennen. Außerdem wird gefordert, dass sie die ersten Bodenlebewesen kennen lernen und einen Kompost anlegen. Im Schulgarten sächsischer Schulen soll ebenfalls ein Gartenteich angelegt sein, wobei die Schüler Ufer- und Wasserzonen beobachten, bestimmen, fotografieren und beschreiben sollen [47].

In den Lehrplänen der weiterführenden Schulen findet sich kein Verweis auf Schulgartenunterricht. Nach der Grundschule werden die naturwissenschaftlichen Fächer spezifisch unterrichtet.

Geschätzt wurde im Jahr 2013, dass im Freistaat Sachsen über 1000 Schulgärten existieren [122]. Laut einer Umfrage der Schulgartensituation im Bundesland konnte seit 1991 ein signifikanter Anstieg von Neugründungen und Wiederaktivierung verzeichnet werden [122]. Ebenso wurde festgehalten, dass immer mehr Schulgärten als Biotopgärten angesehen und weniger als Nutzgärten eingesetzt werden. Jedoch existieren keine Aufzeichnungen einer aktuellen Schulgartensituation in den weiterführenden Schulen. Da die Grundschullehrpläne jedoch ein festes Modul zum Schulgarten beschreiben, kann davon ausgegangen werden, dass alle Grundschulen in Sachsen Zugang zu einem Schulgarten haben. Dabei bleibt offen, ob es sich um einen eigenen oder einen Gemeinschaftsgarten handelt.

Sachsen-Anhalt
Auch hier ist der Schulgarten nur im Grundschulbereich zu finden [43]. Im Rahmenplan ist vermerkt:

> *„Im Sachunterricht werden Probleme und Fragen aus der Lebensumwelt der Lernenden thematisiert. Die Neugierde und der Entdeckerdrang der Schülerinnen und Schüler tragen dazu bei, Naturphänomene wahrzunehmen, zu erkunden und auf einfache biologische, chemische und physikalische Regelhaftigkeiten zurückzuführen. Dabei ist der Schulgarten durch die Vielzahl seiner Gestaltungsmöglichkeiten besonders geeignet, einen wesentlichen Beitrag zur Herausbildung der Wertschätzung der Natur zu leisten. Der Schulgarten bietet den Schülerinnen und Schülern Möglichkeiten, durch eigene Arbeit manuelle Fähigkeiten zu entwickeln. Die Betätigung im Schulgarten fördert neben Erlebnis- und Urteilsfähigkeit auch Gestaltungskompetenz.“* [43]

Der Schulgartengedanke wird jedoch noch weiter präzisiert. So soll im Themengebiet *'Raumbezogener Bereich'* Grundwissen zur Oberflächengestaltung und zum Gewässernetz gewonnen werden, wodurch der Schulgarten auch als Freizeit- und Erholungsstätte begriffen wird. Im zweiten Themenkomplex *'Pflanzen und Tiere'* wird der Schulgarten genutzt, um Kenntnisse über den Boden und die Bodenarten zum erfolgreichen Anbau von Pflanzen zu vermitteln.

An den weiterführenden Schulen konnte kein Hinweis auf den Schulgarten gefunden werden. Ausgehend von der ersten Tagung der *Bundesarbeitsgemeinschaft Schulgarten* im Jahr 2013 wurde eine Erhebung zur Schulgartensituation an 544 Grundschulen und 121 Förderschulen durchgeführt. Die Rücklaufquote der Grundschulen entsprach 41 %, der Förderschulen bei 49 %. Von allen Schulen, die geantwortet haben, verfügen 72 % über einen Schulgarten. Damit liegt die Rate der Schulen, die einen Schulgarten haben, deutlich höher als in anderen Bundesländern. Angesichts dessen, dass die Schulgartentradition in Sachsen-Anhalt schon recht lange währt. Im Jahr 1698 wurde in Halle der erste Schulgarten unter *Francke* eröffnet. Es ist sehr erfreulich zu sehen, dass diese Tradition an den Grund- und Förderschulen auch ein Schulgartenfach erhalten bleibt [106].

Schleswig-Holstein
In den Rahmenlehrplänen in Schleswig-Holstein wird der Schulgartenunterricht nicht erwähnt. Ebenso können auch keine Aussagen über die derzeitige Schulgartensituation getroffen werden, da keine Erhebungen über die Anzahl der Schulen, die einen Zugang zu einem Schulgarten haben, existieren. Vereinzelte Schulen des Landes dagegen weisen auf ihren schulinternen Internetseiten auf eigene Schulgärten und das gärtnerischen Lernen hin. Außerdem befindet sich in Lübeck ein zentraler Schulgarten, der für alle zugänglich ist.

Thüringen
An allen 140 freien und staatlichen Grundschulen des Landes Thüringen wird Schulgartenunterricht durchgeführt. Der Rahmenplan sieht drei Lernbereiche vor [55]: *'Anbauen und Pflegen von einheimischen Kulturpflanzen'*, *'Erleben und Schützen der Natur'* und das *'Gärtnerische Gestalten'*. Der Thüringer Grundschulrahmenplan gibt für jeden Lernbereich recht ausführlich die zu erwerbenden Kompetenzen vor. Dabei bleibt die Zielformulierung noch recht offen, sodass Lehrer selbst einen großen Handlungsspielraum haben, was genau sie vermitteln möchten. Jedoch wird in der Einführung des Rahmenplans klar darauf hingewiesen, dass der Schulgartenunterricht auch im Schulgarten angesiedelt ist. Zusätzlich zum Schulgartenunterricht besuchen die Schüler den Sachkundeunterricht, in dem auch naturwissenschaftliche Aspekte vermittelt werden. Dem Rahmenplan nach ist dieser strukturell ähnlich aufgebaut [55]. Hier werden allerdings differenziertere Ziele formuliert, wie beispielsweise: „Der Schüler kann ausgewählte Nutztiere beschreiben in Bezug auf Körpergliederung, Fortpflanzung, Ernährung.“ [55]. Dennoch gibt auch dieser Rahmenplan dem Lehrer einen recht freien Handlungsspielraum. So ist es durchaus möglich, den Sachkundeunterricht zeitweise im Schulgarten durchzuführen.
Betrachtet man die Lehrpläne der weiterführenden Schulen, ist hier kein Hinweis mehr vom Schulgarten zu erkennen. Zwar finden sich hier zahlreiche Themen, die im Schulgarten unterrichtet werden können, jedoch findet sich keine namentliche Nennung des Schulgartens in den Lehrplänen. An den Universitäten in Thüringen können Lehramtsstudenten im Grundschullehramt das Fach Schulgarten studieren.
Zur aktuellen Schulgartensituation liegen keine Erhebungen vor. Es ist jedoch davon auszugehen, dass alle Grundschulen in Thüringen Zugang zu einem Schulgarten haben. An den weiterführenden Schulen wird der Schulgarten vermutlich nur durch Eigeninitiative der Lehrer durchgeführt.

2.4 Zusammenfassung

Schulgarten hat in Deutschland Tradition. Es verwundert daher nicht, dass auch heute noch Schulgärten in vielen Schulen zu finden sind. Der Fokus liegt dabei jedoch noch stark Grundschulbereich. Er dient als außerschulischer Lernort. Neben der Begegnung mit der Natur sind hier auch erste Experimente vorgesehen. An den Grundschulen wird, je nach

Bundesland, außerdem das Fach Sachkunde unterrichtet. Dieses ist, analog zum integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht, ein Verbundfach der drei naturwissenschaftlichen Disziplinen Biologie, Chemie und Physik. Auch hier liegt der Fokus darauf, ein erstes naturwissenschaftlichen Verständnis zu vermitteln, sowie die Interessen und die Motivation für eben diese zu wecken. Auch der integrative naturwissenschaftliche Unterricht orientiert sich an diesem Hauptziel. Das Interesse und die Motivation der Schüler für die Naturwissenschaften soll aufrecht erhalten werden, um den Grundstein für den späteren Fachunterricht zu legen. Innerhalb des Verbundfaches erfolgt eine erste Aufschlüsselung in die drei Naturwissenschaften, wobei zur Erklärung auch biologische und physikalische Sichtweisen zur Rate gezogen werden sollen. Da sich der Sach- und der naturwissenschaftliche Unterricht nur in wenigen Punkten unterscheiden, stellt sich zwangsläufig die Frage, wieso hier der Schulgarten von Seiten der Lehrpläne kaum bis gar nicht einbezogen wird. Denn dieser findet einerseits schon in der Orientierungsstufe statt (außer in Berlin und Brandenburg, da hier die fünfte und sechste Klasse noch zur Grundschule gehören und somit ein Schulgarten zur Verfügung steht). An den weiterführenden Schulen aber existieren generell kaum Schulgärten, da hier der Fokus auf dem Fachunterricht liegt und der Schulgarten häufig kein Bestandteil der Rahmenpläne ist. Dazu kommt, dass die Entwicklung des integrativen naturwissenschaftlichen Unterrichts noch in den Kinderschuhen steckt; die meisten Rahmenpläne existieren erst seit kurzer Zeit und stellen noch Erprobungsfassungen dar.

2.5 Schulgarten als Grundlage für integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht

Der integrative naturwissenschaftliche Unterricht hat nun also in den letzten Jahren vermehrt Einzug an deutschen Schulen erhalten, international hat er sich schon seit längerer Zeit etabliert [93]. Der Schulgarten hat bewegte Zeiten hinter sich. In den letzten Jahren hat er jedoch von Seiten vieler Schulen und Lehrer, von Ministerien und Vereinen eine Stärkung erfahren. Zudem zeigen viele Beispiele auf, dass der Schulgarten heute mehr als ein Ort zum Lernen sein kann. Er dient als Erholungszentrum der Schule, als Ort der inklusiven Begegnung, als grüne Oase im Schulalltag.
Und auch der Chemieunterricht kann einen grünen Lernort gebrauchen, um nicht ganz als reines Labor-Fach angesehen zu werden. Hier eröffnen sich Möglichkeiten, die zeigen, dass Chemie selbstverständlich zu den **Natur**wissenschaften gehört. In nahezu allen Bundesländern existieren mittlerweile Rahmenlehrpläne für den Schulgartenunterricht. Die Synopse dieser hat jedoch gezeigt, dass der Anteil an chemischen Inhalten deutlich hinter dem der Biologie und auch der Physik steht (siehe S 28 ff.), die Chemie im integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht an vielen Schulen also eher eine untergeordnete Rolle spielt. Des Weiteren konnten keine Konzepte zur Vermittlung der chemischen Inhalte im naturwissenschaftlichen Unterricht im Allgemein und der Chemie im Schulgarten im Speziellen gefunden werden. Daraus erwuchs das **Ziel dieser Arbeit:** Es sollte ein Konzept entwickelt werden, das möglichst alle naturwissenschaftlichen Sichtweise berücksichtigt und die chemischen Anteile innerhalb des integrativen naturwissenschaftlichen Unterrichts stärkt. Aus diesem Grund wurde ein Kontext gesucht, der möglichst viele chemische Inhalte integrieren lässt. Dabei hat sich der Schulgarten als ein vielversprechender Bereich herauskristallisiert, der zwar augenscheinlich biologisch ausgelegt ist, in den Chemie jedoch leicht hinein adaptiert werden kann. Als Grundlage für dieses Konzept wurde die aktuelle Schulgartensituation in Deutschland genauer untersucht.
Der Ablauf des Schulgartenunterrichts ist von Natur aus durch den jahreszeitlichen Rhythmus vorgegeben. Im Frühjahr beginnt die Aussaat, im Sommer die Pflege und erste Ernte

und im Herbst erfolgt die große Ernte und der Beschnitt als Vorbereitung für den Winter. Daraus impliziert sich eine Notwendigkeit, das Schulgartenkonzept für den integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht so auszulegen, dass Lehrer Unterrichtsideen direkt im Schulgarten oder aber auch im Klassenzimmer durchführen können. Der Gedanke, im Schulgarten alle Naturwissenschaften zu integrieren, scheint auf den ersten Blick schwierig. Im folgenden Kapitel wird eine Möglichkeit aufgezeigt, wie genau dies jedoch erreicht werden kann, wobei besonderes Augenmerk darauf liegt, die Chemie innerhalb des integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht zu stärken.

KAPITEL 3

Das Konzept 'Schulgarten als übergreifendes Leitthema'

Der integrative naturwissenschaftliche Unterricht ist durch einen relativ freien curricularen Aufbau gekennzeichnet, der in Module untergliedert wird. Über die Jahrgangsstufen fünf und sechs werden so nach einander die unterschiedlichen physikalischen, biologischen und chemischen Module mit den Schülern bearbeitet, um den Schülern den Zugang zu den Naturwissenschaften zu erleichtern. In welcher Reihenfolge die Themenfelder erarbeitet werden, liegt in der Regel im pädagogischen Spielraum der Lehrkräfte. Durch diese relativ große Freiheit haben die Lehrer die Möglichkeit, verpflichtende Inhalte horizontal und vertikal an alltagsnahen Situationen zu transferieren. Im Schulgarten lassen sich dabei zahlreiche Querverbindungen zu den Inhalten der Chemie, der Biologie und der Physik ziehen. Dies gilt ganz besonders für die biologische Sichtweise, da die Schüler direkt am lebenden Objekt naturwissenschaftliche Arbeitsweisen, wie das Beobachten und das Dokumentieren, üben können. Inhaltliche Überschneidungen lassen sich aber auch im Sinne der Chemie und der Physik aufzeigen, da viele der ablaufenden Prozesse nur unter Einfluss der nicht-lebenden Welt stattfinden können. Gerade im Hinblick auf die Gartenpflege, wie das Gießen, das Aussähen oder das Düngen, können im besonderen Maß chemische und physikalische Inhalte vermittelt werden. Somit kann die gegenseitige Beeinflussung der drei Naturwissenschaften an geeigneten Stellen hervorgehoben und betont werden.

Ein neues Unterrichtskonzept für den integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht
Anknüpfend an den Schulgarten- und Sachkundeunterricht der Grundschulen, wird im Folgenden eine Unterrichtseinheit für den integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht vorgestellt, die sowohl auf fachlichem als auch inhaltlichem Niveau für die Orientierungsstufe entwickelt wurde. Diese wurde so entwickelt, dass durch die Extraktion wesentlicher Teile der Konzeption auch ein Einsatz in Grundschulunterricht oder im weiterführenden Unterricht möglich ist.
Das Konzept knüpft nahtlos an den Kenntnisse der Grundschule an, greift diese auf und wiederholt sie. Dabei wurde großer Wert auf den experimentellen Teil gelegt, um Möglichkeiten naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen zu schaffen. Die vorgestellten Experimente sind dabei insgesamt als ein Vorschlag zu verstehen, Chemie im naturwissenschaftlichen Unterricht zu implementieren. Die Themen wurden daher so konzipiert, dass die Schüler prinzipiell keine Vorkenntnisse aus anderen naturwissenschaftlichen Bereichen mitbringen müssen. An wesentlichen Stellen innerhalb des Konzepts werden notwendige Vorkenntnisse separat betont.

In der Orientierungsstufe ist die Motivation und das Interesse an naturwissenschaftlichen Themen noch sehr stark ausgeprägt [25, S. 5]. Diese Begeisterung soll genutzt und durch interessante Themen und alltags- sowie lebensweltnahe Erfahrungen ausgebaut werden. Dabei wird das Konzept 'Chemie fürs Leben' ebenso berücksichtigt wie der bewährte rote Faden durch die Chemie. Das Schulgarten-Konzept der Orientierungsstufe bezieht sich dabei inhaltlich auf möglichst viele Themenfelder der Rahmenpläne in Deutschland. Diese Themenfelder werden auf zwei Jahrgangsstufen aufgeteilt. Der integrative naturwissenschaftliche Unterricht unterscheidet sich je nach Bundesland jedoch nicht nur in den Themenfeldern, sondern auch im Stundenkontingent zwischen 4 bis 8 Stunden wöchentlich. Somit kann das Konzept nicht allen Bundesländern gleichermaßen gerecht werden, sondern ist vielmehr ein Vorschlag, um, je nach Kapazität, Inhalte und Kontexte zu extrahieren und nach eigenen Bedingungen zu realisieren.

Zum allgemeinen Aufbau der Konzeption

Der Beginn eines Schuljahres liegt in Deutschland in der Zeit des Spätsommers. Die Unterrichtskonzeption beginnt an dieser Stelle mit der Problem- und Organisationsfrage, nämlich danach, wie denn der Schulgarten aufgebaut und angelegt werden soll. Aus der Beantwortung der Frage ergibt sich direkt eine weitere Fragestellung hinsichtlich des jahreszeitlichen Ablaufs. Nach dem Motto – Was können wir wann machen? – entwickelt sich so ein Jahresplan, der einem Stoffverteilungsplan ähnelt. An diese Planungsphase schließt sich die experimentelle Untersuchung des Schulgartens an, welche mit einem Abschlussfest und der Verarbeitung der geernteten Produkte abschließen sollte. Im Detail ergeben sich unter Berücksichtigung aller chemischen Schwerpunkte, die von den Rahmenplänen gefordert werden, folgende fünf Abschnitte. Da die Arbeit im Schulgarten dem jahreszeitlichen Rhythmus unterliegt und dieser immer wieder von vorne beginnt, sind die Abschnitte in Abb. 3.1 schematisch in kreisform dargestellt. Durch den vorgegebenen jahreszeitlichen Rhythmus im Garten ist vor allem im Winter der Unterricht im Schulgarten selbst schwierig. Gerade dann bietet es sich an, Themen zu behandeln, bei denen keine direkte Schulgartenarbeit nötig ist.

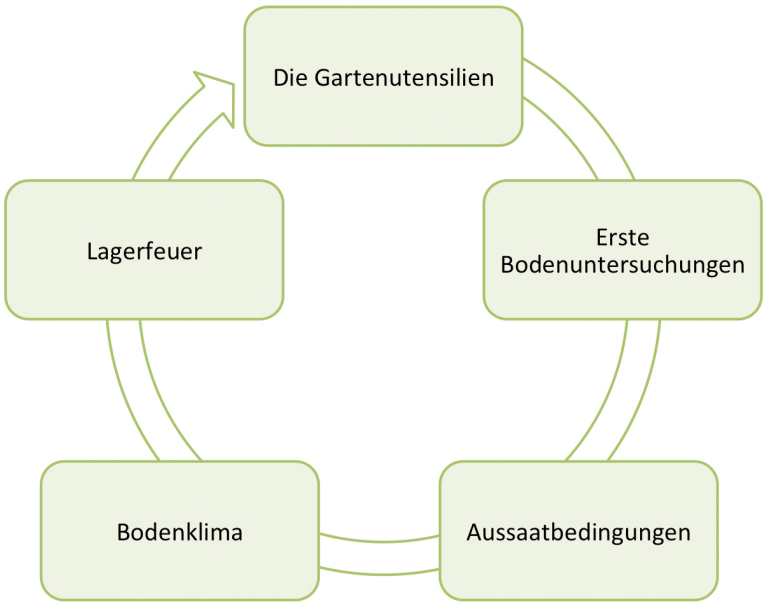


Abb. 3.1: Schema der Konzeption – Schulgarten als übergreifendes Leitthema

Da der Schulgarten als außerschulischer Lernort durch Vielfältigkeit und Varianz einen großen Handlungsspielraum ermöglicht, wurde das Konzept der Übersichtlichkeit halber in die genannten fünf Abschnitte untergegliedert. Die in der Abb. 3.1 vorgeschlagene Ab-

folge kann aber auch individuell variiert werden. Gelegentlich bietet es sich jedoch an, eine gewisse Reihenfolge zu bewahren, wenn beispielsweise Vorkenntnisse aus einem anderen Abschnitt benötigt werden. Als Orientierung wird im Folgenden zu Beginn eines Abschnitts auf die jeweiligen Vorkenntnisse eingegangen. Jeder Abschnitt hat einen anderen chemischen Schwerpunkt. Damit wird der Fokus auf einen wesentlichen fachlichen Inhalt gelegt, der an einem Kontext im Schulgartenbereich bearbeitet wird.

Um dem Leser den roten Faden durch das Konzept transparent offen zu legen, sind wichtige Problemfragen und Kernaussagen grün in Boxen wie dieser hervorgehoben.

Gelegentlich werden innerhalb des roten Fadens Definitionen für den Unterricht herausgestellt. Diese Textpassagen sind grün hinterlegt.

Die Entwicklung der Experimente beruhte auf der Zielstellung, Schülern grundlegende naturwissenschaftliche Arbeitsweisen näher zu bringen. Außerdem wurde angestrebt, möglichst viele Experimente direkt im Schulgarten durchführen zu können. Daher wurden viele Experimente so entwickelt, dass sie möglichst kostengünstig und einfach durchzuführen sind. Auf Glasgeräte wurde daher weitestgehend verzichtet. Diese wurden stattdessen durch Alltagsgegenstände ersetzt. Um den fachlichen Überblick zu gewährleisten, werden alle Experimente auch fachlich ausgewertet.

Die für die Konzeption entwickelten Experimente sind nicht verpflichtend. Je nach Leistungsstand der Schüler können von der Lehrkraft auch nur ausgewählte Experimente durchgeführt werden. Ebenso ist die gegebene Reihenfolge der Experimente als ein Vorschlag zu verstehen, welcher je nach Bedarf variiert werden kann. In den Tab. 3.1 und 3.2 sind die Abschnitte der Konzeption in ihrer chronologischen Reihenfolge inklusive ihrer Querbezüge zu chemischen Schwerpunkten dargestellt.

Abschnitt	Chemische Inhalte	Versuche (V) / Kontexte (K)
Gartenutensilien	Stoffe und Körper Stoffeigenschaften Gefahrstoffe Aggregatzustände	K.1 Sinnliche Wahrnehmung V.1 Die Dichte von Stoffen V.2 Wohin geht die Wärme? V.3 Stoffe unterscheiden sich in der Härte V.4 Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit V.5 Magnetismus von Stoffen V.6 Untersuchung der Aggregatzustände

Tab. 3.1: Darstellung der Themenschwerpunkte (1)

Abschnitt	Chemische Inhalte	Experimente
Erste Boden-untersuchungen	Bodeneigenschaften Bodenarten Bodenprofil Bodenentstehung Humusgehalt	V.7 pH-Werte verschiedener Proben messen V.8 pH-Werte verschiedener Bodenproben messen V.9 Wir legen einen Kompost an. V.10 Glühprobe V.11 Kalknachweis verschiedener Proben V.12 Kalknachweis in verschiedenen Bodenproben V.13 Kohlenstoffdioxid-Nachweis mit Kalkwasser V.14 Kombinierter Kalk- und Kohlenstoffdioxidnachweis mit Bodenproben V.15 Säureabgabe der Wurzeln V.16 Sieben von Bodenproben V.17 Schlämmanalyse V.18 Rollprobe V.19 Das Verhalten von Sand mit Wasser V.20 Das Verhalten von Ton mit Wasser V.21 Darstellung der Bodenschichten
Aussaat-bedingungen	Licht Temperatur Wasser Bodenentstehung Humusgehalt	V.22 Keimung bei unterschiedlichen Lichteinflüssen V.23 Eine Bohne im Irrgarten V.24 Eine Erbse im Gips V.25 Keimung bei unterschiedlichen Temperaturen V.26 Wachstum im Gewächshaus V.27 Glycerin und Wasser im Tiefkühlschrank V.28 Salz auf Eis V.29 Wirkung von Streusalz auf die Keimung V.30 Salz auf Kartoffeln V.31 Keimung bei unterschiedlicher Wassermenge V.32 Osmosevorgänge V.33 Boden als Filter V.34 Botenstoffe von Äpfeln
Bodenklima	Wasser Wassereigenschaften Luft Lufteigenschaften Aggregatzustände Phasenübergänge	V.35 Erstarren von Wasser V.36 Ausdehnung von Wasser beim Erstarren V.37 Erstarrung von Öl, Milch und Essig V.38 Die Schmelz- und die Siedetemperatur von Wasser V.39 Kondensation von Wasserdampf V.40 Resublimation von Wasser V.41 Wassertransport im Boden V.42 Wassertransport in einem Schwamm V.43 Boden als Wasserspeicher V.44 Wie viel Luft ist im Boden? V.45 Bestimmung der Masse von Luft V.46 Brennverhalten in unterschiedlichen Gasen
Lagerfeuer	Feuer und Branddreieck Gefahrstoffe Löschvorgänge Chemische Reaktion Energetische Betrachtung	V.47 Welche Stoffe sind brennbar? V.48 Zerteilungsgrad am Beispiel von Holz und Holzwolle V.49 Zerteilunsggrad am Beispiel von Holzwolle V.50 Brennbarkeit von Grillanzündern und anderen Flüssigkeiten V.51 Entzündungsmöglichkeiten eines Streichholzkopfes V.52 Entzündungstemperatur eines Streichholzkopfes V.53 Untersuchung von Feuerzeuggas V.54 Die Löschwirkung von Wasser V.55 Abkühlung als Brandbekämpfungsmittel V.56 Verbrennung unter Bechergläsern V.57 Löschwirkung von Sand V.58 Verbrennung unter Bechergläsern V.59 Löschwirkung von Sand V.60 Metallbrand mit Wasser löschen V.61 Ein Pulversalz löscht Feuer V.62 Pulversalz NaCl löscht Feuer V.63 Die Einführung der chemischen Reaktion V.64 Energieumwandlung bei der Verbrennung einer Kerze

Tab. 3.2: Darstellung der Themenschwerpunkte (2)

Kurzbeschreibung der einzelnen Abschnitte

Beginnt man den Schulgartenunterricht innerhalb der integrierten Naturwissenschaften zum Schuljahresbeginn, dann bietet es sich an, mit dem Abschnitt *Gartenutensilien* zu starten. Hier wird der Schulgarten geplant, die Gartengeräte werden in Stand gesetzt oder angeschafft. Es erfolgen erste Überlegungen zur Funktion des Schulgartens.

Anschließend erfolgt in Abschnitt 2 eine *Bodenuntersuchung*, wobei die Qualität des Gartenbodens geprüft wird. Schlussendlich erfolgt im Frühjahr die *Aussaat* (Abschnitt 3), wobei Keimungs- und Wachstumsbedingungen im Fokus stehen.

Um den Schulgarten adäquat zu pflegen und den Ertrag zu vergrößern, wird in Abschnitt 3 das *Bodenklima* analysiert. Hier werden dann Maßnahmen wie das Gießen und das Durchlüften des Bodens im Hinblick auf biologische, chemische und physikalische Zusammenhänge hin betrachtet. Das schließt auch den gewissenhaften Umgang mit Schädlings- und Düngemitteln ein.

Im Abschnitt *Lagerfeuer*, dem letzten Abschnitt, wird die Verbrennung betrachtet. Wichtig hierbei ist die Aufklärung über Gefahren sowie über wichtige Brandschutzmaßnahmen. Die Verbrennungsreaktion ist dabei die erste chemische Reaktion, die die Schüler hier als solche auch definieren. Damit bietet dieser Abschnitt eine Möglichkeit, nahezu alle chemischen Schwerpunkte der Konzeption zu wiederholen.

Im Folgenden werden die einzelnen Abschnitte ausdifferenziert und die entwickelten Experimente beschrieben. Die fachlichen Inhalte werden dabei in Kontexte gebettet, wodurch sich ein roter Faden ergibt.

3.1 Gartenutensilien

Der Schwerpunkt dieses ersten Abschnitts liegt im Themenkomplex 'Stoffe und ihre Eigenschaften', der hier mit der Überschrift *Gartenutensilien* umschrieben wird. Spielerisch und experimentell sollen die Schüler an erste und einfache naturwissenschaftliche Fragestellungen herangeführt werden. Dazu eignet sich der Kontext Schulgarten in besonderem Maße, da im Garten selbst viele Geräte mit unterschiedlichsten Eigenschaften benötigt werden. Auf diese Weise ist es möglich, problemorientierte Unterrichtssituationen zu schaffen. Dabei soll vor allem der Unterschied zwischen den Begriffen Körper und Stoff herausgearbeitet werden, an die sich die Untersuchung der folgenden Stoffeigenschaften anschließt:

- Aussehen (Farbe, Oberfläche, Glanz, Transparenz)
- Klang
- Wärmeempfinden, Wärmeleitfähigkeit
- Dichte
- Härte
- Elektrische Leitfähigkeit
- Magnetismus
- Aggregatzustände

Neben diesen sollen außerdem die Aggregatzustände gasförmig, flüssig und fest analysiert und an einfachen Alltagsbeispielen betrachtet werden. Dadurch legt der NaWi-Unterricht erste Grundsteine für den weiteren Fachunterricht. Denn der Unterschied zwischen Körpern und Stoffen, sowie die genannten Stoffeigenschaften spielen vor allem im Chemieanfangsunterricht eine bedeutende Rolle und gehören zum bewährten 'roten Faden' durch die Chemie. Dies wird unter anderem durch die Auflistung der Themen belegt, die einerseits in den Rahmenplänen für NaWi aufgeführt sind (siehe Tab. 1.9 auf Seite 37). Andererseits greifen das Themenfeld 'Stoffe und ihre Eigenschaften' auch aktuelle Lehrbücher auf, wie beispielsweise *NAWIgator* [123, S. 220 ff.], *Netzwerk Naturwissenschaften* [124, S. 322 ff.] und *Natur und Technik* [125, S. 298].

Einstieg und Motivation: Trotz seiner Vielfältigkeit und den weitreichenden Bezügen zur Alltagswelt motiviert das Thema Schulgarten sicher nicht jeden Schüler gleichermaßen. Daher wurde nach einer Möglichkeit gesucht, die Schüler von Beginn an in die Planung des Schulgartens im Kleinen einzubeziehen und damit an der Gestaltung des Faches NaWi im Großen mitzuwirken. Dies ist vor allem dann gegeben, wenn die Schüler eigene Verantwortung tragen und den Wert der eigenen Aufgaben erkennen.

Die Schüler verstehen das Konzept des Schulgartens als eine gemeinsame Aufgabe.

Wie die Planung und Gestaltung des Schulgartens vorgenommen wird, hängt maßgeblich von der Art und der Beschaffenheit des vorhandenen Schulgartens der jeweiligen Schule ab. In jedem Fall sollte die vorhandene Fläche von den Schülern analysiert und begutachtet werden, um anschließend Ideen zu entwickeln, wie der Schulgarten genutzt und bebaut werden soll. Ist noch kein Schulgarten, jedoch eine mögliche Fläche für diesen vorhanden, können die Schüler zunächst freier denken und planen. Ist schon ein Schulgarten vorhanden, sollten bisherige Flächen notiert und bewertet werden. Dabei sollten beispielsweise die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Welchem Zweck soll unser Schulgarten dienen?
- Welche Pflanzen können und wollen wir anbauen?
- Welche Früchte wollen wir zukünftig ernten?

Der Fragenkatalog lässt sich je nach Intention der Lehrkraft weiter differenzieren und ausbauen. In jedem Falle sollten die Fragen dazu führen, dass die Schüler kreativ werden und sich bewusst mit der zukünftigen Gestaltung des eigenen Schulgartens beschäftigen. Daher ist es sinnvoll zunächst keine Idee der Schüler zu verwerfen. So haben sie vielmehr die Möglichkeit, ihrer Fantasie freien Lauf zu lassen. Anschließend können die Vorschläge beurteilt werden, um ein gemeinsames Konzept für das weitere Vorgehen zu erstellen. Wichtig ist hierbei auch, dass die Vorschläge von Parallelklassen berücksichtigt werden, solange diese an der realen Planung mit beteiligt sein sollen. Als Inspiration für die Entwicklung eines Schulgartens kann den Schülern auch eine Abbildung von anderen Gärten gezeigt werden, wie beispielsweise der Garten in Abb. 3.2.



Abb. 3.2: Foto eines kleinen Gartens mit Gartenhäuschen [126]

Gegebenenfalls verfügen auch umliegende Schulen über einen eigenen und gepflegten Schulgarten, der gemeinsam besichtigt werden kann, um hier von den Erfahrungen dieser Schulen zu profitieren und Anregungen zu erhalten. Ziel dieser Überlegungen ist es, dass einzelne Bereiche des Schulgartens aufgeführt werden, die entweder zu planen und zu gestalten oder generell zu pflegen sind.

Die Schüler planen unter Anleitung ihren Schulgarten und stellen damit die Vielfältigkeit möglicher Bereiche im Garten heraus.

Die folgenden Bereiche können an dieser Stelle genannt werden. Dabei sind die Bereiche fett hervorgehoben, die von dieser Arbeit aufgriffen werden, da sie sich besonders für die Vermittlung weiterer Themenfelder der Chemie eignen.

- **Geräteschuppen**
- **Rasenfläche**
- **Hochbeet**
- **Gewächshaus**
- **Kompost**
- **Feuerstelle**
- Teich
- Sinnesparcour
- Obstwiese

- Nistkästen
- Streichelzoo

Es gibt jedoch auch Vorschläge der Schüler, die nicht aufgegriffen oder umgesetzt werden sollten. Dazu gehören vor allem jene, die mit hohen finanziellen, zeitlichen oder körperlich intensiven Belastungen umgesetzt werden müssten, wie beispielsweise die Bereitstellung eines Spielplatzes, das Pflanzen von großen Bäumen oder pflegeintensive Pflanzen.

Unter dem Stichpunkt **Geräteschuppen** ist dieser erste Abschnitt zu verstehen, in dem die verschiedenen Gartenutensilien untersucht werden, die sich in einem Gartenschuppen befinden können.

Vorwissen: Wie die Rahmenlehrplananalyse des Sachkundeunterrichts zeigte, wird in einigen Bundesländern schon in der Grundschule auf *Stoffe und ihre Eigenschaften* eingegangen, siehe Tab. 1.6 auf Seite 29. Es ist davon auszugehen, dass ein Teil der Schüler schon über Vorwissen verfügt. Generell sollte die Lehrkraft die folgenden Fragen für sich beantworten, um sich über mögliches Vorwissen der Schüler bewusst zu werden:

- Können die Schüler zwischen den Begriffen *Körper* und *Stoff* sicher unterscheiden?
- Kennen die Lernenden die Merkmale von Körpern und Stoffen?
- Ist ihnen die Vielfalt der Stoffe innerhalb einer Stoffklasse bewusst?
- Können sie den Stoffen Stoffeigenschaften zuordnen und wenn ja, welche?
- Können sie eine unübersichtliche Anzahl von Stoffen nach einem Prinzip ordnen?
- Kennen sie die drei Aggregatzustände und ihre Merkmale?
- Können die Schüler Beispiele für feste, flüssige und gasförmige Stoffe nennen?

Weiteres Vorgehen: Um organisatorisch auf das Themengebiet der Stoffe und ihrer Eigenschaften zu kommen, kann der Geräteschuppen des vorhandenen Schulgartens besichtigt beziehungsweise eine neuer Geräteschuppen geplant werden. Dazu eignet sich die folgende Leitfrage:

Welche Gartenutensilien benötigen wir für die Arbeit in unserem Schulgarten?

Aus dieser Frage heraus sollten zunächst die wichtigsten Antworten gesammelt und beispielsweise in einer Mind Map zusammengetragen werden. Dabei können die folgenden Begriffe erwartet werden, wobei hier wieder diejenigen Begriffe fett hervorgehoben wurden, die für diesen Abschnitt relevant sind, da sie für Experimente genutzt werden.

- **Gießkanne**
- **Schaufel**
- **Blumentöpfe**
- **Rasenmäher**
- **Blumensamendosen**
- **Dünger**
- Harke
- Eimer
- Gartenscheren
- Dünger
- Blumenerde
- Grillzeug

Um thematisch auf die ersten Stoffeigenschaften hinzuleiten, sollte die Aufmerksamkeit der Schüler zunächst auf Gegenstände für die Gartenarbeit gelenkt werden. Dazu bieten sich verschiedene Gegenstände wie ein Blumentopf, ein Spaten, eine Harke oder eine Gießkanne

an. Gießkannen werden in der Regel entweder aus Metall oder Kunststoffen[1] hergestellt. Damit bieten diese eine gute Gelegenheit, auf erste Stoffe und Stoffeigenschaften einzugehen. Den Schülern könnte der folgende Auftrag gegeben werden.

> Wir haben einen großen Garten, der regelmäßig gegossen werden muss. Sucht eine Gießkanne mit einem Volumen von mindestens 10 L und gebt begründete Vorschläge ab, welche wir davon kaufen sollten.

Die gestellte Aufgabe lässt sich über den Vergleich verschiedener Produkte lösen. Dieser Vergleich kann auf verschiedenen Wegen erfolgen: Zunächst können die Produkte direkt von der Lehrkraft mitgebracht und vorgestellt werden. Außerdem wäre eine Exkursion in ein nahegelegen Baumarkt denkbar oder aber die Schüler bringen die Gießkannen von ihren Eltern oder Großeltern mit. Ebenso ist ein direkter Vergleich im Internet möglich. Die Exkursion in einen Baumarkt ist zeitaufwendig, ermöglicht aber direkt vor Ort eine Wahl zu treffen und die Produkte käuflich zu erwerben. Die Schüler sind dabei selbst aktiv und am Schaffensprozess (Mitspracherecht) beteiligt. Bringen Schüler die Gießkannen mit, kann nicht gewährleistet werden, dass Gießkannen gleicher Größe aus verschiedenen Material vorliegen. Bringt die Lehrperson die Gießkannen mit, sind die Schüler selbst nicht aktiv und können schwerer beurteilen, wieso diese Gießkannen ausgewählt wurden. Deshalb favorisiert die Autorin die Internetrecherche. Zudem schult es die Medienkompetenz der Schüler, sich kritisch mit Produkten auseinanderzusetzen. Auf diversen Internetseiten von Baumärkten können die Schüler herausfinden, dass man, wie bereits erwähnt, Gießkannen mit einem Volumen von 10 L aus Kunststoff[2] oder Eisen[3] erwerben kann. In Abb. 3.3 sind beispielhaft die beiden Gießkannen-Sorten von der Internetseite des Baumarktes *Bauhaus* gezeigt.



Abb. 3.3: Bildschirmfoto zweier Gießkannen [127]

Die Schüler müssen die beiden Gießkannen miteinander vergleichen, um begründet entscheiden zu können, welche Gießkanne gekauft werden soll. Dazu bietet es sich an, die verschiedenen Produktmerkmale miteinander zu vergleichen. Wenn die Recherche im Internet erfolgt, kann der Vergleich direkt auf der Internetseite erfolgen. Auf der Homepage können Produkte für einen Vergleich ausgewählt werden, hierbei werden die Produktmerkmale gegenüber gestellt und Unterschiede der Produkte blau hervorgehoben, wie in Abb. 3.4 dargestellt.

[1] Die Stoffklasse der Kunststoffe ist vielfältig und kann untergliedert werden in Thermoplasten, Duroplasten und Elastomere. Innerhalb der einzelnen Stoffgruppen kann weiter untergliedert werden, da sich auch diese in den Eigenschaften noch unterscheiden.

[2] Die von uns untersuchten Gegenstände wurden alle aus Polyethylen synthetisiert. Für die Schüler ist diese Einteilung jedoch zu komplex, weshalb im Folgenden weiterhin von Kunststoff gesprochen wird.

[3] Angegeben wird verzinkter Stahl. Zur Vereinfachung wird angenommen, dass die Gießkanne aus Eisen besteht.



Unterschiede zum Favoriten sind blau hinterlegt.	GIESSKANNE 10l GRUEN	Gießkanne
Einsatzbereich	-	Außenanlagen
Farbe	-	Silber
Fassungsvermögen	-	10 l
Form	-	Oval
Material	-	Metall
Oberfläche	-	Verzinkt
Spannung	-	-
Farbe	Grün	-
Material	Kunststoff	-
Volumen	10 l	-
Grundfarbe	Grün	Silber

Abb. 3.4: Bildschirmfoto zweier Gießkannen [127]

Die gewählten Parameter der Homepage sind gegebenenfalls nicht alle relevant für den Vergleich hinsichtlich der Wahl der Gießkanne für den Schulgarten. Deshalb können zusammen mit den Schülern Vergleichsparameter gesammelt werden. Die Tab. 3.3 zeigt analog den Vergleich beider Gießkannen der wichtigen schulrelevanten Parameter. Als Vergleichsparameter wird das Volumen gegen die Produktmerkmale aufgetragen.

Gießkannen	10 L	10 L
Material	Kunststoff	Eisen
Gewicht	0,4 kg	1,4 kg
Einsatz	außen	außen
Kosten	3,95 Euro	19,95 Euro

Tab. 3.3: Vergleich der Giesskannen

Der Produktvergleich zeigt, dass die Produkte sich in der Größe, dem Gewicht und dem Material unterscheiden. Die Schüler sollen erkennen, dass beide Gießkannen ein Volumen von 10 Litern haben, jedoch aus verschiedenen Material hergestellt werden. Durch diese ausgewählten Materialien unterscheiden sich die Gießkannen in weiteren Eigenschaften. Diese Eigenschaften sind dem Material zugeordnet. Dieser Zusammenhang soll im Kontext: Sinnliche Wahrnehmung auf der Seite 83 von den Schülern erarbeitet werden. Für eine anschauliche Erarbeitung der ersten Stoffeigenschaften könnten die Gießkannen oder analoge

direkt von der Lehrperson mitgebracht werden. Alternativ sollten analoge Gegenstände der beiden Stoffproben vorliegen, die als Anschauungs- und Untersuchungsgrundlage dienen. Auf Grundlage aller Stoffeigenschaften, die im Folgenden untersucht werden, sollen die Schüler am Ende entscheiden, welche Gießkanne für den Schulgarten geeignet ist. Bei der Bewertung können zunächst die Produktmerkmale, wie beispielsweise das Gewicht und die Kosten zu Rate gezogen werden. Aufgrund des Materials unterscheiden sich die Gießkannen im Aussehen und dem Klang. Diese sinnlichen Wahrnehmung wird meist unauffällig von den Schülern wahrgenommen.

Wir haben erkannt, dass die Gießkannen aus unterschiedlichen Material hergestellt ist. Unterscheiden sich die Eigenschaften der beiden Materialien?

Die Schüler werden aufgefordert die Gießkannen neben den Produktmerkmalen tiefer und weiter anhand sinnlicher Wahrnehmungen zu vergleichen. Zunächst können zusammen mit den Schülern Parameter erarbeitet werden, an denen das Material der Gießkannen verglichen werden kann. Dafür wird eine Tabelle, wie beispielsweise Tab. 3.4 erstellt, in der die Eigenschaften zu dem jeweiligen Material aufgetragen werden. Das Ziel der Unterrichtseinheit ist, diese Tabelle kontinuierlich mit immer neuen eingeführten Stoffen zu füllen und die Eigenschaften einzutragen, sodass die Schüler am Ende eine große Übersicht über die Stoffvielfalt und deren Eigenschaften haben.

Kontext: Sinnliche Wahrnehmung von Stoffeigenschaften

Nach einer Idee von *Collin* [128, S. 171]

Zunächst sollte eine Tabelle nach dem Vorbild von Tab. 3.4 erstellt werden, in die die Schüler die nachfolgenden Parameter eintragen können. Erste Stoffeigenschaften sind dabei die Farbe, der Glanz, die Transparenz, die Oberfläche, der Klang und das Wärmeempfinden. Mit Hilfe eines Holzstabes kann der Klang der Gießkannen untersucht werden. Die Proben werden zudem angefasst und das Wärmeempfinden vermerkt.

Beobachtungen: An diesem Beispiel erkennen die Schüler, dass die Kunststoffgießkanne farbig, nicht transparent und matt ist. Beim Berühren fühlt sie sich warm an. Beim Schlag gegen die Gießkanne hört sie sich dumpf an. Die Gießkanne aus Eisen hingegen ist hellgrau, auch nicht transparent, glänzt jedoch. Sie fühlt sich kalt an und ihr Ton beim Schlag mit einem Holzstab hört sich hell an.

Stoffeigenschaften	Kunststoff	Eisen
Farbe	farbig	hellgrau
Transparenz	nicht transparent	nicht transparent
Glanz	matt	glänzend
Klang	dumpf	hell
Wärmeempfinden	warm	kalt

Tab. 3.4: Erweiterter Vergleich der Gießkannen

Wesentliche Lerninhalte: Die Lernenden beschäftigen sich mit ersten charakteristischen Eigenschaften von zwei Stoffproben. Sie erkennen, dass sich Kunststoffe und Metalle (hier Eisen) in der Farbe, in der Transparenz, im Klang, im Wärmeempfinden und im Glanz unterscheiden können.

Fachlicher Hintergrund: Die meisten Kunststoffe sind farblos, können jedoch häufig eingefärbt werden, weshalb die Gießkanne aus Kunststoff in diesem Fall auch nicht licht-

durchlässig ist. Aufgrund fehlender frei beweglicher Elektronen erscheint die Oberfläche der Gießkanne eher matt. Der unterschiedliche Klang der beiden Gießkannen ist von mehr als nur einem Parameter abhängig. Vor allem aber hat die Höhe des Tones etwas mit der Verformbarkeit der beiden Materialien zu tun: Bei einem Schlag mit einem Holzstab auf die Kunststoffgießkanne wölbt sich diese stärker als die Eisengießkanne. Damit ist die Auslenkung der Oberfläche bei der Kunststoffgießkanne größer und die Wellenlänge des entstehenden Schalles ist länger. Bei der Metallgießkanne ist die Verformung geringer, weshalb Schallwellen kürzerer Wellenlänge entstehen. Aufgrund der geringen Wärmeleitung fühlt sich die Kunststoffgießkanne warm an.

Die Eisengießkanne ist ebenso nicht transparent, glänzt aber leicht silbrig. Dies kommt durch das Vorhandensein frei beweglicher Elektronen, die Licht jeder Wellenlänge absorbieren können. Diese und und die dichte Packung der einzelnen Metallatome und -rümpfe sind für die gute Wärmeleitung verantwortlich, weshalb sich die Eisengießkanne kalt anfühlt, denn die Wärme der Hand wird schnell aufgenommen und der Hand damit entzogen.

In diesem Zusammenhang haben die Schüler gesehen, dass sich die beiden Gießkannen neben den Produktmerkmalen noch in anderen Eigenschaften unterscheiden. Im folgenden Unterrichtsverlauf wird nun der Unterschied zwischen dem Körper und seinen Merkmalen am Beispiel der Gießkanne, und dem Stoff und dessen Eigenschaften, hier Material 'Kunststoff' und Eisen, erarbeitet werden. Um diesen Unterschied zu herauszustellen, muss ein weiterer Gegenstand eingeführt werden. Dieser und die Gießkanne sollten aus dem selben Material hergestellt worden sein. Durch die Wahl der unterschiedlichen Form der Gegenstände schlussfolgern die Schüler den Begriff **Körper**. Um dies heraus zu differenzieren, kann ein Spaten genutzt werden. Ein Spaten kann beispielsweise aus Kunststoff, Stahl oder Aluminium hergestellt werden. Aus Kunststoff und Eisen sind auch die Gießkannen produziert, die bereits behandelt wurden, sodass die Schüler diese beiden Stoffe schon kennen. Die Abb. 3.5 zeigt beispielhaft drei mögliche Spaten. Der erste Spaten ist aus Kunststoff hergestellt, der zweite aus Stahl[4] und der letzte aus Aluminium.



Abb. 3.5: Abbildung dreier Spaten: links Kunststoffspaten, mittig Stahlspaten, rechts Aluminiumspaten [127]

Zusammen mit den Schülern soll im Folgenden der Unterschied zwischen Körper und Stoff erarbeitet werden. Umgangssprachlich gesehen sind die Gießkanne und der Spaten Gegenstände. Chemisch betrachtet sind Gegenstände Körper, die durch ihre Form und ihrer

[4] Stahl ist eine Eisen-Kohlenstoff-Legierung, weshalb im Folgenden vereinfacht von einer Eisenschaufel gesprochen wird.

Masse definiert werden. Schüler kennen den Begriff Körper, beispielsweise vom 'menschlichen Körper' oder aus der Mathematik. Diese Körper können aus verschiedenen Materialien hergestellt werden. Ist ein Gegenstand aus dem selben Material produziert, weißt er eine andere Form oder Masse auf, jedoch unterscheidet er sich in seinen Stoffeigenschaften kaum. Auf der Grundlage dieser Beobachtung kann mit den Schülern folgender Merksatz erarbeitet werden:

Gegenstände, wie eine Gießkanne oder Schaufel, werden Körper genannt und können aus dem selben Material produziert werden. Körper sind durch ihre Masse, ihr Volumen und durch ihren Aggregatzustand definiert.

Die sinnlichen Wahrnehmungen der Spaten erfolgen analog zum Kontext SSinnliche Wahrnehmungenäuf der Seite 83 und zeigen, dass die Kunststoffschaufel beispielsweise rot ist, sich aber ansonsten von den Stoffeigenschaften nicht von der Gießkanne aus Kunststoff unterscheidet. Die Stoffeigenschaft Farbe kann für Kunststoffe nicht festgelegt werden, sondern allgemein farbig eingetragen werden. Der Stahlspaten unterscheidet sich in den Stoffeigenschaften von der Gießkanne aus Stahl nicht. Beide Gegenstände, die Schaufel und die Gießkanne, wurden aus Eisen produziert. Diese Materialien werden chemisch **Stoffe** genannt. Stoffe werden in Stoffklassen eingeteilt. Zu einer Stoffklasse werden alle Stoffe mit gemeinsamen Eigenschaften zusammengefasst. Stoffklassen können nach ihrem Aufbau und ihrer Zusammensetzung gegliedert werden, wie zum Beispiel die Stoffklasse der Metalle. Zu den Metallen gehört zum Beispiel Eisen und Aluminium, aber auch andere den Schülern bekannte wie Zink oder Kupfer. Eine andere Gliederung wäre nach ihren Anwendungen und ihren Eigenschaften nach. Beispiele wären Farbstoffe, Duftstoffe, Klebstoffe, Sprengstoffe und Naturstoffe, welche den Schülern aus dem Alltag bekannt sind. Demzufolge kennen die Schüler schon den Begriff Stoff, welcher im Folgenden von den Schülern definiert werden kann:

Der Stoffbegriff umfasst das Material, aus dem ein Körper besteht. Jeder Stoff verfügt über eigene Stoffeigenschaften.

Bei der haptischen Untersuchung der Gießkannen und auch beim Vergleich der Produktbeschreibungen fällt den Schülern auf, dass die Eisengießkanne deutlich schwerer ist als die Kunststoffgießkanne. Dies, obwohl beide Gießkannen die gleiche Größe beziehungsweise das gleiche Fassungsvermögen haben, wodurch sich die folgende Leitfrage ergibt.

Wie kann es sein, dass die Gießkannen bei gleicher Größe so unterschiedlich schwer sind?

Die Beantwortung dieser Frage setzt entweder Vorkenntnisse zur **Dichte von Stoffen** voraus, die aus dem Physikunterricht stammen. Oder aber die Dichte wird an dieser Stelle erstmals eingeführt. In den vorherigen Versuchen haben die Schüler erarbeitet, dass die beiden Gießkannen aus verschiedenen Stoffen produziert wurde. Die gewählten Gießkannen unterscheiden sich zudem auch in der Form, da die Eisengießkanne ovaler ist als die Kunststoffgießkanne. So kommt es zur Problemfrage, wie die beiden Gießkannen nun verglichen werden können, um Rückschlüsse auf das Gewicht zu ziehen. Zum einen kann von den Schülern die Hypothese aufgestellt werden, dass der Stoff, aus dem die Gießkanne produziert wurde, eine entscheidende Rolle spielt. Um die Stoffe wirklich miteinander vergleichen zu können, braucht man zwei Körper, die das selbe Volumen haben. Somit kann dann das Gewicht der Stoffe bestimmt werden. Mit Hilfe der Masse und dem Volumen kann dann auf die Dichte geschlussfolgert werden. Für die beiden 'Stoffe' Kunststoff und Eisen können

im Lehrmittelhandel Würfel einer Kantenlänge von 1 cm erworben werden. Diese eignen sich gut, um die Dichte dieser zu bestimmen. Dazu ist es erforderlich die Körpereigenschaft 'Masse' der Würfel zu bestimmen und anschließend über die Formel 3.16 die Dichte zu berechnen. Zur Bestimmung der Dichte von unregelmäßig geformten kleinen Körpern eignet sich das Archimedische Prinzip, bei dem durch Verdrängung von Wasser das Volumen einer Stoffprobe bestimmt wird. Bei Körpern aus unterschiedlichen Stoffen mit einem unbekannten Volumen kann mit Hilfe des Prinzips das Volumen bestimmt werden und anschließend Rückschlüsse auf den Stoff gezogen werden.

Versuch 1: Die Dichte von Stoffen

Schülerexperiment nach *Kastner* [124, S. 327] und *Collin* [128, S. 176]

Geräte: Würfel mit 1 cm Kantenlänge zur Dichtebestimmung (aus Kunststoff[5] und Eisen), Waage (Genauigkeit: 0,001 g), 10-mL-Spritze, Kombi-Stopfen, Pipette, Stativ, Muffe, Klemme **oder** Magnettafelsystem

Chemikalien: Leitungswasser

Durchführung: Die Würfel werden dreimal trocken gewogen und die Masse genau notiert. Anschließend kann der Mittelwert aus den Werten bestimmt werden. Der Stempel der Spritze wird entfernt. Anschließend wird der Spritzenkörper mit dem Kombi-Stopfen verschlossen und mit 5 mL Wasser gefüllt. Nun gibt man einen Würfel wie in der Abb. 3.6 in die Spritze und notiert den neuen Wasserstand (Archimedisches Prinzip der Wasserverdrängung). Sollte sich der Würfel beim Einfüllen verkanten, kann er mit Hilfe der Pipette in den Spritzenkörper geschoben werden.

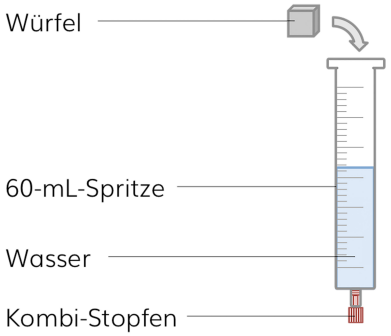


Abb. 3.6: Versuchsaufbau – Versuch 1

Beobachtungen: Die Massen der Würfel unterschiedlicher Stoffe unterscheiden sich, während sich das verdrängte Volumen nicht unterscheidet. In der Tabelle 3.5 sind Beispielwerte einer Messreihe aufgeführt.

Fachlicher Hintergrund und wesentliche Lerninhalte: Die Dichte wird mit Hilfe der Masse der Probe und dem verdrängten Volumen des Wassers berechnet, siehe dazu Gleichung (Gl.) 3.16.

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{3.1}$$

Aus dem verdrängten Volumen kann auf das Volumen des jeweiligen Körpers geschlossen werden. Da die Probestücke maschinell gefertigt worden und eine Kantenlänge von 1 cm haben, sollten die Volumina gleich sein. Aufgrund von Herstellungsfehlertoleranzen können

[5] Im Lehrmittelhandel können Würfel zur Dichtebestimmung für weitete Stoffe erworben werden, wie beispielsweise für Holz, Eisen, Kupfer und Messing [129].

	Masse	Volumen	Dichte (exp.)	Dichte (Lit.)
Aluminium	2,680 g	1 mL	2,680 $\frac{g}{cm^3}$	2,70 $\frac{g}{cm^3}$
Holz [6]	0,770 g	1 mL	0,770 $\frac{g}{cm^3}$	0,4-1,0 $\frac{g}{cm^3}$
Zinn	7,192 g	1 mL	7,192 $\frac{g}{cm^3}$	7,29 $\frac{g}{cm^3}$
Kunststoff [7]	1,427 g	1 mL	1,427 $\frac{g}{cm^3}$	1,47 $\frac{g}{cm^3}$
Eisen	7,751 g	1 mL	7,751 $\frac{g}{cm^3}$	7,86 $\frac{g}{cm^3}$
Messing	8,360 g	1 mL	8,360 $\frac{g}{cm^3}$	8,40 $\frac{g}{cm^3}$
Kupfer	8,697 g	1 mL	8,697 $\frac{g}{cm^3}$	8,96 $\frac{g}{cm^3}$

Tab. 3.5: Masse und Volumen der Proben aus Versuch 1

sich die Würfel in ihrem Volumen jedoch ein wenig unterscheiden. Nun lässt sich die Dichte ρ_{KS} des Kunststoffwürfels berechnen:

$$\rho_{KS} = \frac{m_{KS}}{V_{KS}} \tag{3.2}$$

$$\rho_{KS} = \frac{1,427 g_{KS}}{1 mL_{KS}} = \underline{1,427 \frac{g}{cm^3}} \tag{3.3}$$

Analog dazu lässt sich über die Dichte ρ_{Zn} des Eisenwürfels berechnen.

$$\rho_{Fe} = \frac{m_{Fe}}{V_{Fe}} \tag{3.4}$$

$$\rho_{Fe} = \frac{7,751 g_{Fe}}{1 mL_{Fe}} = \underline{7,751 \frac{g}{cm^3}} \tag{3.5}$$

Aus den Messwerten und der Berechnung können die Schüler ableiten, dass gleich große Stücke Kunststoff und Eisen unterschiedlich schwer sind, denn Eisen hat eine viel größere Dichte. Aus diesem Grund ist die Gießkanne aus Kunststoff sehr viel leichter als die Gießkanne aus Eisen.

Ergänzung: Nun kann anhand der Versuchsergebnisse ebenso die Dichte von flüssigen Wasser bestimmt werden. Holz hat als einziges eine geringere Dichte als 1 und schwimmt auf dem Wasser. Alle anderen Metalle beziehungsweise der Kunststoff sind gesunken. Demzufolge muss die Dichte von Wasser zwischen 0,7 vom Holz und 1,4 vom Kunststoff liegen. Dazu kann nun 1 mL Wasser abgewogen werden und über die Gl. 3.16 bestimmt werden. Die Schüler stellen so fest, dass Wasser eine Dichte von 1 g cm^{-3} hat.

Didaktische Anmerkung: An den Versuch lässt sich die folgende Denkaufgabe konstruieren. Trotz des hohen Gewichtes einer leeren Eisengießkanne soll eben eine solche gekauft werden, da sie robuster erscheint. Das geringe Gewicht der Kunststoffgießkanne ist jedoch ebenso verlockend. Wie müsste eine Gießkanne aus Eisen aussehen, damit diese ein ebenso großes Gewicht hat, wie die Gießkanne aus Kunststoff? Die Recherche zeigt: Eine 10 L Gießkanne aus Kunststoff wiegt etwa 0,4 kg. Am einfachsten lässt sich die Denkaufgabe also lösen, in dem eine Eisengießkanne gesucht wird, die ebenfalls nur 0,4 kg wiegt. Eine solche gibt es tatsächlich, sie fast jedoch nur 2 L Wasser, siehe Abb. 3.7. Sie ist also deutlich kleiner.



Abb. 3.7: Abbildung einer kleinen 2 L Gießkanne aus Eise [127]

Alternativ ist es an diesem Punkt auch möglich, dass weitere Körper untersucht werden, die ein unbekanntes Volumen haben. Beispiele hierfür sind das 'Fiskars Urban Planters Pflanzset' oder der 'Holzpflanzspieß', beispielhaft in Abb. 3.8 dargestellt aus dem Baumarkt der Reihe 'Bauhaus'. Mit Hilfe der Dichte kann anschließend auch ein Rückschluss gezogen werden aus welchen Stoff die Werkzeuge produziert wurden.



Abb. 3.8: Abbildung eines Holzpflanzspiess und Fiskars Urban Planters Pflanzset

---

Die Dichte ist nun die erste stoffspezifische Größe, die die Schüler experimentell untersucht haben. Im folgenden Unterrichtsverlauf sollen weitere Stoffeigenschaften eingeführt und untersucht werden. Deshalb wird noch einmal ein Blick zurück in die Tab. 3.4 geworfen. Neben den augenscheinlichen Stoffeigenschaften wurde das Wärmempfinden der beiden Gießkannen notiert. Die Kunststoffgießkanne wurde beim Anfassen als warm empfunden, während sich die Eisen-Gießkanne kalt anfühlte. Dies könnte die Schüler schlussfolgern lassen, dass Eisen (als Metall) kälter ist als Kunststoffe. Die Empfindung ist, dass sich manche Stoffe warm oder kalt anfühlen, was bei den Lernenden oftmals zu einer Fehlvorstellung führt.

Fachlicher Exkurs: Nach *Duit* bilden sich im Alter von vier Jahren erste Vorstellungen zur Wärme heraus [130]. Einige Schüler haben beispielsweise die Vorstellung, dass Stoffe wie Wolle Wärme abgeben können [131]. Auch im höheren Alter von etwa 10 bis 16 haben viele Schüler Schwierigkeiten damit, Wärme und Temperatur zu differenzieren, die unter anderem aus Fehlvorstellungen resultieren. Aus eben diesem Grund scheint es für viele Schüler neben einem sogenannten Wärmestoff auch einen Kältestoff zu geben. Dieser lässt Metalle kälter anfühlen als beispielsweise Wolle [130].

Aufgrund dieser Fehlvorstellungen verweist Duit auf die Wichtigkeit von Schülerexperimenten und fordert, dass die Schüler in diesem Zusammenhang experimentell erfahren,

dass alle Gegenstände in einem Raum (nach einer gewissen Zeit) die gleiche Temperatur haben. Der Mensch fühlt jedoch nicht die echte Temperatur, sondern die Wärmeweiterleitung [132].

Aus diesem Grund ist es notwendig zu zeigen, dass alle Stoffe im Raum die gleiche Temperatur haben, um den Lernenden ein erstes Verständnis von der tatsächlichen Temperatur des Stoffes/Gegenstandes zu vermitteln und damit den Fehlvorstellungen vorzubeugen. Es stellt sich folgende Frage:

Ist die Eisengießkanne kälter als die Kunststoffgießkanne?

Um dieser Fragestellung auf den Grund zu gehen, sollte eine Temperaturmessung gewählt werden, die kontaktlos funktioniert. So kann gewährleistet werden, dass die tatsächliche Temperatur des Stoffes bestimmt wird und keine Temperaturänderung durch die Körperwärme erfolgt. Für diesen Zweck kann beispielsweise ein Infrarot-Thermometer, eine Wärmebildkamera oder ein einfaches Thermometer verwendet werden. Die Wärmebildkamera und das Infrarot-Thermometer zeigen dabei die tatsächliche Temperatur des Stoffes, während das ursprüngliche Thermometer zum größten Teil die Temperatur der Umgebungsluft misst. Da die Stoffe jedoch Raumtemperatur haben, ist dies an dieser Stelle zu vernachlässigen. Dafür ist es wichtig, dass sich beide Materialien eine Zeit lang unter gleichen Bedingungen im Raum befanden. Die Ergebnisse zeigen, dass beide Gießkannen die gleiche Temperatur bei Raumtemperatur haben, dennoch fühlen sich sich verschieden an. Dies wirft die Frage auf, wieso sich die Gießkannen dann unterschiedlich temperiert anfühlen, wenn sie angefasst werden.

Warum fühlt sich die Eisengießkanne kälter an als die Kunststoffgießkanne?

Um die Wärmeleitung von der Hand ausgehend zu zeigen, wird ein Kunststoffstab und ein (oder mehrere) Metallstäbe verwendet, da diese mit der gesamten Hand umschlossen werden können und die Wärmeleitung innerhalb den Stabs kontinuierlich verläuft.

Versuch 2: Wohin geht die Wärme?

Lehrerdemonstrationsexperiment nach *Wagner* [133]

Geräte: EMSA Clip und Close 2.0 Frischhaltedose 0,8 L, 6 Wärmeleitungsstäbe (Holz, Glas, Kunststoff, Eisen, Aluminium, Kupfer) mit passenden Stopfen, Feuerzeug, Teelicht, Stopfenbohrer, Brenner, Kamera-Stativ, Stativhalterung für ein Smartphone, Smartphone, Wärmebildkamera Flir One™, Lineal (30 cm), Karton, Schere, wasserfester Stift

Vorbereitung: In Abb. 3.9 ist der schematische Versuchsaufbau dargestellt. Um diesen zu ermöglichen, werden in gleichem Abstand voneinander Löcher in den Deckel der Frischhaltedose geschmolzen. Dazu erhitzt man einen Stopfenbohrer in der Brennerflamme und stanzt anschließend Löcher in gleichmäßigem Abstand in den Deckel. Die Wärmeleitungsstäbe müssen zum Schutz vor Reflexionserschienungen mit Hilfe eines Teelichtes berußt werden. Wie in der Abb. 3.9 zu sehen ist, werden die Wärmeleitungsstäbe am oberen Ende mit einem Stück Pappe fixiert. Dazu schneidet man ein etwa 15 cm langes und 3 cm breites Stück Pappe aus und bohrt mit der Schere kleine Löcher hinein. Die folgende Reihenfolge wird vorgeschlagen: (1) Holz, (2) Kunststoff, (3) Glas, (4) Eisen, (5) Aluminium, (6) Kupfer.

Durchführung: Die Wärmebildkamera wird eingeschaltet. Anschließend nimmt man je drei Stäbe gleichzeitig in je eine Hand und beobachtet[8].

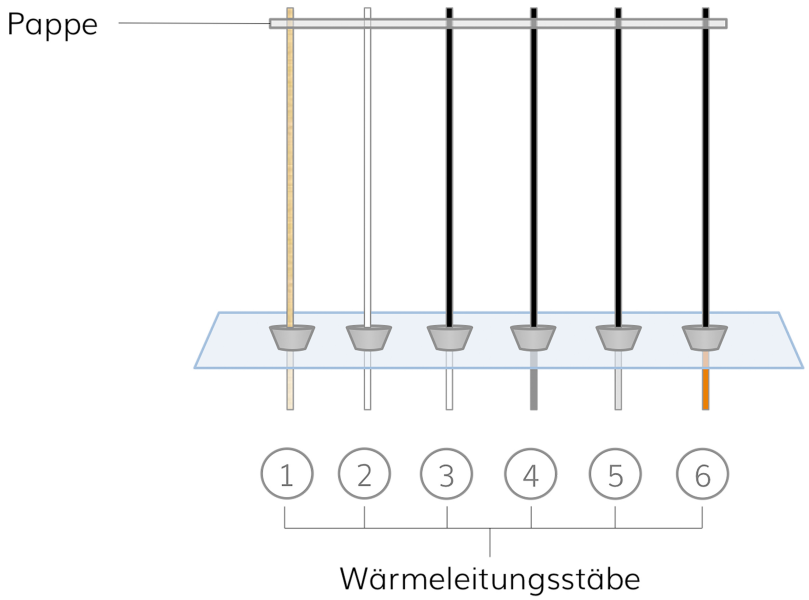


Abb. 3.9: Versuchsaufbau – Versuch 2

Beobachtungen: Die Wärmebildkamera zeichnet den Temperaturverlauf auf. Die blaue Farbe steht für den kalten Bereich, die rote Farbe zeigt steigende Temperaturen an. Die Abb. 3.10 zeigt beispielhaft, wie die Wärmeausbreitung in den Stäben verläuft. Solange die Stäbe die gleiche Temperatur wie die Umgebung haben, wird alles grün dargestellt. Sobald die Hand mit im Bild ist, erscheinen die Umgebung und die Stäbe blau, die Hand selbst ist rot bis orange. Nach wenigen Sekunden ist eine deutliche Farbänderung bei den Stäben zu beobachten. Dabei wandert die orange-rote Farbe in Metallstäben schneller als im Kunststoff, im Holz beziehungsweise im Glas.

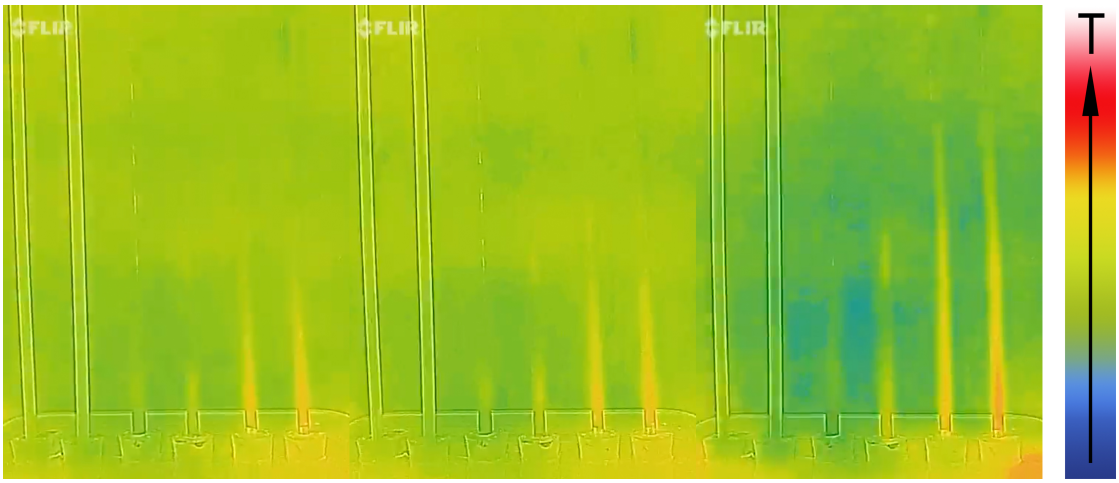


Abb. 3.10: Wärmebild der Wärmeausbreitung in den Stäben

[8] Bei der Verwendung eines Infrarot-Thermometers muss zunächst die Temperatur an vier oder fünf fest vorgegebenen Stellen gemessen und notiert werden. An den selben Punkten wird anschließend während des Erwärmen immer wieder gemessen und Änderungen werden notiert.

Wesentliche Lerninhalte: Metalle nehmen die Wärme aus der Umgebung sehr viel schneller auf und leiten diese weiter als Kunststoffe. Der eigenen Hand wird also beispielsweise sehr viel schneller die Wärme von einem Metall entzogen als von Kunststoffen. Obwohl die Eisen- und die Kunststoffgießkanne die gleiche Temperatur haben, fühlen sie sich deshalb nicht gleich warm an. So kann festgehalten werden:

Metalle sind sehr gute Wärmeleiter. Kunststoffe, aber auch Holz oder Glas, sind schlechte Wärmeleiter.

Fachlicher Hintergrund: Die Wärmeleitung ist eine stoffspezifische Größe und wird durch den Wärmeleitungskoeffizienten quantitativ erfasst. Die Leitung von Wärme ist neben der Konvektion und der Strahlung eine Möglichkeit, Wärme zu übertragen. Dabei kommt es nicht, wie bei der Konvektion, zu einem Transport von Teilchen. Stattdessen wird bei der Wärmeleitung die Wärme durch die Schwingungen der Teilchen weitergegeben. Bei allen drei Wärmeübertragungsformen wird Wärme immer vom Ort hoher Temperatur zum Ort niedriger Temperatur 'übertragen'. Metalle sind besonders gute Wärmeleiter, da sie einerseits freibewegliche Elektronen haben, die Wärme sehr gut aufnehmen können und sich damit schneller bewegen. Andererseits sind die Atomrümpfe im Metall so eng gepackt, dass die Zufuhr von Wärme eine Zunahme der Schwingung dieser bewirkt, die durch Stöße an umliegende Atomrümpfe weitergegeben werden. Kunststoffe hingegen leiten die Wärme nicht so gut, da sie keine freibewegliche Elektronen besitzen und die Atombindungen zwischen den Atomen und Molekülen weniger starr sind.

Es wurden von den Schülern nun erste wesentliche Eigenschaften der Gießkannen untersucht. Für die Arbeit im Garten ist die Wärmeleitfähigkeit nicht wesentlich von Bedeutung. Viel wichtiger ist jedoch das Gewicht. Daher lohnt es sich, eine Gießkanne aus Kunststoff zu kaufen, da diese vielfach leichter ist und die Arbeit im Garten leichter von der Hand geht. Im folgenden Unterrichtsverlauf sollen weitere Gartenwerkzeuge eingeführt werden, um weitere Stoffeigenschaften zu untersuchen. Im Garten werden beispielsweise Werkzeuge für die Bodenbearbeitung benötigt, wie der bereits erwähnte Spaten oder auch Schaufeln, welche in Abb. 3.5 auf S. 84 dargestellt sind. Daraus lässt sich die folgende Frage ableiten:

Ist der leichteste Spaten/die leichteste Schaufel für Gartenarbeit geeignet?

In den Produktbeschreibungen der Spaten auf der Internetseite des Baumarktes 'Bauhaus' werden verschiedene Einsatzmöglichkeiten für die Spaten empfohlen. Bei diesen fällt auf, dass die Aluminiumschaufel nur für leichte Arbeiten eingesetzt werden soll, Schaufeln aus Kunststoff sollten eher für Schnee und Eisenschaufeln hingegen für die Bodenbearbeitungen genutzt werden. Die zunächst leichteste Schaufel ist im Allgemeinen eine, die aus Kunststoff gefertigt ist. Schaufeln aus Aluminium sind etwas schwerer, jedoch leichter als jene aus Eisen. Dies führt nun zu folgender Problemfrage:

Warum sollte eine Aluminium- oder Kunststoffschaufel nicht für Bodenbearbeitungen eingesetzt werden?

Bei der genauen Betrachtung der drei Spaten können die Schüler erkennen, dass sich die Spaten ebenso in der Form unterscheiden. Nur der Eisenspaten verfügt über eine spitze

Schaufel, was ein Eindringen in den Boden erleichtert. Die beiden anderen Spaten haben eine gerade Fläche, weshalb ihr Einsatzgebiet eher im Laub- und Schneeschaufeln liegen könnte. Dennoch sollte es möglich sein, auch mit dem Kunststoffspaten leichte Bodenbearbeitungen durchzuführen. Die Schüler haben sich erarbeitet, dass die Spaten aus verschiedenen Stoffen bestehen. So wird die folgende Hypothese aufgestellt: die Aluminium- und/oder Kunststoffschaufel verformen sich bei den Bodenbearbeitungen, weil sie weicher sind als Eisen. Um diese Hypothese zu überprüfen, muss die Härte der Stoffe untersucht werden. Dies kann mit Hilfe des Verformbarkeitstests erfolgen. Bei diesem Test kann versucht werden, die Proben zu verbiegen. Dieser Versuch zur Verformung eignet sich jedoch nicht bei größeren oder spröden Proben, sodass stattdessen versucht werden kann nur die Oberfläche zu verformt. Diese Oberflächenverformung kann mit Hilfe von Ritzen untersucht werden. Das Ritzen kann beispielsweise durch einen harten Gegenstand erfolgen. Hier ist jedoch keine Abstufung möglich, weshalb alternativ folgender Versuch vorgeschlagen wird, welcher eine Abstufung ermöglicht:

Versuch 3: Stoffe unterscheiden sich in der Härte

Schülerexperiment nach *Collin* [128, S. 173]

Geräte: Bleche gleicher Größe und Dicke aus Kunststoff[9], Eisen und Aluminium

Durchführung: Mit jeder Probe wird versucht in die andere Probe Kratzer zu verursachen.

Beobachtungen: In der Tab. 3.6 sind die Beobachtungen zusammengetragen.

	Kunststoff	Eisen	Aluminium
Kunststoff ritzt	–	nein	nein
Stahl ritzt	ja	–	ja
Aluminium ritzt	ja	nein	–

Tab. 3.6: Ergebnisse der Ritzversuche

Wesentliche Lerninhalte: Stahl und Aluminium sind beides Metalle, wobei Aluminium weicher ist als Stahl. Kunststoffe hingegen sind weicher als Stahl und Aluminium. Aus diesem Grund sollte eine Stahlschaufel für die Bodenbearbeitung genutzt werden, während eine Aluminiumschaufel vielmehr zum Schmutz- oder Laubschaufeln verwendet werden kann. Die Kunststoffschaufel ist zwar sehr leicht, jedoch nicht so hart und robust, weshalb auch diese nicht zur Bearbeitung von Boden geeignet ist.

Fachlicher Hintergrund: Die Härte eines Festkörpers bestimmt über den Zusammenhalt der Teilchen in diesem. Sie kann über drei Verfahren ermittelt werden, wobei die Eindringhärte nach *Vickers*, die Ritzhärte nach *Mohs* und die Dämpfungshärte nach Shore unterschieden werden. Beim gegenseitigen Ritzen wird versucht, mechanisch in den anderen Festkörper über Krafteinwirkung einzudringen und diesen zu verformen. Damit zeigt die Härte, wie viel Widerstand das Material gegenüber einer Verformung zeigt. Kunststoff beispielsweise kann sowohl von Aluminium als auch von Stahl verformt werden. Stahl hingegen wird weder von dem einem noch dem anderen verformt. Die Härte wird durch den atomaren Aufbau und deren Bedingungen bestimmt. Die hier verwendeten Metalle sind demzufolge härter als der Kunststoff. Die drei Stoffproben können so nach der Härte sortiert werden. Die Stahlprobe ist am härtesten, gefolgt vom Aluminium und schlussendlich dem Kunststoff. Um die Härte von Stoffen zu vergleichen und in ein System zu bringen, wurde eine

[9] Bei der ausgewählten Kunststoffsorte sollte es sich wie bei den vorherigen Versuchen möglichst um Polyethylen handeln, um die didaktische Reduktion kontinuierlich zu halten.

Härteskala aufgestellt. Diese Skala wird für den Ritzhärtetest auch als *Mohssche Härteskala* bezeichnet, welche in Tab. 3.7 charakterisiert wird.

Härtegrad	Beschreibung	Mineral	Hilfsskala für den Unterricht
1	weich	Talkum	leicht mit dem Fingernagel ritzbar
2	weich	Steinsalz, Gips	mit dem Fingernagel ritzbar
3	weich	Calcit	mit einem Kupferdraht ritzbar
4	hart	Fluorit	leicht mit einem Messer ritzbar
5	hart	Apatit	schwer mit einem Messer ritzbar
6	hart	Orthoklas	mit harter Feile ritzbar
7	sehr hart	Quarz	Stoffproben ritzen Glas
8	sehr hart	Topas	Stoffproben ritzen Quarz
9	sehr hart	Korund, Saphir	Stoffproben ritzen Topas
10	sehr hart	Diamant	Stoffproben ritzen Korund, selbst nicht ritzbar

Tab. 3.7: Mohssche Härteskala mit den dazugehörigen Mineralien [128, S. 174]

Didaktischer Hinweis: Möchte man nun die drei Stoffe innerhalb dieser Skala einsortieren, muss der Reihe nach vorgegangen werden. Zuerst wird versucht die Bleche mit dem Fingernagel zu ritzen, anschließend mit einem Kupferdraht, einem Messer, einer Feile und zu guter Letzt wird geschaut ob die Proben Glas ritzen können. Anhand der Ergebnisse können die Stoffe Stahl, Kunststoff und Aluminium innerhalb der Skala einem Zahlenwert zuordnet werden.

Die Schüler haben im laufenden Unterricht erkannt, dass nicht nur von einer Stoffeigenschaft auf das richtige Gerät für den angedachten Zweck der Gartenarbeit geschlossen werden kann. Für eine Gießkanne ist beispielsweise das Gewicht und die damit verbundene Dichte entscheidend, während bei einer Schaufel eher die Härte relevant ist. Aus diesen Gründen wird gemeinschaftlich entschieden, dass die Kunststoffgießkanne aufgrund des leichten Gewichts erworben wird und der Eisenspaten gekauft werden soll, da dieser für die nötigen Bodenbearbeitungen eingesetzt werden kann. Die Schüler erkennen also, dass von einer Stoffeigenschaft nicht auf den Nutzen geschlussfolgert werden kann. Deshalb ist es sinnvoll, verschiedene Stoffeigenschaften zu untersuchen und diese in die Bewertung mit einzubeziehen.

Als nächste Stoffeigenschaft soll nun die **elektrische Leitfähigkeit** verschiedener Stoffe untersucht werden. Auch dazu können geeignete Beispiele von Geräten im Baumarkt gefunden werden, die sich als Kontext für die Betrachtung eignen. Beispiele hierfür sind die Heckenschere, ein Rasenmäher oder ein Laubsauger. Wichtig dabei ist, dass das Gerät elektrischen betrieben wird und der Strom über ein Stromkabel geliefert wird. Denn grundsätzlich wird die elektrische Leitfähigkeit der Materialien im Kabel betrachtet und soll im Versuch 04 untersucht werden. Dafür eignen sich beispielsweise der Rasenmäher, da im Schulgarten Rasenflächen angelegt werden sollen, welche Pflege bedürfen.

Folgendes Szenario kann zusammen mit den Schülern überlegt werden: Im Schulgarten gibt es bereits einen elektrischen Rasenmäher, der den elektrischen Strom über ein Kabel bezieht, das mit einer Steckdose verbunden ist. In Abb. 3.11 ist ein Rasenmäher mit Kabel dargestellt, wie er beispielsweise im Baumarkt der Reihe 'Bauhaus' zu finden ist.

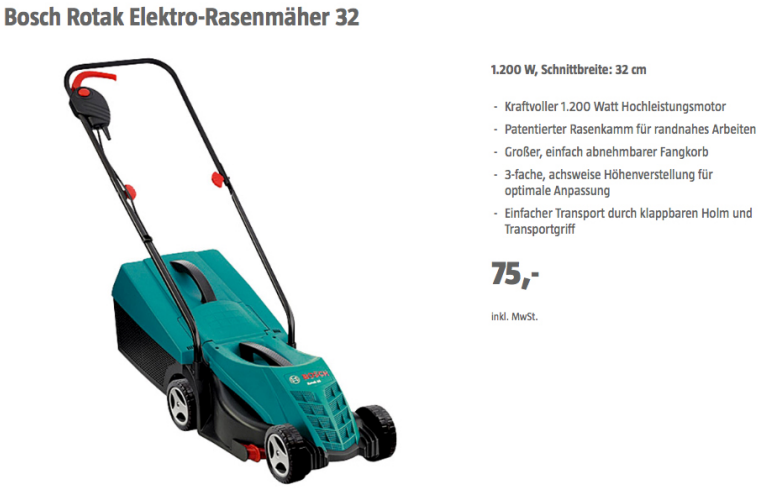


Abb. 3.11: Bildschirmfoto eines elektrischen Rasenmähers [127]

Um diesen sicher nutzen zu können, müssen die Schüler folgende Regeln beachten. Diese werden zusammen festgehalten.

- Der Rasenmäher darf nur unter Aufsicht der Lehrerkraft genutzt werden.
- Ein Rasenmäher ist kein Spielzeug!
- Der Rasenmäher darf nur genutzt werden, wenn der Rasen trocken ist.
- Es ist stets auf das Stromkabel zu achten!

Die Schüler erkennen, dass bei der Nutzung des elektrischen Rasenmähers während des Mähvorgangs stets auf das Kabel geachtet werden muss, denn sonst droht Gefahr, dass der Rasenmäher über das Kabel rollt und dieses zertrennt. Hier stellt sich folgende Frage:

Worin besteht die Gefahr beim Durchschneiden des Kabels?

Zusammen mit den Schülern kann der Vermutung nachgegangen werden, dass sie bei Berührung einen elektrischen Schlag bekommen könnten. Dabei stellt sich die Frage, wieso diese Gefahr nicht droht, wenn das Kunststoffkabel berührt wird. Um die Frage beantworten zu können, kann ein zerschnittenes Kabel einmal genauer betrachtet werden. Ein Kabel besteht aus zwei Stoffen, die der Schüler bereits kennt: Im Inneren liegt ein Metallkabel, welches von außen durch Kunststoff ummantelt ist. Wird ein Kabel von außen angefasst und in die Steckdose gesteckt, müssen keine Sicherheitsregeln beachtet werden. Kunststoff scheint demzufolge keinen elektrischen Strom zu leiten. Metalle haben die Schüler bereits ebenfalls als Stoffklasse kennengelernt. Dies sollte nun experimentell untersucht und bestätigt werden.

Welche Stoffe leiten den elektrischen Strom?

Versuch 4: Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit

Schülerexperiment nach *Collin* [128, S. 180]

Geräte: Proben von Kunststoff, Zink, Aluminium, Eisen und Kupfer, 4,5 V Batterie oder eine andere Spannungsquelle, Verbindungskabel, Glühlampe (6 V; 2,4 W)

Durchführung: Zunächst muss der Stromkreis entsprechend der Abb. 3.12 aufgebaut werden. Die Stoffproben werden nach und nach in den Stromkreis eingeschlossen, dabei wird

die Glühlampe beobachtet. Alle Stoffproben werden so nacheinander auf ihre elektrische Leitfähigkeit geprüft.

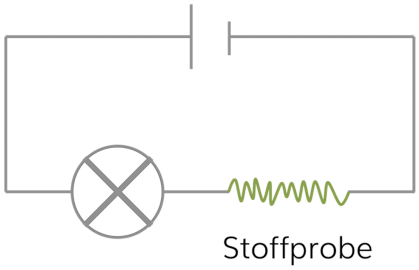


Abb. 3.12: Versuchsaufbau – Versuch 4

Beobachtungen: Bei allen Metallen leuchtet die Glühlampe auf. Wird jedoch die Kunststoffprobe eingespannt, leuchtet diese nicht auf.

Wesentliche Lerninhalte: Ist ein Stromkreis geschlossen, glüht die Lampe auf. Metalle leiten den elektrischen Strom, Kunststoffe nicht.

Fachlicher Hintergrund: Die Glühlampe kann nur aufleuchten, wenn ein geschlossener Stromkreis vorliegt. Ein Stromkreis ist nur geschlossen, wenn die eingeschlossene Stoffprobe den elektrische Strom leitet. Alle Metalle leiten den elektrischen Strom, da sie aus Atomrümpfen und freien Elektronen bestehen, wobei letztere den Strom leiten.

Bisher wurden nun einige Geräte und Maschinen als Kontexte genutzt, um für die verschiedenen Inhalte geeignete Einstiege zu gewinnen. Der Rasenmäher ist beispielsweise ein Gartengerät, das auch mal defekt gehen kann. Ebenso muss die Klinge ausgebaut und entweder ersetzt oder neu geschärft werden. Dafür brauchen die Schüler einen Schraubendreher. Die Schrauben innerhalb des Rasenmähers sind sehr versteckt und nur schwer zu erreichen. Aus diesem Grund wurden Schraubendreher entwickelt, die eine magnetische Spitze haben, wie beispielhaft in Abb. 3.13. Durch diese Eigenschaft können Schrauben daran haften und so an die richtige Stelle gebracht werden.



Abb. 3.13: Foto eines magnetischen Schraubendrehers [134]

Dieser Schraubendreher bietet somit einen Kontext zur Stoffeigenschaft Magnetismus. Es ergeben sich zusätzlich folgende alternativen Einstiege: Neben den zahlreichen Geräten befinden sich auch noch weitere Gegenstände und Verbrauchsmaterialien im Schulgarten, wie beispielsweise Samen für Pflanzen. Diese können in kleinen Dosen aufbewahrt werden, die an einer Magnetwand befestigt werden können. Damit eigenen sich diese, um die Stoffeigenschaft 'Magnetismus' genauer zu untersuchen. Um für ein geistiges Ungleichgewicht

zu sorgen, könnte eine Magnetwand und die dazugehörigen Metalldosen, wie in Abb. 3.14 gezeigt, vorgestellt werden, an der aber beispielsweise kein Gefäß aus Kunststoffe hält.



Abb. 3.14: Foto einer Magnetwand mit Dosen [135]

Neben Magnetwänden für kleine Dosen gibt es auch Magnetwände mit stärkerer Wirkung, an denen sogar Werkzeug haften bleibt, siehe Abb. 3.15 .



Abb. 3.15: Foto einer Magnetwand für Werkzeug [136]

Einige Schüler kennen die magnetischen Eigenschaften von Metallen. Allerdings haben nicht alle Metalle magnetische Eigenschaften. In diesem Zusammenhang soll der magnetische Schrauberdreher dienen, da er spielerisch zu folgender Fragestellung führen kann.

Welche Stoffe sind magnetisch?

Versuch 5: Magnetismus von Stoffen

Schülerexperiment nach *Collin* [128, S. 178]

Geräte: Schrauben und Nägel aus Aluminium, Zink, Kupfer, Eisen, Stahl, magnetischer Schraubendreher

Durchführung: Der magnetische Schraubendreher wird nach einander an die verschiedenen Stoffproben (Nägel und Schrauben) gehalten. Es wird überprüft, ob der Nagel an der magnetischen Spitze des Schraubendrehers haften bleibt.

Beobachtungen: Nur die Eisenschraube bleibt an der magnetischen Spitze haften, während alle andere Stoffe nicht am Magneten haften bleiben.

Wesentliche Lerninhalte: Eisen ist magnetisch, während die anderen Stoffe keine magnetischen Eigenschaften haben.

Fachlicher Hintergrund: Eisen ist das einzige Metall, das am magnetischen Schraubenzieher Wirkung zeigt. Diese Eigenschaft wird daher als als Ferromagnetismus bezeichnet. Neben Eisen wirken aber auch die Metalle Cobalt und Nickel ferromagnetisch. Dass nur so

wenige Metalle diese Eigenschaft aufweisen, liegt am Ursprung dieser Eigenschaft. Sie entsteht dadurch, dass sich die Elektronen (vornehmlich die Valenzelektronen) mit parallelem Spin ausrichten. Dieser Zustand ist aufgrund des Pauli-Prinzips jedoch energetisch ungünstig. Es kommt daher zu einer sogenannten Austauschwechselwirkung: Einige Elektronen erfahren eine Absenkung ihrer potentiellen Energie. Gleichzeitig erhalten andere Elektronen eine Zunahme ihrer kinetischen Energie. Kunststoffe sind ebenfalls nicht ferromagnetisch.

Wie bereits eingangs erwähnt, sollten die behandelten Stoffeigenschaften und ihre Stoffklassen in einer Tabelle gesammelt und zusammengefasst werden. Ein Vorschlag für diese befindet sich auf der letzten Seite dieses Abschnitts. Bisher wurden jedoch nur einige Stoffklassen behandelt. Der Vollständigkeit halber können und sollten weitere Stoffe untersucht werden, wie beispielsweise Keramiken, Glas, Ton, Holz und Cellulose. Dazu eignen sich insbesondere Blumentöpfe, da es diese aus all diesen Materialien zur Verfügung stehen.

Anhand der Gartengeräte und Gegenstände wurden viele Stoffeigenschaften von Feststoffen erarbeitet. Diese wurden an verschiedenen Körpern erlernt, die im festen Zustand vorlagen. Im Folgenden sollen die drei Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig eingeführt und charakterisiert werden. Ziel ist es, dass die Schüler Stoffe nach den drei Aggregatzuständen einteilen können. Um dies zu erreichen, wird ein neuer Kontext eingeführt. Bei den Schädlingsbkämpfungsmitteln können Mittel mit allen drei Aggregatzuständen gefunden werden: feste, flüssige und gasförmige. In der Abb. 3.16 sind beispielhaft die 'Schädlingsfrei Kombistäbchen' als Feststoff, 'Schädlingsfrei Lösung' als Flüssigkeit und das 'Wühlmausgas' als Gas vorgestellt. Diese Mittel und zahlreiche Alternativen findet man auf der Internetseite des Baumarktes 'Bauhaus.



Abb. 3.16: Pflanzenschutzmittel

Die Schüler werden aufgefordert die drei Schädlingsbekämpfungsmittel zu vergleichen und Unterscheide herauszuarbeiten. Dabei können folgende Antworten erwartet werden:

- Der Einsatzzweck unterscheidet sich.
- Die Verpackung unterscheidet sich: Flasche, Papier/Folienverpackung, Kartusche
- Der Zustand unterscheidet sich: fest, flüssig, gasförmig.

Am besten wäre ein Pflanzenschutzmittel, welches nur ein Einsatzgebiet hat, jedoch ist dies schwierig. Bei dem gewählten Beispiel des Pflanzenschutzmittel hat zumindest der Feststoff und die Flüssigkeit den gleichen Zweck. Die Schüler können nun gefragt werden, wieso sich die Verpackungen unterscheidet. Die Schüler wissen aus ihrem Alltag, dass Flüssigkeiten in Flaschen transportiert werden. Feststoffe brauchen in der Regel keine Verpackung oder werden in Papier oder Folie eingewickelt. Die Kartusche hingegen ist für die Schüler eventuell noch unbekannt. Hier kann nun eine Analogie mit einer Campingkartusche erfolgen, die

den Schülern eher von Zeltausflügen bekannt ist. Mit den Schülern wird folgender Merksatz erarbeitet:

> Ein Körper besteht aus einem bestimmten Material. Er lässt sich durch seine Form charakterisieren und kann im festen, flüssigen oder gasförmigen Aggregatzustand vorliegen.

Im Folgenden sollen die drei Aggregatzustände genauer untersucht und die Merkmale zusammengetragen werden. Ein erweiterter Blick auf die Verpackung der diversen Mittel bringt noch einen weiteren Lerninhalt zum Vorschein. Auf den Verpackungen sind Gefahrstoffsymbole erkennbar, die mit den Schülern zusammen erörtert werden können. Auf Grund dessen, wird den Schülern verdeutlicht, dass der folgende Versuch als Lehrerexperiment durchgeführt werden muss.

Versuch 6: Untersuchung der Aggregatzustände

Lehrerdemonstrationsexperiment nach *Collin* [128, S. 178]

Geräte: 2 30-mL-Spritzen, 50-mL-Becherglas, 2 Kombi-Stopfen, Adapter für Kartuschen, Silikonschlauch ($\varnothing \sim 1$ cm, $l = 15$ cm)

Chemikalien: Schädlingsfrei-Kombistäbchen (z.B. von der Firma Celaflor), Schädlingsfrei-Lösung (z.B. von der Firma Neudorf), Wühlmausgas (z.B. von der Firma Neudorf)

Durchführung: Das Wühlmausgas wird mit Hilfe des Adapters und dem Silikonschlauch in die 30 mL Spritze bis zur 20 mL Marke befüllt und mit einem Kombi-Stopfen verschlossen. Die Flüssigkeit der Schädlingsfrei-Lösung wird in ein Becherglas umgefüllt und mit der Spritze bis zur 20 mL Marke aufgesogen. Diese wird dann mit einem Kombi-Stopfen verschlossen. Die Spritzen werden jeweils mit dem Kombi-Stopfen verschlossen. Die Stäbchen werden aus der Verpackung entnommen. Nun wird versucht, die Spritze zu komprimieren, also den Stempel in Richtung des Spritzenaufsatzes zu drücken. Anschließend wird sie dekomprimiert, indem der Stempel in Richtung Spritzenkörper gezogen wird. Außerdem schwenkt man die Flüssigkeit im Glas.

Beobachtungen: Die Stäbchen lassen sich in ihrer Form und Volumen nicht ändern. Die Flüssigkeit in der Spritze lässt sich nicht komprimieren, ändert jedoch ihre Form beim Umfüllen und Schwenken. Das Gas lässt sich komprimieren und passt sich auch der jeweiligen Form an.

Wesentliche Lerninhalte: Die drei Aggregatzustände unterscheiden sich in ihrem Verhalten gegenüber Form und Volumenänderung. Gase passen sich sowohl dem Volumen als auch der Form an. Flüssigkeiten hingegen können sich nur der Form anpassen, nicht aber dem Volumen. Feststoffe verändern sich weder in Form noch im Volumen. Im Folgenden können die Schüler die Aggregatzustände wie folgt definieren.

> Der Zustand, in dem ein Körper vorliegt, wird Aggregatzustand genannt. Der Aggregatzustand ist ein weiteres Körpermerkmal. Dabei können die drei Aggregatzustände (fest, flüssig und gasförmig) mit den Phasenübergängen klassifiziert werden.

3.2 Erste Bodenuntersuchungen

Unter der Überschrift *'Erste Bodenuntersuchungen'* werden die Schüler spielerisch und experimentell an einfache naturwissenschaftliche Fragestellungen zur Bodenbeschaffenheit und zu den Bodeneigenschaften herangeführt. Der fachliche Schwerpunkt dieses Abschnitts liegt damit im Bereich des *'Bodens'*. Dieser spielt im Alltag für die Schüler eine untergeordnete Rolle. Im Schulgarten selbst ist der Boden jedoch das zentrale Medium, auf dem die Schüler Nutzpflanzen aussähen und eine reichhaltige Ernte erwirtschaften. Auf diese Weise ist es möglich, problemorientierte Unterrichtssituationen zu schaffen. Dabei soll der Fokus vor allem auf folgende erste Bodeneigenschaften gelegt werden: pH-Wert, Kalkgehalt, Aussehen.

Weitere Bodeneigenschaften, wie die Wasserkapazität und der Luftgehalt, werden in den folgenden Abschnitten thematisiert. Zunächst soll der Fokus auf die ersten Eigenschaften gelegt werden, um daran anschließend die Bodenarten zu differenzieren und charakterisieren. Beginnend werden erste naturwissenschaftliche Trennverfahren, das Sieben und das Aufschlämmen, eingeführt. Dabei lernen die Schüler, dass für die Trennung von Stoffen unterschiedliche Stoffeigenschaften, hier die Korngröße und die Dichte, genutzt werden können. Auf diese Weise legt der NaWi-Unterricht zusätzliche Grundsteine für den weiterführenden Fachunterricht. Andere Trennverfahren, wie beispielsweise die Chromatografie und die Adsorption werden später im Chemieanfangsunterricht eingeführt. Verfahren wie diese sind für die Schüler gegebenenfalls leichter zu verstehen, wenn sie bereits im NaWi-Unterricht einfache Trennverfahren kennengelernt haben. Unterstützende Materialien zu den verschiedenen Bodenarten und den Bodeneigenschaften, sowie zu Trennverfahren sind in aktuellen Lehrbüchern wie beispielsweise *NAWIgator* [123, S. 220 ff.], *Netzwerk Naturwissenschaften* [124, S. 322 ff.] und *Natur und Technik* [125, S. 298], sowie den Themenheften *Boden* [137], *Boden – Schüler- und handlungsorientierte Materialien* [138] und *Zauberwerk Boden* [139] zu finden.

Einstieg und Motivation

Der Boden ist ein vielfältiges Medium und hat weitreichende Bezüge zur Alltagswelt, dennoch motiviert das Thema Boden sicher nicht jeden Schüler gleichermaßen. Daher wurde nach einer Möglichkeit gesucht, den Schüler von Beginn an die zentrale Bedeutung des Bodens zu vermitteln. Das Ziel ist es, den Schülern den Boden als Lebensort für Tiere und Pflanze im Kleinen zu vermitteln. Im Großen sollen die Schüler ein Bewusstsein für den Boden erlangen und seine Bedeutung für die Lebensmittelversorgung erkennen. Dies ist vor allem dann gegeben, wenn die Schüler selbst Verantwortung für die Nutzpflanzen und die Bodenpflege tragen und den Wert und Erfolg der eigenen Aufgabe erkennen:

> Die Schüler verstehen den Boden als zentrales Medium, das gemeinsam bewirtschaftet wird.

Die Planung und Bewirtschaftung des Schulgartens hängt maßgeblich von der Art und der Beschaffenheit des vorhandenen Schulgartens der jeweiligen Schule ab. In jedem Fall sollten die Schüler den Boden im eigenen Schulgarten untersuchen. Den Schülern ist die Bedeutung des Bodens zunächst nicht bewusst. Deshalb müssen sie an die Aufgaben des Bodens herangeführt werden. Wurde das vorgeschlagene Konzept im NaWi-Unterricht mit Abschnitt 1 (Gartenutensilien) begonnen, dann steht der Plan für die Bewirtschaftung. Da Leistung von Schülern nur erwartet werden kann, wenn ihnen die Sinnhaftigkeit der eigenen Arbeit klar ist, muss den Schülern ein übergeordnetes Ziel deutlich gemacht werden. Dies konnte wie folgt lauten: **Das Ziel ist es, am Ende des Schuljahres angebaute Pflanzen oder deren Früchte zu ernten, um ein großes Erntefest zu feiern.** Die Schüler sollten im

Sinne einer demokratischen Erziehung auch möglichst selbst entscheiden, welche Pflanzen sie aussähen möchten und ernten wollen.

Welche Pflanzen sollen am Ende des Schuljahres geerntet werden?

Zunächst können die Schüler Ideen sammeln, welches Gemüse und Obst sie im Frühsommer ernten wollen. Dabei ist zu bedenken, dass in den Sommerferien eine Pflege des Gartens erfolgen muss. Alternativ ist es möglich, dass nur Pflanzen gesäht werden, die zum Schuljahresende bereits Früchte tragen. Anhand der Liste von möglichen Pflanzen kann zusammen mit der Lehrkraft eine Auswahl getroffen werden. Dabei könnten beispielsweise folgende Pflanzen berücksichtigt werden: Kresse, Petersilie, Erbsen, Bohnen, Kartoffeln, Tomaten, Möhren, Kürbis, Zucchini, Salat, Radischen.

Die Liste lässt sich zusammen mit den Schülern je nach Intention des Lehrers und der Kapazitäten des Schulgartens individuell ausbauen und variieren. In jedem Fall sollen die Überlegungen dazu anregen, selbstständig kreativ zu werden und sich Fragestellungen, wie beispielsweise, warum gerade diese Pflanzen und keine tropischen Pflanzen angebaut werden können, zu stellen. In der ersten Planung sollten die Ideen aufgegriffen werden. Die gesammelten Vorschläge können anschließend zusammen beurteilt werden. Als Inspiration können umliegende Schulgärten oder Kleingärten besucht und besichtigt werden. Ebenso können Gartenratgeber zu Rate gezogen werden, da diese zusätzlich gute Hinweise zu Mischkulturen und Nachbarpflanzen geben. Die Abb. 3.17 zeigt eine Sammlung von verschiedenem Gemüse und Salatarten.

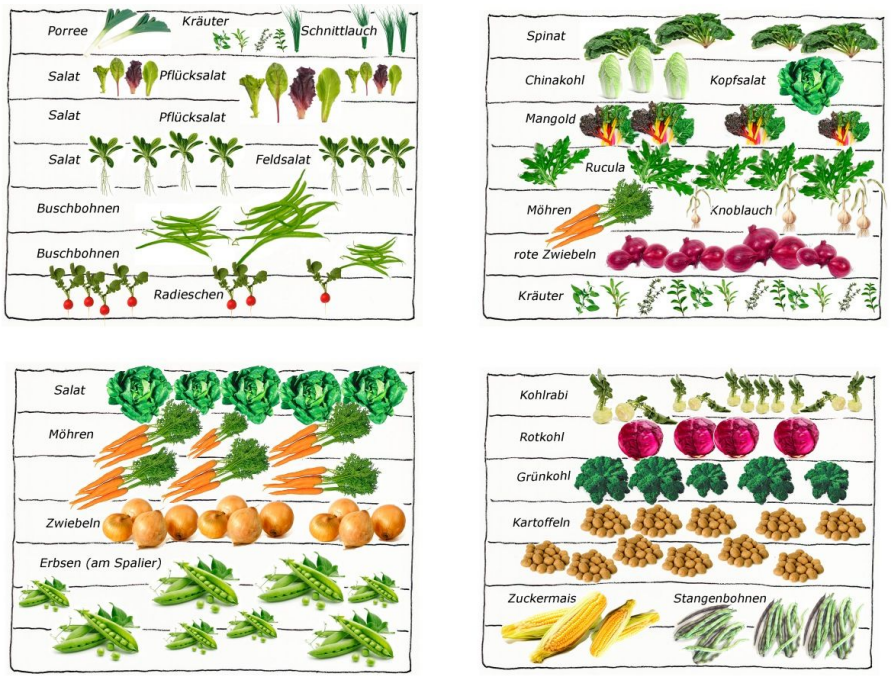


Abb. 3.17: Diverse Gemüsezusammenstellung [140]

Es gibt jedoch auch Vorschläge der Schüler, die nicht aufgegriffen oder umgesetzt werden sollten. Dazu gehören vor allem jene, die mit hohen finanziellen, zeitlichen oder körperlich intensiven Belastungen umgesetzt werden müssten, wie beispielsweise der Anbau tropischer, exotischer oder pflegeintensiver Pflanzen.

Vorwissen

Wie die Rahmenlehrplananalyse des Sachkundeunterrichts zeigt, wird in einigen Bundesländern schon in der Grundschule Schulgartenunterricht durchgeführt. Es ist davon auszugehen, dass ein Teil der Schüler schon über Vorwissen bezüglich der Eigenschaften von Bodensorten verfügt. Generell sollte der Lehrer die folgenden Fragen für sich beantworten, um sich über mögliches Vorwissen bewusst zu werden:

- Können die Schüler zwischen den Bodenarten unterscheiden?
- Kennen die Lernenden die Merkmale der Bodenarten?
- Ist ihnen die Vielfalt der Bodenarten bewusst?
- Können sie dem Boden Eigenschaften zuordnen und wenn ja, welche?
- Kennen sie die Bodenprofile?
- Kennen die Schüler die Eigenschaften sauer, neutral und basisch?
- Kennen die Schüler die Entstehung von Kalk in Haushaltsgeräten und die Möglichkeiten diesen zu entfernen?

Über das weitere Vorgehen

Ziel des Abschnittes ist es, dass sich die Schüler selbstständig und selbstgesteuert mit Bodenarten und Bodeneigenschaften beschäftigen. Daher sollte im Folgenden das Augenmerk der Schüler auf eine Gemüsesorte gelenkt werden, die einen durchaus anspruchsvollen Boden benötigt. Kresse beispielsweise wächst nahezu überall. Bohnenpflanzen benötigen viel Wasser, die Qualität des Bodens ist jedoch kein entscheidender Parameter. Zu den anspruchsvollen Gemüsesorten gehören beispielsweise die Tomate, die Kartoffel oder auch die Mohrrübe. Letztere hat jedoch oftmals Probleme mit Bodenlebewesen und deshalb ist keine Erntegarantie gegeben. Die Tomate hingegen wächst am besten an ruhigen, sonnigen Plätzen und bevorzugt in einem Gewächshaus. Deshalb bietet es sich an, diese zu einem späteren Zeitpunkt einzusetzen. Die Kartoffelpflanze an sich ist recht robust und bringt auch eine gewisse Erntegarantie mit sich. Dennoch hat die Kartoffel auch hohe Ansprüche an den Boden. Dies mag für die Schüler eventuell erstaunlich sein, da die Kartoffel zu den grundlegenden Lebensmitteln gehört.

Die Wahl der Kartoffel bringt einen weiteren Vorteil. Sie ist eine Gemüsesorte, die die Schüler kennen. Außerdem lässt sich die Kartoffel bereits im Frühsommer ernten. Dies ist für den Schulgarten unbedingt notwendig, um das Jahresziel zu erreichen, also das Ausrichten eines Abschlussfest, bei dem der Ernteerfolg gefeiert wird. Dazu werden die Schüler aufgefordert, eine Pflanzkartoffelsorte auszuwählen, die sie definitiv im laufenden Schuljahr ernten können. Ein Garant hierfür ist beispielsweise die *holländische Erstlingkartoffel*, welche in Abb. 3.18 dargestellt ist.

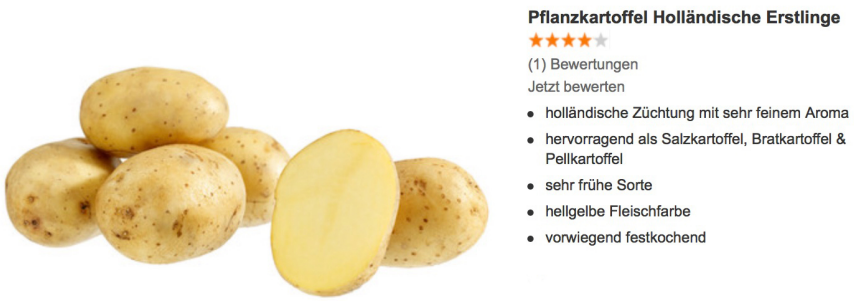


Abb. 3.18: Holländische Erstlingskartoffel [141]

Die Pflanzempfehlung holländische Erstlingskartoffel lautet: „Pflanzen Sie die Kartoffeln in einen lockeren Boden mit guter Wasser- sowie Nährstoffversorgung. Meiden Sie steinige oder lehmige Böden. Der pH-Wert sollte bei 5 – 6 liegen.“ [141]. Diese Anmerkung leitet die Schüler zur folgenden Problemfrage:

Ist Boden denn nicht gleich Boden?

Um dieser Frage auf den Grund zu gehen, werden die Schüler aufgefordert, Bodenproben des Schulgartens zu entnehmen. Außerdem werden Vergleichsproben benötigt, um nachzuschauen, ob sich der Gartenboden beispielsweise vom Waldboden unterscheidet. An dieser Stelle kann zusammen mit den Schülern überlegt werden, an welchen Orten die Proben entnommen werden sollten. Diese Orte können je nach Intention des Lehrers und der Wünsche der Schüler individuell angepasst werden. Der Lehrer sollte darauf hinwirken, dass sich die Proben in ihrer Zusammensetzung unterscheiden. Nur so gewährleistet man unterschiedliche Versuchsergebnisse der Bodenproben.

Über die Wahl geeigneter Bodenproben

Das Ziel dieses Konzept-Abschnittes ist es, ausgewählte Bodeneigenschaften zu untersuchen. Dabei ist zu beachten, dass alle Bodenproben mit dem selben Verfahren entnommen werden. Es eignet sich beispielsweise ein Spaten. Dieser wird dann bis zu einer Markierung in den Boden geführt (in etwa 20 cm) und die Probe heraus gehoben. Dabei muss auf die gleiche Menge bei jeder Entnahmestelle geachtet werden. Dieses exakte Arbeiten ist nötig, da beispielsweise die Tiefe der Bodenprobe einen Einfluss auf den Humusgehalt und den pH-Wert hat. Für die in dieser Arbeit durchgeführten Experimente wurden Proben eines Sandstrandes, eines Spielplatzes (in diesem Fall auch ein sandiger Boden), eines Gartens, von Blumenende und eines Waldes genommen.

Die Sandproben werden am besten von einem Strand, einem Freibad mit angelegten Strand oder im Baumarkt genommen werden, den Strandsand hoher Güte kann man auch kaufen. Der Boden unter Nadelbäumen hat in der Regel einen sehr niedrigen pH-Wert, weshalb sich Kieferwaldboden sehr gut eignet. Felder werden regelmäßig im Frühjahr und Herbst gedüngt, sodass hier teilweise unterschiedliche Ergebnisse zu erwarten sind. Lehmböden sind mancher Ortes in der Nähe vom Mooren zu finden. Blumen oder Komposterde dienen durch den hohen Humusgehalt als gute Referenz.

Über das weitere Vorgehen

Nachdem die Schüler die Proben entnommen haben, können sie sich nun erneut der Kartoffel widmen. Die Anpflanzempfehlung lautete, dass ein Boden mit einem pH-Wert von 5 bis 6 benötigt wird. Die Schwierigkeit hier kann nun darin liegen, dass die Schüler noch nicht mit dem pH-Wert umgehen können. Nach aktuellen Rahmenplänen und Schulbüchern wird der pH-Wert auch erst in der 7. Klassenstufe betrachtet [49], [142], [51]. Didaktisch reduziert wird dieser von den Themenheften für die 5. und 6. Jahrgangsstufe *Boden* von Volk und Wissen [137, S. 21 ff.], in der Zeitschrift *molecool* vom Verband der Chemielehrer/innen Österreichs mit dem Titel *Zauberwerk Boden* [139, S. 13], sowie dem Experimentalbuch *Viktor Obendrauf's schöne Experimente* ,vom Rubikon Verlag [143, S. 320 ff.] und in den *Unterrichtsmaterialien zum Thema Boden* vom Regierungspräsidium Karlsruhe [144, S. 74] aufgegriffen. Der pH-Wert ist ein wesentliches Charakteristikum des Bodens und zählt somit zu den Bodeneigenschaften, die von den Rahmenplänen des integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht gefordert werden. Didaktisch reduziert heißt das für die Schüler:

Ein pH-Wert von 5 bis 6 bedeutet, dass die Kartoffel einen leicht sauren Boden benötigt.

Da die Schüler in der Orientierungsstufe kaum über Wissen zum pH-Wert verfügen, sollte ein theoretischer Exkurs erfolgen. Dabei wird die pH-Skala mittels eines einfachen Farbverlaufs des Universalindikators eingeführt werden. Horizontaler Transfer kann an dieser Stelle durch geeignete Beispiele erfolgen[10], wie in der Abb. 3.19 dargestellt ist.

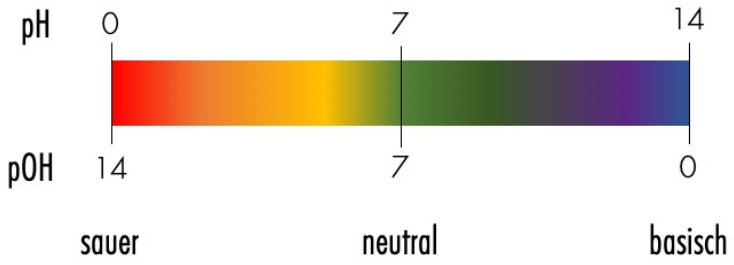


Abb. 3.19: Farbverlauf des Universalindikators

Diese Alltagsbezüge führen zu folgender Problemfrage:

Wie kann der tatsächliche Säuregrad erkannt werden?

Da es sich um Lebensmittel handelt, könnten die Schüler vorschlagen, die Lebensmittel zu essen und anschließend abzustimmen, ob sie sauer sind oder nicht. Jedoch befinden sie sich im naturwissenschaftlichen Unterricht und das Essen im Labor/Klassenraum ist nicht gestattet. Deshalb kann die Lehrkraft neben dem allgemeinen Essensverbot die Aufmerksamkeit der Schüler auf Stoffe lenken, die beispielsweise nicht essbar oder ungenießbar sind. Als eine Möglichkeit können Haushaltsreiniger gewählt werden. Zusammen mit den Schülern wird somit festgestellt, dass ein Messgerät zur Prüfung des Säuregrads benötigt wird. Die Schüler kennen Messgeräte von der Bestimmung anderer Parameter, wie beispielhaft das Thermometer. Nun kann der Lehrer das pH-Meter vorstellen. Die Schwierigkeit hierbei liegt darin, dass pH-Meter recht kostenintensiv sind und nur den Säuregrad von Flüssigkeiten bestimmen können. Des weiteren zeigt der pH-Meter nur eine Zahl. Deshalb wird nach einem alternativem Stoff gesucht, der Säuren identifiziert. Hierbei kann den Schülern das Indikator-Papier und die Indikator-Lösung vorgestellt werden. Das Indikator-Papier ist mit einem Farbstoff getränkt, welcher sich ebenso in der Lösung befindet. Dieser Farbstoff kann seine Farbe, je nach pH-Wert, ändern und so anzeigen, ob eine Säure vorliegt. Zusammen mit den Schülern wird folgender Merksatz formuliert:

Ein pH-Indikator ist ein Farbstoff, der durch seine Farbe den pH-Wert einer wässrigen Lösung zeigt.

[10] Um das Vorwissen der Schüler zu prüfen und einen Alltagsbezug zu schaffen, können die Schüler aufgefordert werden, aufzuzählen welche saure Stoffe sie kennen. Dabei sind folgende Antworten denkbar: Zitrone, saure Gummibärchen, Essig, Äpfel oder saure Gurken. Anschließend können über die genannten Lebensmittel diskutiert werden. Während für den einen saure Gummibärchen sauer schmecken, sind sie für andere nur süß. Ebenso bei den sauren Gurken. Nur bei der Zitrone werden sich vermutlich alle Schüler einig sein.

Mit Hilfe eines Indikators können die Schüler nun schauen, ob ihre Hypothesen übereinstimmen. Anhand des bekannten Geschmacks können die Schüler zunächst eine Anordnung der sauren Lebensmittel aufstellen. Angefangen vom sauersten Lebensmittel könnte folgende Reihenfolge aufstellt werden: Zitrone - Essig - saure Gurke - Apfel - saure Gummibärchen. Zusätzlich ist es an dieser Stelle sinnvoll die basischen Stoffe ebenso zu implementieren. Unter Basen oder Laugen können sich die Schüler oftmals nichts vorstellen, weshalb der Ausflug in die Thematik zunächst nur als Hinführung gesehen wird. Um einen Alltagsbezug zu schaffen, kann das Laugenbrezel als Symbol der Laugen genutzt werden. Da Zitronensäure und Essig als Hausreinigungsmittel bekannt sind, kann als Base der Kalkdünger, welcher im folgenden Unterrichtsverlauf genutzt wird, untersucht werden. Im beschriebenen Versuch können die Schüler den Säuregrad der Lebensmittel und anderer Produkte bestimmen:

Versuch 7: pH-Werte in den verschiedenen Proben messen

Schülerexperiment nach *Michaelis* [145, S. 65]

Geräte: Pappteller, Plastik-Einwegtrinkbecher (transparent, 0,2 L)

Chemikalien: Haushaltsreiniger, Essig, Mineralwasser, Kalkdünger, Universalindikator (pH-Papier), Zitrone, Apfel, Laugenbrezel, saure Gurke, saure Gummibärchen

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Die Früchte und Gurke werden angeschnitten und auf Pappteller gelegt. Das pH-Papier wird auf die Schnittflächen gedrückt und die Farbe anhand der Farbskala bestimmt. Ein Stück feuchtes Indikatorpapier wird auf die Oberfläche des Laugenbrezels und Gummibärchens gedrückt. Auf einen weiteren Pappteller wird Indikatorpapier verteilt und die Reiniger drauf gesprüht. Die Farbe des Indikators wird erneut mit der Skala verglichen. Anschließend werden drei Tropfen Universalindikator in einen Becher gegeben, zu dem Mineralwasser beziehungsweise Kalkdünger, eingefüllt wird. Die Farbe kann anhand der Skala des pH-Papiers bestimmt werden.

Wesentliche Lerninhalte: Anhand der Verfärbung des Indikator-Papiers beziehungsweise der Indikator-Lösung kann der pH-Wert/Säuregrad bestimmt werden. Beim aufgeschnittenen Obst zeigt die Zitrone die stärkste saure Wirkung auf das Indikatorpapier mit einem pH-Wert von 2. Der Apfel hingegen ist bei einem pH-Wert von 5-6 nur schwach sauer. Die Gurke zeigt hingegen eine neutrale Farbgebung. Die Gummibärchen zeigen auch eine saure Eigenschaft[11].Die Laugenbrezel sind ebenso schwach basisch. Essig färbt das Indikatorpapier auch deutlich rot mit einem pH-Wert von 3-4. Der Badreiniger ist ebenso sehr sauer wie die Zitrone. Bei der Zugabe von Unisol-Lösung zum Mineralwasser zeigt dieses ist leicht sauren Charakter bei einem pH-Wert von 5. Der Kalkdünger hingegen ist stark basisch mit einem pH-Wert von 10, weshalb sich die Lösung deutlich blau färbt.

Die Schüler haben nun erkannt, dass der Geschmack eine recht subjektive Wahrnehmung ist und der tatsächliche Säuregrad nicht unbedingt mit der gedachten Reihenfolge übereinstimmt. Außerdem können nicht alle Stoffe durch den Geschmackssinn geprüft werden. Reiniger beispielsweise oder eben auch Bodenproben. Für diese benötigen die Schüler den

[11] Der saure Charakter kann durch die Zitronensäure, die auf dem Gummibärchen klebt, erklärt werden. Wird der pH-Wert der Gummibärchen an einer Schnittstelle geprüft zeigt sich eine neutrale Farbgebung

Indikator. Um den pH-Wert von Feststoffen zu prüfen, müssen diese erst in Wasser gelöst werden. Das selbe gilt auch für Bodenproben.

Versuch 8: pH-Werte in den verschiedenen Bodenproben messen

Schülerexperiment nach *Bergstedt* [137, S. 18]

Geräte: 4 Reagenzgläser (16 x 160 mm) mit einem passenden Stopfen, Löffel, Trichter, Reagenzglasständer, weißer Hintergrund

Chemikalien: Universalindikator-Lösung, Leitungswasser, Gartenerde, Blumenerde, Spielplatz, Waldboden

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Von jeder Bodenprobe wird jeweils ein Löffel in eines der Reagenzgläser über den Trichter gegeben. Die Reagenzgläser mit Wasser bis zu zwei Drittel befüllen und mit fünf Tropfen Universalindikator versetzt. Nun werden die Reagenzgläser mit den Stopfen verschlossen und kräftig geschüttelt. Anschließend werden sie 15-30 Minuten stehen gelassen, bis sich alle Erde am Reagenzglasboden abgesetzt hat. Nun kann mit Hilfe der pH-Skala der pH-Wert bestimmt werden.

Beobachtungen: Die Bodenproben setzen sich nach dem Schütteln unterschiedlich schnell ab. Bei der Blumenerde schwimmen manche Erd-Teilchen an der Wasseroberfläche. Die Blumenerde zeigt einen leicht sauren pH-Wert von 4-5, der Nadelwaldboden liegt ebenso bei 4-5. Die Gartenerde hat einen pH-Wert von 7 und der Sand zeigt einen alkalischen Charakter bei 8.

Wesentliche Lerninhalte: Die Bodenproben unterscheiden sich in ihrem pH-Wert. Wald und Blumenerde sind leicht sauer, die Gartenprobe ist neutral und Sand ist leicht basisch.

Fachlicher Exkurs: Der pH-Wert ist zur Charakterisierung des Bodens eine der wichtigsten Eigenschaften. Die Spanne des pH-Wertes ist dabei sehr groß und liegt bei natürlich vorkommenden Böden zwischen pH 3 und 10 [146, S. 151]. Der Säureeintrag unter humiden[12] Klima kann wie folgt erklärt werden: Durch den Eintrag von Protonen über bodeninterne Reaktionen und saure Niederschläge sinkt der pH-Wert kontinuierlich. Aus diesem Grund sind Puffersysteme, die beispielsweise durch den Bodenkalk gebildet werden, besonders wichtig. Saure Böden finden sich vor allem bei Flächen, die durch Ackerbau stark beansprucht sind und unter Nadelbäumen.

Bei einer Bodenversauerung kommt es zu einem Kationen-Ionen Austausch und wichtige Nährstoffe können dann nicht mehr im Boden gebunden werden [146, S. 152]. Kalium-, Calcium- und Magnesium-Ionen zählen zu den essenziellen Nährstoffen. Durch entstehende beziehungsweise eingetragene Oxidanium-Ionen, welche eine positive Ladung tragen, werden die Kationen aus dem Bodenkolloiden durch Ionenaustauschvorgänge verdrängt. Durch die Verdrängung liegen die Kationen gelöst vor, können mit dem Bodenwasser ausgewaschen werden und stehen den Pflanzen nicht mehr zur Verfügung. Der sinkende pH-Wert löst Aluminium-Ionen aus Mineralien mittels Hydrolyse heraus. Dies kann zu einer Aluminiumvergiftung der Pflanze führen und damit zum verminderten Wurzelwachstum. Über die Wurzelhaare der Pflanzenwurzel werden größtenteils die benötigen Stoffe aufgenom-

[12] Ein humides Klima beschreibt ein feuchtes Klima, bei dem der Niederschlag größer ist als die Verdunstung [147].

men. Bei verminderten Wurzelwachstum kann es zu einem Phosphatmangel der Pflanze und Trockenstress[13] kommen. Ebenso beeinflusst die Bodenazidität die Artenvielfalt im Boden [146, S. 104]. Der Säuregrad des Bodens hat direkte Auswirkungen auf die Bodenorganismen: zum Beispiel wird durch einen niedrigen pH-Wert die Enzymaktivität der Mikroorganismen verändert. Indirekt beeinflusst der Säuregrad auch die Nährstoffversorgung der Bodenlebewesen.

Wichtige Nährstoffe stehen nicht mehr zur Verfügung und können von den Tieren nicht aufgenommen werden. Jedoch gibt es Arten, die sich an die verschiedenen pH-Wert-Bedingungen gut angepasst haben. Bodenmikroorganismen haben sich zum Beispiel durch den Einbau von langen Kohlenstoffketten in ihre äußere Membran vor der Hydrolyse in zu sauren Böden geschützt und sich so eine ökologische Nische für sich gefunden.

Durch den Versuch kann den Schülern gezeigt werden, dass der Gartenboden einen pH-Wert von etwa 7 hat. Kartoffelpflanzen benötigen aber einen pH-Wert von 5 bis 6. Blumenerde und der Waldböden hingegen sind zu sauer für die Kartoffel und die Sandproben weisen sogar einen pH-Wert von 8 auf. Wie nun aber kann der vorhandene Boden auf den für die Kartoffelpflanze notwendigen pH-Wert angepasst werden? Zusammen mit den Schülern können nun Überlegungen angestellt werden, um das Problem zu lösen. Je nachdem, ob der Boden zu sauer oder zu wenig sauer ist, sind dabei folgende Denkansätze möglich:

- Wir mischen sauren und nicht sauren Boden.
- Wir geben Säure auf den Boden.
- Wir brauchen etwas, dass die Säure aus den Boden zieht.

Alle Überlegungen der Schüler sollten zunächst vermerkt werden. Die Vorschläge können gemeinsam diskutiert und bewertet werden. Bei der Säuregradmessung der Böden hat sich gezeigt, dass der Boden des Kieferwaldes und die Blumenerde deutlich 'saurer' waren als die Gartenerde. Nun wird den Schülern aber recht schnell bewusst, dass das im Schulgarten zu bewirtschaftende Beet eine recht große Fläche ist. Um hier Kieferwaldboden einzutragen, muss recht viel Boden aus dem Kieferwald geholt werden. Blumenerde jedoch kann in jedem Gartencenter oder auch Baumarkt gekauft werden. Deshalb bietet es sich an, diese zu verwenden. Jedoch ist Blumenerde recht teuer. So kann der Lehrer auf folgende Frage lenken:

Warum ist Blumenerde so sauer? Welche Stoffe sind darin enthalten?

Die Schüler können diese Frage nur schwer selbst beantworten. An dieser Stelle ist es notwendig den Schülern einige wichtige Informationen zu geben: Blumenerde hat eine saure Eigenschaft, da der Anteil an organischen Substanzen, den sogenannten organischen Säuren, sehr hoch ist. Den Schülern kann bewusst gemacht werden, dass sie organische Säuren aus ihrem Alltag kennen: Zitronensäure, Essig, Äpfelsäure. Organische Säuren entstehen, wenn sich Humus bildet. Humus bildet sich aus organische Material wie Laub, Apfelreste, Brot und allem, was auf den Biomüll gehört. Diese Art der Bodenbildung wird biologische Verwitterung genannt und geschieht auf dem Kompost auf dem natürlichen Weg. Die Schüler haben so den ersten Bodenbildungsprozess kennen gelernt und können ihn wie folgt definieren:

[13] Bei Trockenstress kommt es zur Unterversorgung der Pflanze mit Wasser [148].

Bei der biologischen Verwitterung werden organische Stoffe durch Kleinstlebewesen zersetzt. Dabei entsteht humusreicher Boden.

Die Entstehung von Kompost dauert jedoch einige Wochen bis Monate. Nichtsdestotrotz ist es sinnvoll, einen eigenen Kompost anzulegen, um zukünftig den pH-Wert des Bodens mit Hilfe von Komposterde zu regulieren.

Versuch 9: Wir legen einen Kompost an.

Schülerexperiment nach *molecool* [149, S. 14]

Geräte: Kunststofftopf ($\varnothing = 35$ cm), 2 passende Untersetzer, Nagel, Hammer, Pappe, Karton oder Zeitungspapier

Chemikalien: Organische-Abfälle (Salatblätter, Kartoffelschalen, Obst-und Gemüseschalen, Eierschalen), Laub, Regenwürmer

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Vorbereitung: Mit dem Hammer und dem Nagel werden Löcher in den Boden des Topfes gebohrt.

Durchführung: Karton, Zeitung oder Pappe werden befeuchtet und nach unten über die Löcher im Topf gelegt. Darauf werden 2 bis 3 Regenwürmer verteilt. Anschließend wird der Bio-Abfall auf die Regenwürmer gegeben. Der Topf wird auf einen Untersetzer gestellt und mit dem zweiten Untersetzer verschlossen. Anschließend wird der Topf an einen ruhigen, warmen Ort (20 °C) gestellt. Von oben werden in regelmäßigen Abständen Karton oder Zeitungen, bei Bedarf auch Bio-Abfall, nachgefüllt.

Beobachtungen: Der Bio-Abfall (Salatreste und Zeitungen) wird von den Regenwümern zerkleinert und zersetzt, wobei dunkle Rückstände entstehen. Außerdem tritt immer wieder eine Flüssigkeit aus den Löchern des Topfbodens aus.

Wesentliche Lerninhalte: Die Regenwürmer zersetzen die Organische Abfälle zu Komposterde. Die dabei austretende Flüssigkeit enthält viele Nährstoffe aus den organischen Abfällen und kann als Flüssigdünger verwendet werden, wenn diese im Verhältnis 1:10 mit Wasser verdünnt wird.

Anmerkung: Trockene Blätter, Laub, Zeitungen und Pappe bestehen zum größtenteils aus Zellulose und dienen beim Kompostieren als Kohlenstoffquelle. Küchenabfälle wie Obstschalen, Kartoffelschalen und Salatblätter dienen als Stickstoffquelle. Eierschalen enthalten Calciumcarbonat und reichern so Kalk im Boden an. Als ideales Mischungsverhältnis eines Kompost werden Zweidrittel kohlenstoffreiche Stoffe und einem Drittel stickstoffreicher Stoffe auf dem Kompost vermengt.

Fachlicher Exkurs: Die abgestorbenen Pflanzen- und Tierreste werden durch die Bodenlebewesen zerkleinert und abgebaut. Dies geschieht unterschiedlich schnell, sodass Humus eine heterogene Masse darstellt, in der unterschiedliche Zersetzungsstadien vorliegen. Je nach dem, wie stark die Bestandteile bereits umgewandelt sind, wird von **Streustoffen** oder **Huminstoffen** gesprochen. Abgestorbene Pflanzenteile und Tierreste, die noch oberirdisch sichtbar sind und nahezu nicht umgewandelt vorliegen, zählen zu den Streustoffen. Huminstoffe sind bereits stark bis ganz zersetzte Bestandteile, die nicht weiter zersetzt oder mineralisiert werden können.

An einem Beispiel betrachtet, bedeutet dies, das totes organisches Material zunächst durch Regenwürmer, Milben, Asseln und Larven zerkleinert wird [137, S. 8 ff.]. Mithilfe von Mikroorganismen, wie Bakterien und Pilze, werden die Reste umgewandelt. Dieser Abbauprozess wird **Humifizierung** genannt und dabei entstehen Huminstoffe, die in die Humine, die Fulvosäuren und die Huminsäuren unterteilt werden. Unklar ist noch der ablaufende Mechanismus bei der Humifizierung. Die wichtigen Mineralstoffe für den Boden werden durch den letzten Schritt, die Mineralisierung, freigesetzt. Dabei entstehen Kohlenstoffdioxid, Wasser und die Mineralstoffe. Um zu verdeutlichen, woraus die Mineralien gewonnen werden, müssen die Pflanzenbestandteile genauer betrachtet werden. Hauptbestandteile sind Cellulose, Stärke, Lignin, Gerbstoffe und Tannine, Cutin, Lipide und Proteine [146, S. 56.]. Der Stickstoff und der Schwefel werden aus den Proteinen freisetzt. Proteine bestehen aus Aminosäuren, die über Peptidbindungen miteinander verknüpft sind. In den Aminosäuren Cystin, Cystein und Methionin ist Schwefel chemisch gebunden. Der Phosphor ist als Orthophosphatmonoester in Form der Phospholipide verankert. Die Mikroorganismen nutzen die Polysaccharide und Proteine als Kohlenstoff- und Energiequelle, da sie diese schnell abbauen können. Bakterien und Pilze setzen sich fast aus den selben Bestandteilen zusammen, mit Ausnahme vom Lignin, sowie den Gerbstoffen und Cutin.

Einige Pflanzenbestandteile, wie das Lignin, sind mikrobiell sehr schwer umsetzbar und bleiben deshalb als Dauerhumus im Boden und stehen hier zur Ionen-Adsorption, Wasserbindung und als Gefüge-Element zur Verfügung. Den Gegensatz dazu bildet der Nährhumus, der aus mikrobiell schnell umsetzbaren Bestandteilen entsteht. Dieser dient als Nahrungsquelle für die Mikroorganismen, die diesen für ihre Bau- und Energiestoffwechsel benötigen.

Die entstehenden Huminstoffe sind hochmolekulare, stabile Verbindungen. Aufgebaut sind diese aus aromatischen oder alicyclischen[14] Ringen und Acylketten, sowie Carbonyl-, Carboxyl- und Hydroxylgruppen [150]. Des Weiteren können Schwefel, Stickstoff und Phosphor in die Struktur integriert sein. Aus diesem Grund können sie keiner Stoffgruppe zugeordnet werden, sondern stellen ein polymeres Gemisch dar. Sie haben ein großes Molekulargewicht, das zwischen 100 bis 10000 Dalton liegt. Aufgrund ihrer Größe und der damit abhängigen Lichtabsorption und -reflektion haben Huminstoffe eine gelbbraune bis schwarze Farbe. Je nach Aufbau lassen sie sich auf Grund des Löslichkeitsverhalten in Humine, Falvosäuren und Huminsäuren auftrennen. Zu den Huminsäuren gehören die Braunhuminsäuren, Grauhuminsäuren und die Hymatomelanhuminsäure [137, S. 8]. Die Huminsäuren bestehen zu einem großen Teil aus aromatischen Verbindungen. Mit Hilfe von Ionenbindungen können sie mit Metall-Kationen wie zum Beispiel Eisen-(II)-Ionen unlösliche Humate [15] bilden und somit ein Auswaschen verhindern. Auf der anderen Seite binden sie auf dem selben Weg Schadstoffe, wie auch Schwermetalle. Dadurch wird eine direkte Schädigung der im Boden lebenden Organismen verhindert und der Eintrag der Schadstoffe in das Grundwasser oder in tiefere Bodenschichten verzögert.

Die Fulvosäuren haben einen großen Anteil von Carbonylgruppen und zeigen im allgemeinen eine bessere Löslichkeit als Huminsäuren oder gar Humine. Ebenso tragen sie stärker zur pH-Regulation bei als die Huminsäuren. Die Fulvosäuren zählen zu den starken Säuren und senken so den pH-Wert des Bodens, während die Huminsäuren nur schwache Säuren darstellen. Mit der gelb bis gelbbraunen Farbe gehören sie zu den helleren Huminstoffen [137, S. 8]. Durch die funktionellen Gruppen adsorbieren sie wichtige Nährstoffe und speichern diese im Bodengefüge.

[14] Bei alicyclischen Verbindungen handelt es sich um cylische, nicht aromatische Kohlenwasserstoffe.
[15] Bei Humaten handelt es sich um das Salz der Huminsäure.

Die Humine bilden zusammen mit Kalk und Ton stabile Mikroaggregate und sorgen so für eine Permanenz im Boden. Sie nehmen Einfluss auf die Bodenkrümmelung und binden wichtige Nährstoffe. Diese verbleiben so im Boden und werden nicht mit dem Bodenwasser ausgewaschen. Durch die Bildung der Aggregate bilden sich die wichtigen Bodenporen, welche sich mit Wasser oder Luft füllen. Somit sorgen die Huminstoffe für eine Lebensgrundlage der Bodenorganismen. Der Aufbau der organischen Bodenkolloide zeigt, dass sowohl hydrophile als auch hydrophobe Bestandteile enthalten sind. Der Boden verfügt sowohl über die Möglichkeit des Wasserspeicherns als auch der Bereitstellung von Wasser. Humusreicher Boden kann die 3-5 fache Menge seines Eigengewichts an Wasser speichern, weshalb die Gefahr des Austrocknens geringer ist als bei Böden ohne Humus [146, S. 69].

Die dunkle Farbgebung der Huminstoffe führt zu einer besseren Erwärmung des Bodens in kühleren Regionen. Dunkle Farben haben die Eigenschaft Strahlungsenergie besser in Wärmeenergie umzuwandeln und somit die Bodentemperatur zu regeln. Dies führt zu einer verlängerten Vegetationszeit und zu besseren Anbaubedingungen. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die organischen Bestandteile des Bodens viele wichtige Funktionen erfüllen und der Humusgehalt im Boden für alle Lebewesen, sowie die Pflanzenvielfalt relevant ist .

Beim Kompostieren entsteht jedoch nicht nur Humus, da auch anorganische Stoffe auf den Kompost eingetragen werden. Und auch in der Blumenerde ist nicht nur Humus enthalten. Das Ziel ist jedoch den Humusgehalt des Bodens zu bestimmen, um anschließend abschätzen zu können, wie viel Kompost- oder Blumenerde in das Beet eingetragen werden kann. Hier bleibt somit die Frage:

Wie kann der Humusanteil in einer Bodenprobe bestimmt werden?

Den Schülern wurde im vorherigen Unterrichtsverlauf bereits gezeigt, das Humus die organischen Bestandteile sind. Wichtig hierbei: die Klassifizierung organisch und anorganisch wird nicht weiter vertieft, da dies Lerninhalt des weiterführenden Chemieunterrichts ist. Es wird erläutert, dass Humus restlos verbrannt werden kann. In dieser Analogie kann der Versuch zur Humusbestimmung über den Glühverlust von den Schülern durchgeführt werden.

Versuch 10: Glühprobe

Schülerexperiment nach *Hellberg-Rode* [151, S. 44]

Geräte: Eisenschale, Brenner, Feuerzeug, Glasstab, Vierfuß, Waage (Genauigkeit: 0,1 g), Kristallisierschale ($\varnothing = 45$ cm)

Chemikalien: Gartenerde, Sand, Blumenerde

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: In der Kristallisierschale werden 60 g einer Bodenprobe abgewogen. Die Bodenprobe wird anschließend in die Eisenschale überführt und unter dem Abzug stark erhitzt. Mit dem Glasstab wird regelmäßig die Erde neu durchmischt, sodass der Boden gleichmäßig erwärmt wird. Sobald kein weißer Rauch mehr aufsteigt, kann das Erhitzen beendet werden. Nach dem die Probe abgekühlt ist, wird sie erneut in der Kristallisierschale abgewogen.

Beobachtungen: Die größte Differenz zwischen Einwaage vor dem Erhitzen und nach dem Erhitzen ist bei der Blumenerde zu erkennen. Keine Differenz ist bei Sand zu vernehmen. Die Messergebnisse sind in der Tab.3.8 aufgezeigt.

Bodenprobe	Einwaage vorher	Einwaage nachher	Differenz
Blumenerde	60 g	20 g	40 g
Sand	60 g	60 g	0 g
Gartenerde	60 g	45 g	15 g

Tab. 3.8: Anteil organischer Bestandteile im verschiedenen Bodenproben

Wesentliche Lerninhalte: Humus entsteht bei der Zersetzung von Pflanzen und verglüht bei Wärme und Luftzufuhr. Aus der Differenz der Massen kann der Humusbestandteil der Erde bestimmt werden. Blumenerde hat den größten Bestandteil Humus, Sand ist humusfrei.

Fachlicher Hintergrund: Die Bestimmung erfolgt nach dem Glühverlust der Probe. Humus besteht aus organischen Bestandteilen. Beim Erhitzen durch den Brenner werden die organischen Stoffe erwärmt und verbrennen/verglühen hauptsächlich zu Wasser und Kohlenstoffdioxid. Außerdem entstehen noch Ammoniak und Schwefeldioxid. Durch die hohen Temperaturen liegt auch entstehendes Wasser gasförmig vor, sodass alle Produkte aus dem System entweichen. Blumenerde hat den größten Humusanteil, wodurch große Hohlräume im Bodenkörper sind, welche für Pflanzen existentiell sind.

Nun kennen die Schüler den Anteil an Humus im Gartenboden und in Blumenerde. Dennoch ist es auch mit diesem Wissen noch schwer abzuschätzen, wie viel Humus in den Boden eingetragen werden muss, wenn dieser zu basisch ist, um den optimalen pH-Wert für die Kartoffel zu erreichen. Dies gelingt nur, indem immer wieder Humus eingetragen wird und der pH-Wert des Bodens stetig geprüft wird. Komposterde eignet sich besonders gut , um Humus in den Boden einzutragen.

Komposterde zählt nun zu den besonders nährstoffreichen Böden, mit hohem Humusanteil. Deshalb sollten in der Praxis im Folgenden alle Beete mit Komposterde versorgt werden. Der pH-Wert der Komposterde liegt zwischen 4 bis 5 (die Kartoffel benötigt einen pH-Wert von 5 bis 6). Wenn der pH-Wert durch den vermehrten Eintrag von Humus nun zu sauer ist, stellt sich die Frage, wie der pH-Wert des Bodens wieder angehoben werden kann. Die Recherche der Schüler kann sie zum Kalkdünger[16] leiten, den sie auch in Versuch 7 kennengelernt haben. Daraus resultiert die Frage, was durch die Zugabe von Kalkdünger im Boden passiert. Um dies nachzuvollziehen, können die Schüler Blumenerde mit Kalk mischen und anschließend den pH-Wert analog zu Versuch 8 testen. Dabei erkennen sie, dass der pH-Wert der Blumenerde durch den Düngemittelzugabe tatsächlich steigt. Aber warum ist das so?

Wodurch kommt die Wirkung des Kalks im Kalkdünger?

[16] Kalkdünger ist Calciumcarbonat, welches als Pulver auf dem Boden verstreut und anschließend untergehoben werden muss.

Kalk ist für die meisten Schüler ein bekannter Stoff. Ob durch verkalkte Wasserkocher, durch Werbung über verkalkte Bad- und Duschwände oder anhand alter Marmorfensterbänke: Kalk ist ein Alltagsstoff, den die Schüler wenigsten in Form von Hühnereiern oder Muscheln kennen. Nun kann den Schülern erklärt werden, dass Kalkverschmutzungen durch Säuren gereinigt werden, und man deshalb Säuren als Kalknachweis nutzen kann. Im Folgenden Versuch können die Schüler nun selbst erforschen, wie Kalk auf Säure reagiert. Anschließend sollen sie ihr erlerntes Wissen auf die Reaktion im Boden anwenden.

Versuch 11: Kalknachweis in verschiedenen Proben

Schülerexperiment nach *Hellberg-Rode* [151, S. 59]

Geräte: 4 Uhrgläser (∅ ∼ 6 cm), Pipette

Chemikalien: Zitronensäure (z.B. Heitmann Reine Citronensäure) [GHS07 ], Essigessenz [GHS02  , GHS05 ], Marmorplatte, Muscheln (z.B. Sandklaffmuschel oder Herzmuschel), Schneckenschalen, Eierschalen, verkalkter Wasserkocher

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Je eine Probe wird auf ein Uhrglas gegeben. Mit der Pipette werden 2 mL Zitronensäure (vorher kann nochmal der pH-Wert bestimmt werden) aufgenommen und diese jeweils auf die Proben getropft. Auch in den Wasserkocher wird auf die verkalkten Stellen Zitronensäure gegeben.

Beobachtungen: Alle Proben schäumen auf, wenn die Zitronensäure oder Essigsäure hinzugegeben wird. Der Kalk im Wasserkocher verschwindet. Die Mamorplatte wird an der benetzten Oberfläche rau.

Wesentliche Lerninhalte: Die Kalksteine und die Muschel schäumen sehr stark auf, da sie hauptsächlich aus Calciumcarbonat (Kalk) bestehen, welches mit der Zitronensäure reagiert. Der Kalk wird dabei aufgelöst und es entsteht ein farbloses Gas. Bezogen auf den Boden heißt das: Im Boden befindliche Säure reagiert mit Kalk aus einem Kalkdünger und wird dabei umgesetzt. Ist weniger Säure im Boden vorhanden, dann steigt der pH-Wert an.

Fachlicher Hintergrund: Kalksteine, Muschel-, Eier- und Schneckenschalen bestehen aus Calciumcarbonat. Dieser reagiert mit Zitronensäure, wobei sich nach der Reaktionsgleichung 3.6 Wasser, gelöstes Calciumcitrat und Kohlenstoffdioxid bildet.

$$\mathrm{CaCO_{3(s)} + 2\,C_6H_8O_{7(l)} \longrightarrow 3\,CO_{2(g)} + Ca_3(C_6H_5O_7)_{2(aq)} + 3\,H_2O_{(l)}} \tag{3.6}$$

Durch Versuch 11 können die Schüler erfahren, dass einige Stoffe, wie Schalen von Eiern und Muscheln, aus Kalk aufgebaut sind. Dieser reagiert mit Säure unter Bläschenbildung, wobei sich der Kalk auflöst. Das bedeutet: Je mehr Kalk im Boden ist, desto weniger Säure dürfte im Boden sein und andersherum. Diese Vermutung kann von den Schülern im folgenden Experiment untersucht werden.

Versuch 12: Kalknachweis in verschiedenen Bodenproben

Schülerexperiment nach *Hellberg-Rode* [151, S. 59]

Geräte: 5 Uhrgläser (⌀ ∼ 6 cm), Pipette, Spatellöffel

Chemikalien: Zitronensäure (z.B. Heitmann Reine Citronensäure) [GHS07] oder Essigessenz [GHS02  , GHS05 ] Blumenerde, Gartenerde, Walderde, Spielplatz-Bodenprobe, Sand

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Je eine Probe wird mit Hilfe eines Spatellöffels auf ein Uhrglas gegeben. Mit der Pipette werden 2 mL Zitronensäure aufgenommen und diese jeweils auf die Proben getropft.

Beobachtungen: Einige Bodenproben, wie der Spielplatzboden, zeigen eine starke Bläschenbildung, andere nur eine leichte und bei einigen Bodenproben ist keine Reaktion ersichtlich.

Wesentliche Lerninhalte: Ist in einem Boden Kalk enthalten, dann reagiert die Zitronensäure mit diesem unter Bildung eines farblosen Gases. Je mehr Kalk enthalten ist, desto stärker und länger bilden sie daher Gasblasen, was durch das Aufschäumen sichtbar wird. Die Böden unterscheiden sich also in ihrem Kalkgehalt. Die Spielplatz-Bodenprobe schäumt hierbei sehr stark auf, weshalb darauf geschlossen wird, dass diese viel Kalk enthält. Die anderen Proben (Garten-, Waldproben und Blumenerde) enthalten kaum bis gar keinen Kalk.

Fachlicher Hintergrund: Das Aufbrausen gibt einen ersten Eindruck über den Carbonatgehalt des Bodens, welcher in der Tab. 3.9 aufgelistet ist. Hier können die Proben nun zugeordnet werden. Die Spielplatz-Bodenprobe zeigt ein sehr anhaltendes Aufbrausen, weshalb der Carbonatanteil über 10 % beträgt. Die Bodenproben des Gartens und Waldes zeigen nur ein schwaches Aufbrausen, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass die Böden sehr carbonatarm sind.

Ergebnis	Beurteilung	Kalkanteil
keinerlei Aufbrausen	carbonatfrei	bis 0,5 %
schwaches Aufbrausen	carbonatarm	0,5 bis 2 %
deutliches Aufbrausen	carbonathaltig	2 bis 10 %
anhaltendes Aufbrausen	carbonatreich	über 10 %

Tab. 3.9: Zusammenhang zwischen Kalkanteil und der Heftigkeit des Aufbrausens durch Säurezugabe [137]

Fachlicher Exkurs: Die Modifikationen von Calciumcarbonat werden je nach Herkunft in natürliches Calciumcarbonat und gefälltes Calciumcarbonat eingeteilt [152]. Relevant sind für die Bodenbetrachtungen nur die natürlichen Carbonate. Diese werden je nach Entstehung in Marmor, Kalkstein und Kreide differenziert. Die Entstehung von Marmor aus Kreide oder Kalksteinen benötigt einen hohen Druck bei gleichzeitig hohen Temperaturen. Marmor setzt sich aus größeren Calcit-Kristallen zusammen und ist ein grob-kristallines, metamorphes Gestein. Kreide ist ein lockeres Gestein, dass sich aus den Kalkschalen von Kleinlebewesen gebildet hat. So entsteht auch der Kalkstein aus den kalkhaltigen Skeletten und Schalen von tierischen und pflanzlichen Organismen, er ist jedoch stärker verfestigt als Kreide. Die Carbonatkristalle liegen von der Größe zwischen den von Kreide und Mar-

mor. Die im Erdreich am häufigsten auftretende Kalkquelle ist das Calcit [146, S. 28]. Der Calcit-Kristall ist thermodynamisch stabil, reagiert aber unter starkem Aufbrausen mit Säuren. Calcit findet in verschiedenen Bereichen Anwendungen, unter anderem als Polier- und Schleifmittel in Zahnpasta und Putzmitteln, aber auch bei der Herstellung von Mörtel und Löschkalk. Die Schalen von Muscheln und Schnecken sind aus Argonit aufgebaut, welches dem Calcit ähnlich ist [153]. Da Argonit nicht so beständig und hart ist wie Calcit, dient es nicht der Gesteinsbildung [154]. Hinter der Entstehung von Kalk steckt eine Gleichgewichtsreaktion: Löst sich Kohlenstoffdioxid in Wasser, dann werden Hydrogencarbonat-Ionen und Oxidanium-Ionen gebildet.

$$CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HCO^-_{3\,(aq)} + H_3O^+_{(aq)} \tag{3.7}$$

Im Bodenwasser sind zudem Calcium-Ionen gelöst. Diese verbinden sich beim Verdunsten von Wasser mit den Hydrogencarbonat-Ionen und das schwerlösliche Calciumcarbonat fällt aus.

$$2HCO^-_{3\,(aq)} + Ca^{2+}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow CaCO_{3(s)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \tag{3.8}$$

An dieser Stelle ist es möglich, mit den Schülern vertiefend in die Thematik einzusteigen und das Aufbrausen näher zu beleuchten. Das Aufbrausen weist auf ein entstehendes Gas hin, welches nun genauer untersucht werden kann. Hierzu wird eine Nachweismethode für Gase benötigt. Kohlenstoffdioxid kann mit Hilfe von Kalkwasser nachgewiesen werden.Zunächst wird ein einfacher Kohlenstoffdioxidnachweis durchgeführt.

Versuch 13: Kohlenstoffdioxid-Nachweis mit Kalkwasser

Schülerexperiment

Geräte: Reagenzglas (16 x 160 mm), Silikonschlauch ($\varnothing \sim 1$ cm, $l = 5$ cm)

Chemikalien: Kohlenstoffdioxid [GHS04 ], Kalkwasser (Calciumhydroxid-Lösung) [GHS05  GHS07 ]

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Das Reagenzglas wird 5 cm hoch mit Kalkwasser befüllt. Nun düst man vorsichtig über den Schlauch, der in das mit Kalkwasser gefüllte Reagenzglas ragt, das Kohlenstoffdioxid aus.

Beobachtungen: Kalkwasser ist eine farblose Flüssigkeit. Durch das Einleiten von Kohlenstoffdioxid steigen in der Lösung Blasen auf und die Lösung trübt sich weiß.

Wesentliche Lerninhalte: Das Kohlenstoffdioxid reagiert mit dem Kalkwasser und trübt dieses weißlich. Dabei wird Kalk gebildet.

Fachlicher Hintergrund: Das Kohlenstoffdioxid reagiert mit der Calciumhydroxid-Lösung unter Bildung von Calciumcarbonat und Wasser. Wird zu viel Kohlenstoffdioxid in das Kalkwasser eingeleitet, verschwindet diese Trübung wieder, da Kohlenstoffdioxid mit Calciumcarbonat nach der Reaktionsgleichung reagieren kann.

Damit sind bei den Schülern alle Grundlagen für vertiefende Untersuchungen des Bodens gelegt. Nun liegt die Vermutung nahe, dass das Aufschäumen von kalkhaltigen Böden durch Säurezugabe bedeutet, dass Kohlenstoffdioxid gebildet wird. Um sicher zu stellen, dass es sich bei dem entweichenden Gas aus dem Boden auch wirklich um Kohlenstoffdioxid handelt und nicht um die entweichende Luft, kann in folgenden Experiment das Gas untersucht werden.

Versuch 14: Kombinierter Kalk- und Kohlenstoffdioxidnachweis mit Bodenproben

Schülerexperiment

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 x 160 mm) mit einem passenden Stopfen, Heidelberger-Verlängerung (75 cm), 2 Kanülen (1,2 x 40 mm), Kanüle (0,8 x 120 mm), schwarze Pappe als Hintergrund, 10-mL-Spritze, 2 10-mL-Bechergläser, PP-Luer-Verbinder (weiblich), PP-Luer-Verbinder (männlich), Silikonschlauch ($\varnothing \sim 1$ cm, $l = 5$ cm), Trichter, Spatellöffel, Stativ, 2 Muffen, 2 Klemmen **oder** Magnettafelsystem + 2 Klemmen

Chemikalien: Zitronensäure (z.B. Heitmann Reine Citronensäure) [GHS07 ] oder Essigessenz [GHS02  , GHS05 ], Calciumhydroxid-Lösung (Kalkwasser) [GHS05  GHS07 ], Kalkhaltige Bodenprobe

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Vorbereitung: Die Kanülen werden mit sanften Druck und einer Drehbewegung in den weichen Stopfen geführt, bis sie diesen Stopfen durchbohrt haben. Um Verletzungen zu vermeiden, kann nun die Spitze der Kanüle nachträglich mit einer Zange abgekniffen werden.

Durchführung: Das Reagenzglas wird 10 cm hoch mit der trockenen Bodenprobe befüllt und mit dem durchbohrten Stopfen verschlossen. Es ist darauf zu achten, dass die Kanülen (1,2 x 40 mm) nicht in den Boden reichen, da ansonsten die zugegebene Säure wieder durch die Kanüle in die Heidelberger-Verlängerung dringen kann. Anschließend wird das Reagenzglas an der Magnettafel oder einem Stativ befestigt. Auf der rechten Kanüle wird eine Heidelberger-Verlängerung befestigt, an deren anderem Ende ein weiblicher Luer-Adapter angebracht wird, auf welchen ein kurzes Stück Silikonschlauch gezogen wird. Der männliche Luer-Adapter wird auf die Kanüle (0,8 x 120 mm) gedreht und wie in Abb. 3.20 zu erkennen ist, im Silikonschlauch fixiert.
Das Reagenzglas wird zu einem Drittel mit Kalkwasser befüllt und vor schwarzer Pappe eingespannt. Die lange Kanüle (0,8 x 120 mm) wird nun in das mit Kalkwasser gefüllte Reagenzglas geführt. Tropfenweise wird über die 10-mL-Spritze Zitronensäure zur Bodenprobe gegeben. Dies geschieht so lange, bis die Zitronensäure aufgebraucht ist oder im Kalkwasser eine deutliche Änderung sichtbar wird.

Beobachtungen: Sobald die Zitronensäure auf die Bodenprobe trifft, beginnen Bläschen aufzusteigen. Kurz danach steigen auch im Kalkwasser kleine Bläschen auf. Zunächst bleibt das Kalkwasser jedoch klar. Durch die weitere Zugabe der Zitronensäure wird die Bläschenbildung heftiger und das Kalkwasser trübt sich.

Wesentliche Lerninhalte: Ist in der Bodenprobe Kalk enthalten, dann kommt es bei der Zugabe von Zitronensäure zur Bildung von Kohlenstoffdioxid, was durch die Bläschenbildung beobachtet werden kann. Die Trübung der Kalkwasser-Lösung bestätigt dies.

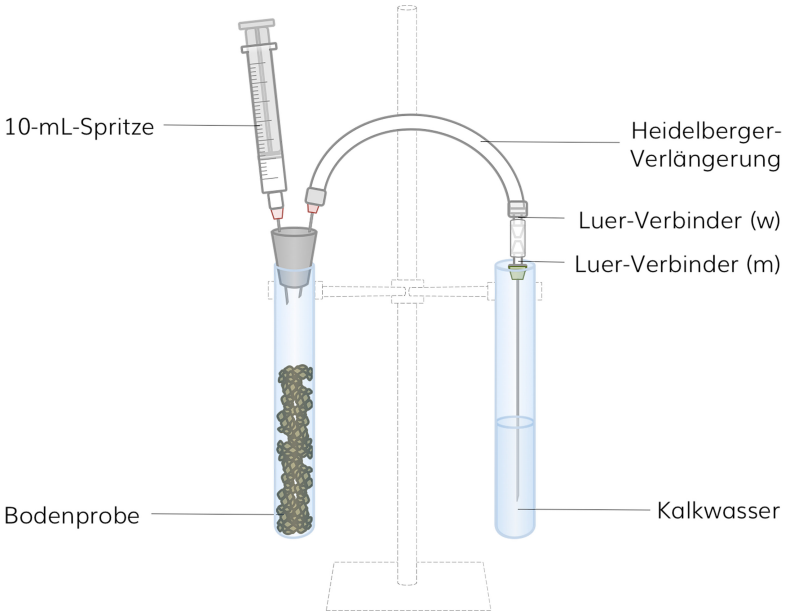


Abb. 3.20: Versuchsaufbau – Versuch 14

Die Schüler wissen nun also, dass der pH-Wert des Bodens unter anderem durch Humus und Kalk geregelt werden kann. Offen ist jedoch an dieser Stelle, wie Kalk und Säure auf natürlichem Weg in den Boden gelangen.

Der Säureeintrag in den Boden ist prinzipiell über folgende Wege möglich: sauerer Regen, Humusbildung, Tiere, Pflanzen, Verunreinigungen durch Schadstoffeintrag durch den Menschen, Düngemittel.

Die Humusbildung wurde bereits ausführlich diskutiert. Saurer Regen spielt heutzutage im europäischen Raum kaum noch eine tragende Rolle. Düngemittel und Schadstoffe nehmen dagegen einen einen starken Einfluss auf den pH-Wert des Bodens. Die dabei ablaufenden Reaktionen sind zu diesem Zeitpunkt für die Schüler jedoch zu komplex. Diese werden daher separat zu einem späteren Zeitpunkt (siehe S. 143) aufgegriffen. Der Säureeintrag sollte im Unterrichtsgeschehen daher an dieser Stelle auf die Pflanzen selbst gelenkt werden. Erstaunlicherweise tragen diese selbst ebenso Säuren in den Boden ein. Dies kann durch den folgenden Versuch gezeigt werden.

Versuch 15: Säureabgabe der Wurzeln

Schülerexperiment nach einer Idee von *Bergstedt* [137, S. 31]

Geräte: Verschließbare Petrischale (∅ ∼ 10 cm), Unitest-Indikatorpapier, Pipette, Glasstab, Esslöffel

Chemikalien: Wasser, Kressesamen

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Die Petrischalen werden mit Indikatorpapier ausgelegt und mit Wasser befeuchtet. Anschließend werden 20 Kressesamen gleichmäßig auf dem feuchten Indikatorpapier verteilt und die Schale abgedeckt. Die Petrischale wird auf eine Fensterbank gestellt. Der Fortschritt des Keimungsprozesses ist über fünf Tage zu beobachten. Sollte das Indikatorpapier trocken werden, muss es erneut mit Wasser befeuchtet werden.

Beobachtungen: Schon nach zwei Tagen ist zu erkennen, dass die Kressesamen aufschwemmen. Um die Samen herum färbt sich das Indikatorpapier gelblich. Am dritten Tag

sind nahezu an allen Samen kleine Wurzeln entstanden und die gelbliche Verfärbung rund um die Samen selbst nimmt zu. Nach fünf Tagen wachsen kleine Kressepflänzchen und das gesamte Indikatorpapier hat sich gelb gefärbt, siehe Abb. 3.21.



Abb. 3.21: Säureabgabe der Wurzeln von Kressesamen, Foto am dritten Tag

Wesentliche Lerninhalte: Die Wurzeln von Pflanzen können Säuren an die Umgebung abgeben, die das Indikatorpapier verfärben. Dabei handelt es sich zum einen um Abbauprodukte, welche über die Wurzel ausgeschieden werden. Zum anderen setzt auch die Wurzelatmung selbst Kohlenstoffdioxid frei, das mit dem Wasser des Bodens (oder analog: mit dem Wasser auf dem Indikatorpapier) zu Kohlensäure reagiert.

Fachlicher Hintergrund: Kressesamen nehmen Wasser durch Osmoseprozesse auf und quellen so auf. Nachdem die Schale der Samen aufgequollen sind, treten die Wurzeln hervor, die die Pflanze im Boden verankern und zukünftig mit Wasser und Nährstoffen versorgen. Neben den angesprochenen Abbauprodukten der Fotosynthese und der Zellatmung nehmen Wurzeln auch Kationen aus dem Boden auf, um Oxidanium-Ionen an den Boden abzugeben. Im Falle des Experiments nehmen die Samen die Kationen aus dem Wasser auf.

Didaktische Anmerkung: Für den Versuch kann auch Lackmus-Papier eingesetzt werden. Die Autorin hat sich für Unitest-Indikatorpapier entschieden, da dieses günstiger ist und im Unterricht häufiger genutzt wird.

Säure im Boden: Den größten Einfluss auf den Säurecharakter des Bodens hat Kohlenstoffdioxid [143, S. 310], das auf unterschiedlichen Wegen in den Boden gelangt. Die Bodenfauna und -flora erhöhen die Konzentration des Kohlenstoffdioxids im Boden durch Atmungsprozesse, wobei Sauerstoff umgesetzt und Kohlenstoffdioxid abgegeben wird. Bodenlebewesen wie Mikroorganismen, aber auch Maulwürfe, Regenwürmer und andere Insekten leben unter der Erdoberfläche. Der Stoffwechsel dieser verläuft analog zu den anderen Lebewesen oberhalb der Erdoberfläche, sodass auch diese Sauerstoff aus dem Boden aufnehmen und Kohlenstoffdioxid als Abfallprodukt abgeben.

Während die atmosphärische Luft einen Kohlenstoffdioxid-Gehalt von etwa 0,03 % hat, beträgt der Anteil im Boden nahezu 1 % [137, S. 15]. Kohlenstoffdioxid reagiert mit dem Bodenwasser zu Kohlensäure. Nach der Erlenmeyer-Regel, die besagt, dass ein Kohlenstoff-Atom einer organischen Verbindung nicht mehr als eine Hydroxyl-Gruppe (-OH) als Substituierten tragen kann, ist Kohlensäure eine instabile Säure, da es sich um ein geminales Diol

handelt. Ein Diol ist ein organischer Stoff, bei dem zwei Hydroxylgruppen an einem Kohlenstoffatom gebunden sind. Das Säure-Molekül zerfällt nach Gl. 3.9 zu einem Oxidanium- und einem Hydrogencarbonat-Ion.

$$H_2CO_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow H_3O^+_{(aq)} + HCO_3{}^-{}_{(aq)} \tag{3.9}$$

Sauerer Regen, der durch die Reaktion von Schwefeldioxid mit Wasser entsteht, spielt durch den Einsatz von speziellen Filtern in mitteleuropäischen Ländern keine tragende Rolle mehr. Doch in anderen Ländern, wie beispielsweise China, gelangt nach wie vor ein großer Anteil von Stickoxiden und Schwefeldioxid in die Luft. Dadurch sinkt der pH-Wert des Niederschlags auf vier und tiefer. Gülle und Nitratdünger reichern Ammonium-Ionen im Boden an [143, S. 310]. Durch die Reaktion von Ammonium-Ionen mit Sauerstoff der Bodenluft werden Protonen, Wasser und Nitrate gebildet, siehe Gl. 3.10, wodurch letztlich Ammoniak entsteht, siehe Gl. 3.11.

$$NH_4{}^+{}_{(aq)} + 2\,O_{2(g)} \longrightarrow 2\,H^+_{(aq)} + NO_3{}^-{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \tag{3.10}$$

$$NH_4{}^+{}_{(aq)} + 2\,H_2O_{(aq)} \rightleftharpoons 2\,H_3O^+_{(aq)} + NH_{3(g)} \tag{3.11}$$

Außerdem geben einige Pflanzen organische Säuren, wie Citronensäure, Äpfelsäure oder Oxalsäure über die Wurzeln an die Rhizosphäre[17] ab, um Nährstoffe zu mobilisieren. Andere Pflanzen reagieren beispielsweise auf einen Phosphatmangel mit Säureabgabe, um Ionen aus dem Boden zu lösen, dazu gehört die weiße Lupine [146, S. 155].

Im Allgemeinen nimmt die Wurzel bei der Nährstoffregulation die wichtigste Funktion ein. Sie reguliert die Nährstoffversorgung und nimmt alle essentiellen Nährelemente aus dem Boden auf. Die Reihenfolge der benötigten Mikronährelemete sieht bei den meisten Pflanzen folgendermaßen aus: S<P<Mg<Ca<K<N. Diese müssen zur Aufnahme in Ionenform vorliegen und werden anschließend mit dem Bodenwasser aufgenommen. Das wohl wichtigste Element der Pflanze ist der Stickstoff. Dieser kann in Form vom Ammonium oder Nitrat aufgenommen werden. Zu beachten ist, dass das Nitrat-Ion ein Anion und das Ammonium-Ion ein Kation ist. Für die Elektronenneutralität ist es also von Vorteil Nitrat aufzunehmen. Liegt jedoch nur Ammonium vor, muss die Pflanze zum Ladungsausgleich Protonen über die Wurzel ausscheiden. Dadurch wird die direkte Umgebung der Pflanze angesäuert.

Wie es weiter geht.
Die Schüler haben durch die bisherigen Versuche erkannt, dass sich Böden im pH-Wert und dem Kalkgehalt unterscheiden. Auch beim genauen Betrachten der einzelnen Proben erkennen sie, dass die Proben grundsätzlich auch in der Farbe, im Geruch und in der Konsistenz variieren. Schon mit dem Auge sichtbar: Es handelt sich stets um Stoffgemische. Diese sollen nun näher untersucht werden. Im ersten Abschnitt ('Gartenutensilien') wurden die Begriffe Körper und Stoff ausdifferenziert. Den Schülern ist an dieser Stelle also bewusst, dass sich Stoffe durch spezifische Stoffeigenschaften charakterisieren lassen. Im Folgenden sollen die verschiedenen Bodenarten, wie Sand, Lehm und Ton, klassifiziert werden. Denn diese unterscheiden sich in den Eigenschaften, wie der Korngröße, dem Aussehen und der sogenannten Aggregatbildung. Um die verschiedenen Bodenarten zu charakterisieren, müssen sie zunächst getrennt werden.

[17] Die Rhizosphäre ist die oberste Bodenschicht, in die die Pflanzenwurzeln reichen.

Die Bestimmung der Bodenarten ist in allen aktuellen Rahmenplänen für den integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht vorgeschrieben.

Steine bilden mit einem Durchmesser von über 20 mm die größten Teilchen im Boden.Kies schließt sich mit einem Durchmesser von 20 bis 2 mm an, dann Grobsand mit 2 bis 0,2 mm, Feinsand mit 0,2 bis 0,05 mm und anschließend Schluff mit 0,05 bis 0,002 mm sowie Ton mit unter 0,002 mm an. Tonteilchen sind die kleinsten Bodenteilchen. Durch die verschiedenen Verwitterungsprozesse und Umwelteinflüsse sind die meisten vorliegenden Böden eine Mischung aus verschiedenen Bodenarten und Korngrößen. Die Bodenarten werden aufgrund der häufig natürlich vorkommenden Bodenmischungen charakterisiert. Insgesamt lassen sich **vier Bodenarten** einteilen: Der Steinboden besteht aus 80 % Steinen und ein wenig Feinerde[18], der Sandboden setzt sich aus 80 % Grobsand und 20 % Feinerde zusammen, Tonboden enthält 60 % Ton und Lehmboden zu 50 % Sand und zwischen 20 bis 50 % Ton. Jedoch existieren noch Unterarten, in denen der Gehalt von den Körnungen schwankt, zum Beispiel weist sandiger Lehm einen größeren Teil Sand auf.

Versuch 16: Sieben von Bodenproben

Schülerexperiment nach *Bergstedt* [137, S. 5]

Geräte: Fenstergaze, Strumpfhose DEN 20, DEN 40 und DEN 60, 3 Backringe verschiedener Größe, Gummibänder, Esslöffel, Gartenerde, Walderde, Blumenerde

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Die Backringe werden, wie in Abb. 3.22, jeweils auf der einen Seite von einer Strumpfhose überspannt und diese mit dem Gummiband befestigt. Die Bodenprobe kann dann mit Hilfe eines Löffels auf der anderen Seite auf das so gebildete Netz gegeben werden. Der größte Backring wird mit der Strumpfhose mit der größten Porengröße, der Backring mit dem kleinsten Durchmesser wird der Strumpfhose mit der kleinsten Porengröße verbunden. Die Backringe werden nun ineinander gesteckt. Durch kreisende Bewegungen wird gesiebt.

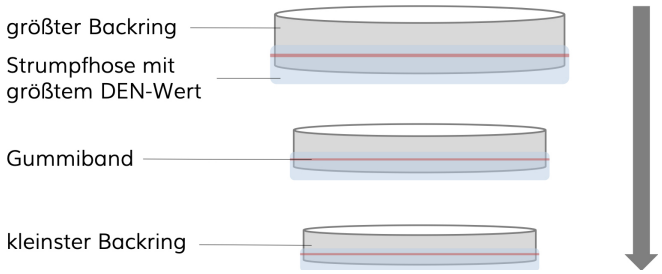


Abb. 3.22: Versuchsaufbau – Versuch 16

Beobachtungen: Im obersten Netz verbleiben größere Steine und Humusbestandteile. In der zweiten Schicht bleiben Tonminerale haften und im letzten Sieb verbleiben nur noch Sandkörner.

Wesentliche Lerninhalte: Das Sieben ist eine Trennungsmethode, die Teilchen aufgrund ihrer Größe[19] voneinander haften. Sandpartikel sind am kleinsten, da sie nicht verklum-

[18] Bodenteilchen, die kleiner als 2 mm sind werden als Feinerde bezeichnet

[19] Hier ist nicht die Korngröße, sondern die vorliegende Bodenpartikelgröße gemeint. An dieser Stelle muss didaktisch reduziert werden, da die Bodenteilchen durch Bodeneigenschaften wie Aggregatbildung sich in der Größe unterscheiden und deshalb aufgetrennt werden können. Sieben nach der Korngröße würde eine andere Aufschlüsselung ergeben.

pen (bildet keine Aggregate). Die Teilchen von Ton sind am größten, da diese sehr gut aneinander heften. Humus und Steine gelangen nicht durch das Sieb, da sie zu groß sind.

Das Sieben stellt eine einfache Möglichkeit dar, die Bodenproben *etwas* aufzutrennen. Der Vorgang selbst ist den Schülern nicht neu: Sie kennen das einfache Trennen von Mischungen aus ihrem Alltag. Man denke an das Abtrennen von Wasser und Nudeln nach dem Kochvorgang. Weniger bekannt ist das Trennen aufgrund unterschiedlicher Dichten. Auf diese Trennmethode werden die Schüler nicht von selbst kommen. Sie haben diese dennoch schon durch Versuch 8 kennengelernt: Hier wurden die Bodenproben zunächst aufgeschwämmt, um den pH-Wert zu messen. Beim Betrachten der Bodensätze waren klare Schichten zu erkennen.

Versuch 17: Schlämmanalyse

Schülerexperiment nach *Martin* [155]

Geräte: Große, durchsichtige Tic-Tac®-Dose, Spatellöffel, Stoppuhr, weißer Hintergrund

Chemikalien: Wasser, Gartenerde

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Vorbereitung: Die Tic-Tacs® werden aus der Dose entfernt und das Etikett wird gelöst, Klebereste können mit lauwarmen Wasser und etwas Seife abgespült werden.

Durchführung: Der Deckel der Tic-Tac®-Dose wird zunächst entfernt, indem der Klappverschluss geöffnet und leicht nach oben gezogen wird. Mit dem Spatellöffel wird die Dose anschließend zu einem Drittel mit Gartenerde gefüllt. Nun gibt man gerade so viel Wasser hinzu, dass der Deckel der Tic-Tac®-Dose anschließend noch aufgesetzt werden kann. Nun wird die Dose geschüttelt die Probe wird mit dem Wasser gut vermischt. Anschließend stellt man die Dose vor einen weißen Hintergrund und beobachtet, bis sich die meisten Bodenpartikel abgesetzt haben.

Beobachtungen: Einige Bodenbestandteile setzten sich bereits nach einigen Sekunden ab, andere benötigen dagegen einige Minuten. Nach einer Stunde ist die Lösung über den festen Bestandteilen noch leicht trüb. Oben schwimmen kleine Partikel. Etwa 8 h nach der Durchmischung ist die Lösung farblos. Der Bodensatz selbst zeigt verschiedene Schichtungen auf, die in der Stärke und Farbe variieren. An der Wassergrenze bewegen sich dunkle, kleine Partikel.

Wesentliche Lerninhalte: Mit Hilfe der sogenannten Schlämmanalyse ist es möglich, die Bodenarten einer Stoffprobe zu untersuchen und voneinander hinsichtlich ihrer Dichte zu trennen [156]. Die Teilchen mit der größten Dichte sinken am schnellsten ab, die mit der geringsten Dichte benötigen für das Absinken mehr Zeit, denn die Dichte der Bodenaggregate ergibt sich aus deren Massen-/Volumen- Verhältnis [157].

Anmerkungen: Bei dem beschriebenen Experiment handelt es sich um ein Langzeitexperiment, da einige Teilchen sehr lange aufgeschwämmt bleiben und sich erst nach etwa einem Tag absetzen. Ein weiterer Nachteil des Trennverfahrens ist, dass die einzelnen Bodenarten anschließend nicht weiter untersucht werden können. Das Wasser lässt sich durch die Öffnung im Tic-Tac®-Deckel gut von den Bodenschichten abtrennen, jedoch können die Bodenschichtungen erst nach dem Trockenen aus der Dose entnommen werden.



Abb. 3.23: Foto einer Schlämmanalyse einer Probe Gartenerde in einer Tic-Tac®-Dose

---

Fachlicher Exkurs: Wie schnell Bodenpartikel absinken hängt von deren Sedimentationsgeschwindigkeit v_p ab, die sich nach *Stoke* ermittelte lässt, siehe Gl. 3.12 (r = Radius des Partikels; g = Erdbeschleunigung; ϱ_p = Dichte des Partikels; ϱ_f = Dichte des Fluids; η = Viskosität des Fluids). Voraussetzung für diese Berechnung ist, dass alle Bodenpartikel kugelförmig vorliegen und in etwa die gleiche Korndichte[20] haben.

$$v_p = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot g \cdot (\varrho_p - \varrho_f)}{\eta} \tag{3.12}$$

Humus hat eine geringe Dichte und schwimmt oben an der Wasseroberfläche. Die unterste Schicht wird vornehmlich durch Sand gebildet: Sandteilchen haben also vergleichsweise die größte Dichte, die sich innerhalb der ersten 10 s absetzen. Nach einer Minute setzt sich Grobschluff ab, gefolgt von Feinschluff nach einer Stunde. Tonminerale setzt sich erst nach 7 bis 8 Stunden ab.

Bisher wurden experimentell die unterschiedlichen Partikelgrößen und Dichten der einzelnen Bodenteilchen beobachtet. Nun erfolgt die haptische Untersuchung der einzelnen Bodenproben, um diese noch näher zu charakterisieren, denn unterschiedliche Böden variieren in Farbe und Haptik. Die Auswirkungen unterschiedlicher Größen auf taktiles Verhalten sollen nun in einem einfachen Handversuch betrachtet werden.

Versuch 18: Rollprobe

Schülerexperiment nach *Kickuth* [143, S. 309]

Geräte: 3 Schüsseln

Chemikalien: Wasser, Ton, Lehm, Sand

[20] Die Korndichte ist die Masse der festen Einzelbestandteile in einem bestimmten Volumen

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Jede Bodenprobe wird in je eine Schüssel gegeben, die nicht beschriftet werden. Anschließend wird jede Probe etwas angefeuchtet, bis sie schmierig ist, entnommen und zwischen den Händen ausgerollt.

Beobachtungen: Die Beobachtungen sind in Tab. 3.10 zusammengefasst.

Probe	Beobachtungen	Bodenart
1	lässt sich nicht rollen	Sandboden
2	ausrollbar, knirscht beim Reiben	sandiger Lehm
3	ausrollbar, hinterlässt Erde in den Handrillen	Tonboden

Tab. 3.10: Rollprobe

Wesentliche Lerninhalte: Bodenarten unterscheiden sich sowohl im Aussehen, als auch in ihrem feuchten Verhalten gegenüber mechanischer Arbeit, die an ihnen verrichtet wird. Sandige Böden sind hell, grobkörnig und lassen sich auch im feuchten Zustand nicht ausrollen. Ton- und Lehmböden sind ausrollbar, weisen aber unterschiedliches Glanzverhalten auf. Daraus folgt, dass Lehmböden schmieriger sind und in Rillen kleine Partikel hinterlassen.

Fachlicher Exkurs: Sand unterscheidet sich zudem noch, wenn dieser nass wird. Denn mit Sand lassen sich im nassen Zustand beispielsweise Burgen bauen. Trockener Sand dagegen rieselt und haftet nicht. Bei Sand handelt es sich größtenteils um Siliciumdioxid. Wird Wasser zum Sand dazu gegeben, bilden sich Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Siliciumdioxid-Aggregaten und den Wassermolekülen [158, S. 51]. Wasser hat das Bestreben, möglichst viel Oberfläche des Sandes zu bedecken, da die Moleküle vom Siliciumdioxid angezogen werden. Ab einem Wassergehalt von 3 % bilden sich daraufhin Kapillarbrücken aus, die für die Haftbarkeit der Sandkörner sorgen. Beim Verschmelzen zweier Kapillarbrücken bilden sich Wassernester. Diese können sich erneut zu größeren Wassernestern vereinen. Ab einem Wassergehalt von 10 % bilden sich bereits Wasserstraßen durch den Sand, die kleinsten Lebewesen, wie zum Beispiel den Pantoffeltierchen, die Fortbewegung ermöglichen. Durch die konkave Grenzfläche zwischen der Luft und der Kapillarbrücke entsteht ein Unterdruck, Die Sandkörner werden durch den äußeren Luftdruck zusammen gedrückt. Gelangt zu viel Wasser zum Sand, nimmt diese konkave Grenzfläche ab, die Kapillarbrücken wachsen, bis es schließlich zur turbulenten Strömung kommt. Die Sandkörner haften nicht mehr aneinander. Will man eine Sandburg bauen, dann liegt das optimale Mischungsverhältnis von Sand zu Wasser liegt bei 9:1.

Versuch 19: Das Verhalten von Sand mit Wasser

Schülerexperiment nach *Lenz* [159, S. 6]

Geräte: großer Müllbeutel, Eimer

Chemikalien: Wasser, Sand

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Mit Sand und Wasser wird eine Sandburg gebaut , die anschließend fotografiert wird. Sieben Tage lang wird jeden Tag ein weiteres Foto aufgenommen. Der Müllbeutel dient als Unterlage.

Beobachtungen: Je nach Wassermenge lässt sich der Sand mehr oder weniger gut formen. Am Tag der Fertigstellung steht die Burg relativ fest. Tag für Tag zerfällt die Burg jedoch wieder.

Wesentliche Lerninhalte: Wie gut sich mit Sand eine Burg bauen lässt, ist maßgeblich von der zugegebenen Wassermenge abhängig. Bei Wasserzugabe haften Sandteilchen aneinander und können zum Bauen einer Burg verwendet werden. Gibt man jedoch zu viel Wasser hinzu, lässt sich der Sand nicht mehr formen. Die fertige Burg hält am Tag der Fertigstellung entsprechend gut, die Festigkeit nimmt jedoch Tag für Tag ab, weil das im Sand befindliche Wasser verdunstet.

Im Gegensatz zu Sand, bleibt Ton auch ohne Wasser formstabil. Tonminerale selbst entstehen durch Verwitterungsprozesse aus Sedimentgesteinen [160], so beispielsweise Kaolinit (Formel der Zusammensetzung: $Al_2O_3 + 2\ SiO_2 + 2\ H_2O$). Ton hat die besondere Eigenschaft des Wasserbindevermögens, der dadurch im feuchten Zustand eine pastenartige Konsistenz aufweist und sich gut formen lässt. So kann Ton bis zu 80 Volumenprozent an Wasser aufnehmen. Beim Brennvorgang beziehungsweise beim Trocknen wird dem Ton das Wasser wieder entzogen.

Versuch 20: Das Verhalten von Ton mit Wasser

Schülerexperiment nach *Lenz* [159, S. 7]

Geräte: Schürze, großer Müllbeutel

Chemikalien: Leitungswasser, Bastelton, Laubblätter

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Aus Ton und Wasser wird eine Form kreiert. Mit Hilfe der Laubblätter presst man anschließend Abdrücke in den Ton. Die Tongebilde lässt man an der Luft trocknen.

Beobachtungen: Ton und Wasser bilden eine graue, pastenartige Masse, die sich gut formen lässt. Laubblätter erzeugen auf der Oberfläche einen Abdruck. Die Form, wie auch der Abdruck, bleiben durch das Lufttrocknen erhalten.

Wesentliche Lerninhalte: Bastelton kann mit Wasser leicht verformt und zu einer Vielzahl an Objekten verarbeitet werden. Durch den Trocknungsprozess nimmt der Wassergehalt ab. Dennoch bleiben sowohl der Abdruck als auch die Form des Tons erhalten. Im Vergleich zum Sand, der ohne Wasser nicht formstabil ist, bleibt Ton auch im trockenen Zustand formstabil, ist jedoch nicht mehr formbar.

Neben Sand und Ton ist auch Lehm eine bekannte Bodenart, die auch zum Bauen von Häusern verwendet wird. Das Bauen von Lehmhäusern erfährt in letzter Zeit eine Wiederentdeckung [161]. Schon die Kelten fertigten ihre Häuser aus Lehm, wobei heute meist mit Beton, Styropor, Backsteinen, Verbundstoffen und Holz gebaut wird. Styropor ist in den letzten Jahren aufgrund seiner Brennbarkeit und des damit verbundenen Einsatzes eines speziellen Flammschutzmittels in Verruf gekommen. Dieses gilt als giftig und muss deswegen über den Sondermüll entsorgt werden [162]. Lehm dagegen reguliert nicht nur die

Wärmedämmung, sondern auch den Feuchtigskeitshaushalt [163]. Um tatsächlich richtig auszuhärten, benötigt Lehm jedoch eine längere Trockenperiode [164]. In Deutschland sind laut Schätzungen etwa 200.000 Häuser aus Lehm gebaut [165].

Wie es weiter geht: In *Versuch 17: Schlämmanalyse*, siehe S. 119, wurde experimentell entdeckt, dass sich die Bodenbestandteile aufgrund ihrer Dichte unterschiedlich schnell absetzen und damit eine sichtbare Schichtung einsetzte. Für alle bisherigen Versuche wurden jedoch ausschließlich oberflächennahe Bodenproben genommen. Daraus resultiert die Frage: **Ist der Boden unter der Oberfläche auch in Schichten gegliedert?** Zusammen mit Geologen[21] könnten zunächst Bodenproben entnommen werden. Doch auch der Besuch einer Baustelle mit einer tiefen Baugrube könnte die Antwort auf diese Frage geben.

Fachlicher Exkurs: Die Bodenentstehung erfolgt durch Verwitterungsprozesse, Humusbilung, Durchmischungsprozesse und die Wirkung von Klimafaktoren [166]. Da Böden aus mineralischen Gesteinen entstanden, sind diese stets in Schichten aufgebaut. Diese werden auch Bodenhorizonte genannt. Die oberste Bodenschicht bildet den **A-Horizont** und ist zwischen 5 und 30 cm stark [144, S. 80]. Dieser bietet Lebensraum für die Tier- und Pflanzenwelt und ist ein Stoffgemisch aus festen, organischen und anorganischen Stoffen, flüssigen Bestandteilen, wie Wasser, und auch Gasen, die in Form der Bodenluft Lebensgrundlage für zahlreiche Organismen bilden. Durch den hohen organischen Anteil ist der Boden des A-Horizonts oftmals schwarz bis braun gefärbt. Die darunter liegende Schicht wird als Unterboden oder **B-Horizont** bezeichnet. Die Erde wird hier zunehmend fester, da sie kaum noch organische Bestandteile enthält. Tiefwurzelnde Pflanzen, wie die Eibe oder der Flieder, gelangen bis tief in diese Schicht hinein. Hier befinden sich nur noch wenige Nährstoffe, die durch das Bodenwasser vom A-Horizont ausgewaschen wurden und durch Versickerungsprozesse in den Unterboden gelangt sind. Die Farbgebung ist deutlich heller und ist zwischen hellbraun und gelb einzuordnen. Der **C-Horizont** ist im Wesentlichen eine Gesteinschicht, welche das Fundament für die darüber liegenden Horizonte bildet. Verschiedene Böden werden auch Bodenarten genannt, unterscheiden sich nicht nur in ihrer Schichtung, sondern in weiteren Eigenschaften wie Farbe, Korngröße oder auch im Säure-/Base-Charakter. Diese Bodenbestandteile bestimmen den Charakter eines Bodens und weisen je nach Zusammensetzung spezifische chemische und physikalische Eigenschaften auf. Die Bodenentstehung und Entwicklung wird **Pedogenese** genannt. Durch **Vulkanismus** oder dem **Rückzug von Eis** oder Wasser kommt es im Gestein zu einem Spannungsgefüge [146, S. 171]. Um dieses Gefüge zu entlasten, entstehen Brüche. Durch weitere äußere Faktoren, wie Erosion oder Regen, zerfallen die Steine in immer kleinere Partikel. Aus Silikatgesteinen, wie Feldspat und Quarz, bilden sich auf diese Weise Lehm- oder Tonböden und aus Quarzgesteinen entstehen sandige Böden [137, S. 10].

Didaktische Anmerkung: Beobachtungen von Lebewesen im Boden werden in sogenannten Vermarien (Singular: Vermarium) durchgeführt, die im Lehrmittelhandel für etwa 65 € erhältlich sind. Diese können auch genutzt werden, um Bodenschichten sukzessive einzufüllen und so ein Modell für die Bodenschichtung zu erarbeiten. Ein Vermarium kann jedoch auch selbst gebaut werden, siehe [167–169]. Noch einfacher und kostengünstiger geht es mit den etwa 1,40 € teurer Tic-Tac®-Dosen, die schon in Versuch 17 genutzt werden.

[21] Geologen arbeiten beispielsweise bei Behörden der Stadt- und Raumplanung oder der Wasserwirtschaft, im Tief- und Bergbau, in Ingenieurbüros oder in Forschung und Lehre.

Versuch 21: Darstellung der Bodenschichten

Schülerexperiment

Geräte: Große, durchsichtige Tic-Tac®-Dose, Spatellöffel, weißer Hintergrund

Chemikalien: Kleine Kalksteine, Sand, Gartenerde, Komposterde, Streu, Kressesamen

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Der Deckel der Tic-Tac®-Dose wird zunächst entfernt, indem der Klappverschluss geöffnet und leicht nach oben gezogen wird. Anschließend wird die Tic-Tac®-Dose zur Hälfte mit kleinen Kalksteinen gefüllt. Die Lücken zwischen den Steinen werden mit Sand aufgefüllt. Anschließend kommt humusloser Boden (Gartenerde), der von humusreichem Boden (Komposterde) überdeckt wird. Die letzte Schicht bildet das Streu (beziehungsweise der reine Humus). Nach Bedarf können noch ein paar Kressesamen darauf ausgesäht werden.

Beobachtungen: Die Tic-Tac®-Dose ist farblos, wodurch man die Schichtung gut erkennt. Die unterste Bodenschicht besteht nur aus Steinen und Sand. Die darauf liegende Schicht ist hell-braun, gefolgt von dunkelbraunem Boden und Humus, der fast durchgängig schwarz ist. Die Kresse keimt nach einigen Tagen und die Wurzeln reichen bis in die dunkelbraune Bodenschicht.

Wesentliche Lerninhalte: Das angelegte Bodenprofil soll modellhaft zeigen, wie eine typische Bodenschichtung aufgebaut ist. Daher wurden die drei Horizonte A, B und C designed. Außerdem kann die Wurzelbildung und das Wurzelwachstum beobachtet werden. Damit dient das Modell einerseits der Nachbereitung und Nachbildung eines Bodenprofils. Andererseits kann an dieser Stelle auch Modellkritik geübt werden, da nicht jeder Boden diesem Muster folgt, man denke beispielsweise an Strandböden.

3.3 Aussaatbedingungen

Die Schüler haben in den ersten beiden Abschnitten zu den 'Gartenutensilien' und zu den 'Ersten Bodenuntersuchungen' die Stoffe, Stoffeigenschaften und Bodenarten kennen gelernt, sowie erste Bodeneigenschaften untersucht. Nun soll die Keimung von Pflanzen näher betrachtet werden, wobei abiotische Faktoren eine wichtige Rolle spielen[22]. Spielerisch und experimentell sollen die Schüler erste Erfahrungen zur Komplexität der Keimung machen und an einfache naturwissenschaftliche Fragestellungen herangeführt werden. Der Schulgarten bietet dafür einen optimalen Kontext, da dieser den realen Bedingungen des Jahreszyklus ausgesetzt ist. Auf diese Weise ist es möglich, problemorientierte Unterrichtssituationen zu schaffen. Ziel ist es, den Schülern nahezubringen, dass für die Keimung und das anschließende Pflanzenwachstum mehrere Faktoren eine Rolle spielen. In diesem Zusammenhang sollen folgende Inhalte untersucht werden:

- Licht als Aktivierungsenergie
- Licht als Energielieferant
- Licht ist nicht gleich Wärme
- Einfluss der Temperatur auf die Keimung
- Das Gewächshaus – ein besonderer Keimungsort
- Phänomen vom Frost
- Keimung bei trockenen, feuchten und nassen Bedingungen
- Osmose und die Aufnahme von Wasser

Als erste abiotische Faktoren und wichtige Keimungsparameter sollen die Schüler das Licht, die Temperatur und das Wasser kennen lernen. Die Themenbereiche *Licht* und *Temperatur* beinhalten dabei auch physikalische und biologische Ebenen. Auf diese Weise legt der NaWi-Unterricht erste Grundsteine für den weiteren Fachunterricht. Denn besonders die Aktivierung durch Licht und der Einfluss der Temperatur auf diese Prozesse spielen bei der Einführung und der energetischen Betrachtung exothermer und endothermer Reaktionen eine bedeutende Rolle im Chemieanfangsunterricht. Dass die Behandlung abiotischer Faktoren im NaWi-Unterricht wichtig ist, wird unter anderem dadurch belegt, dass diese auch aktuelle Schulbücher aufgreifen, wie beispielsweise *NAWIgator* [123, S. 268 ff.], *Netzwerk Naturwissenschaften* [124, S. 242 ff.] und *Natur und Technik* [125, S. 111].

Einstieg und Motivation: Trotz zahlreicher Bezüge zur Alltagswelt motiviert das Thema 'Aussaatbedingungen' nicht alle Schüler gleichermaßen. Demzufolge wurde nach einer Möglichkeit gesucht, die Schüler von Beginn an in die Prozesse und Vorgänge der Entwicklung einer Pflanze aus einem Samen einzubeziehen. Damit kann ein verantwortungsvoller Umgang mit Pflanzen vermittelt werden. Dies ist vor allem dann gegeben, wenn die Schüler eigenverantwortlich handeln können, die Pflanzen also selbst aussäen und pflegen können. Das steigert den Wert der eigenen Arbeit, die sie dadurch erkennen und schätzen lernen. Das dabei zugrunde liegende Prinzip lautet:

> Die Schüler verstehen den Anbau und die Ernte im Schulgarten als eine gemeinsame Aufgabe.

Wie die Planung und Gestaltung des Schulgartens vorgenommen wird, hängt maßgeblich von der Art und der Beschaffenheit des vorhandenen Schulgartens der jeweiligen Schule ab. In jedem Fall sollte die vorhandene Fläche von den Schülern selbst gepflegt und bepflanzt werden. Für eine gute Ernte ist die **Aussaat** von großer Bedeutung. Bisher haben die

[22] Abiotische Umweltfaktoren sind solche, bei denen keine lebenden Organismen beteiligt sind. Der Gegenspieler dazu sind die biotischen Umweltfaktoren.

Schüler im Abschnitt 'Erste Bodenuntersuchungen' Ideen gesammelt, welche Pflanzen sie anbauen möchten und welches Gemüse und welches Obst sie im Sommer und Herbst ernten wollen[23]. Je nach Intention der Lehrkraft und den Kapazitäten des vorhandenen Schulgarten lassen sich die Schülervorschläge individuell ausbauen und variieren[24]. Die gesammelten Vorschläge können anschließend zusammen beurteilt werden und gemeinschaftlich ein Konzept zum Anbau erarbeiten. Als Inspiration eignen sich Besuche in umliegenden Schulgärten oder Kleingärten. Alternativ kann in einem Gartencenter nach Gemüse und Salatsorten gesucht werden. Ebenso können Gartenratgeber zu Rate gezogen werden, da diese zusätzlich Hinweise zu Mischkulturen und Nachbarpflanzen geben können.

Ziel dieser Überlegungen ist es, dass einzelne Bereiche des Schulgarten zu planen. Das Anlegen der Flächen erfolgt anhand der unterschiedlichen Nutzpflanzen, die in verschiedenen Bereichen oder angesteckten Beeten untergebracht werden. Denkbar sind folgende Kategorien: Salate, Kräuter, Frühgemüse, Spätgemüse, Obst.

Die Schüler planen unter Anleitung die Aussaat der Nutzpflanzen in ihrem Schulgarten und stellen damit die Vielfältigkeit der Pflanzen im Garten heraus.

Da die Inhalte dieses Themengebiets vordergründig biologischer Natur sind, Ziel dieser Arbeit jedoch die Herausarbeitung und Stärkung chemischer Inhalte ist, werden diese in diesem Abschnitt gesondert in grüner Farbe hervorgehoben. Zudem wird bei Versuchen direkt angegeben, welcher chemische Inhalt besonders betrachtet wird.

Vorwissen: Wie die Rahmenplananalyse des Sachkundeunterrichts zeigt, wird in einigen Bundesländern schon in der Grundschule auf Pflanzen eingegangen, siehe Tab. 1.6 auf S. 29. Es ist daher davon auszugehen, dass ein Teil der Schüler schon über Vorwissen verfügt. Generell sollte die Lehrkraft daher die folgenden Fragen für sich beantworten:

- Welche Nutzpflanzen kennen meine Schüler?
- Kennen sie den Aufbau der Pflanzen, der sich in Wurzel, Sproß, Blatt und Blüte gliedert?
- Kennen sie den Unterschied zwischen abiotischen und biotischen Faktoren?
- Können meine Schüler zwischen Licht und Wärme unterscheiden?
- Kennen sie Strahlung, Lichtenergie und die Ausbreitung von Licht?
- Kennen meine Schüler die drei Aggregatzustände des Wassers?
- Kennen sie den Vorgang der Osmose?

In den vorangegangen Abschnitten haben die Schüler zum Einen an den *Gartenutensilien* zahlreiche Stoffe und Stoffeigenschaften kennen gelernt, zum Anderen haben sie bei den *Bodenuntersuchungen* die Bodeneigenschaften bestimmt, die Bodenarten voneinander getrennt und ihre Merkmale herausgestellt. Somit haben sie den Boden als ersten abiotischen Faktor kennen gelernt, der ebenso eine Rolle für die Keimung spielt.

Weiteres Vorgehen: Als nächster abiotischer Faktor soll das Licht behandelt werden. Um organisatorisch darauf hinzuleiten, sollte die Aufmerksamkeit der Schüler zu Beginn auf die Anpflanzempfehlungen gelenkt werden, welche auf den Rückseiten von Samenpackungen, wie beispielhaft in Abb. 3.24 dargestellt ist, aufgedruckt sind. Auf den Verpackungen wird in der Regel die Aussaattiefe angegeben, mit der die Samen in oder auf die Erde gelegt werden sollen. Samen von Erbsen gräbt man beispielsweise 4 bis 8 cm tief ein, während

[23] Dabei ist wahrscheinlich, dass die folgenden Pflanzen von den Schülern ausgewählt werden: Kresse, Petersilie, Erbsen, Bohnen, Kartoffeln, Tomaten, Möhren, Kürbis, Zucchini, Eisbergsalat, Radieschen.
[24] In jedem Fall sollen die Überlegungen die Schüler dazu anregen, selbstständig kreativ zu werden.

die Gartenkresse auf dem Boden ausgestreut und gegebenenfalls mit etwas Erde bedeckt werden soll.



Abb. 3.24: Vergleich einer Kresse- und einer Erbsenverpackung [170]

Die Aussaattiefe hängt direkt mit dem benötigten Licht zusammen. Das bietet eine gute Gelegenheit, auf die Funktion des Lichts bei Keimungsprozessen einzugehen. Den Schülern wird folgender Auftrag gegeben:

> Findet heraus, welche Rolle das Licht bei der Keimung der Kressesamen hat.

Experimentell kann der Lichteinfluss auf die Keimung sehr gut und einfach eben mit Hilfe der Gartenkresse untersucht werden. Denn zum Einen ist Kresse eine recht anspruchslose Pflanze, die schnell keimt und wächst. Aus diesem Grund ist sie für Schülerversuche hervorragend geeignet. Zum Anderen lässt sich der Keimungsprozess sehr gut steuern: Ein 'kleiner' Lichtimpuls reicht, damit die Keimung beginnt. Dazu wird der folgende Versuch vorgeschlagen.

Versuch 22: Keimung bei unterschiedlichen Lichteinflüssen

Die Chemie dahinter: Licht als Aktivierungsenergie

Schülerversuch nach *Smyth* [171]

Geräte: 4 verschließbare Petrischalen ($\varnothing \sim 10$ cm), 50-mL-Becherglas, Watte, Pipette

Chemikalien: Leitungswasser, Saatgut der Gartenkresse, Schalenerbsen

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Die Petrischalen werden etwa 2 cm hoch locker mit Watte befüllt. Auf zwei dieser wird jeweils ein Esslöffel der Kressesamen ausgesät. Auf die verbleibenden zwei gibt man drei Schalerbsen. Anschließend wird so viel Wasser zugeführt, bis die gesamte Watte durchnässt ist. Die Petrischalen werden verschlossen. Je eine Schale mit den Kressesamen und eine Schale mit Erbsen wird in einen dunklen Schrank gestellt. Der andere Ansatz wird auf einer Fensterbank positioniert. Nach drei Tagen werden die Petrischalen mit dem anderen Ansatz verglichen.

Beobachtungen: Die Samen der Gartenkresse auf der Fensterbank keimen bereits nach einem Tag und wachsen anschließend grün. Die Kressesamen im dunklen Schrank keimen erst nach drei Tagen und wachsen anschließend gelb. Die Erbsen dagegen keimen schlecht im Licht, sodass im Schnitt nur eine Erbse von dreien keimt und langsam wächst, im Dunklen

keimen alle drei Erbsen nach 3 Tagen bereits und wachsen anschließend gelb. Die Abb.3.25 zeigt die Keimung und das Pflanzenwachstum der beiden Samen nach einer Woche in Licht und in Dunkelheit.

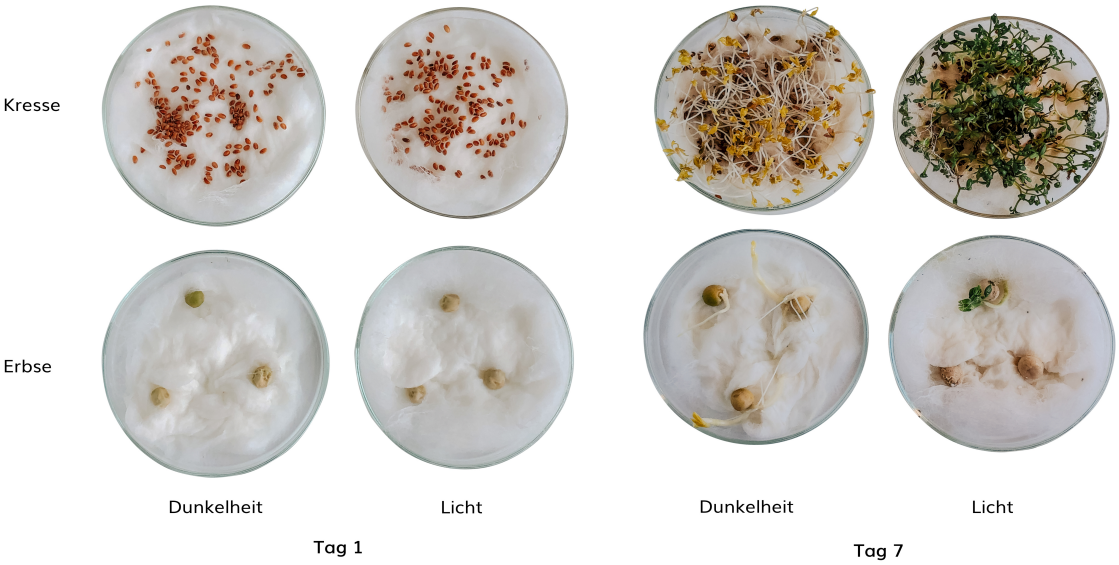


Abb. 3.25: Foto – Versuch 22

Wesentliche Lerninhalte: Es gibt Samen, wie die der Gartenkresse, die nur dann zu keimen beginnen, wenn sie genügend Licht erhalten. Andere Pflanzen, wie beispielsweise die Erbse, sind weniger auf Licht angewiesen,um zu keimen[25]. Damit Pflanzen im Allgemeinen zu keimen beginnen, benötigen sie Energie. Für die meisten Pflanzen ist die Hauptenergiequelle das Licht der Sonne. Diese aktiviert in der Regel die Keimung. Damit ist Sonnenlicht auch als **Aktivierungsenergie** für die Initialisierung der Keimung zu verstehen.

Fachlicher Exkurs: Licht besteht aus langwelliger und kurzwelliger Strahlung. Sichtbares Licht reicht von einer Wellenlänge von 450-750 nm. Dabei gilt: Je länger die Wellenlänge des Lichts ist, desto weniger Energie enthält die elektromagnetische Strahlung. Die Abb. 3.26 zeigt den Bereich des für den Menschen sichtbaren Lichts und die dazugehörige Wellenlänge.

Die Entwicklung einer Pflanze, die durch Licht beeinflusst wird und bei der sich bestimmte Merkmale herausbilden, wird als Photomorphogenese bezeichnet. Dieser ist ein sogenannter Milieu-Effekt. Besonders bekannt ist der Effekt bei der Erbse: Die Bildung von Blattanlagen läuft im Licht genauso schnell ab wie im Dunklen. Allerdings stoppt die Bildung des zwölften Blattes, wenn kein Licht auf die Erbse scheint. Pflanzen enthalten sogenannte Sensorpigmente, welche durch Lichtwellen angeregt werden. Dabei werden vier verschiedene Typen von Pigmenten unterschieden: UV-B-Photorezeptoren, Cryptochrom, Phototropin und Phytochrome. Mit Hilfe dieser Pigmente kann Licht unterschiedlicher Wellenlänge das Signal für ein Pflanzenwachstum oder die Keimung auslösen. Durch die Aktivierung der Pigmente in der Pflanze werden Stoffwechselprozesse angeregt, die zum Pflanzenwachs-

[25] Vertiefend kann dieser Versuch durch folgende Erweiterung ergänzt werden: Die Gartenkresse und die Erbse können noch über den Keimungsprozess hinaus unter den genannten Lichtbedingungen aufbewahrt werden. So sehen die Schüler, dass die Pflanzen im Dunkeln nicht grün werden, kaum bis keine Blätter tragen und steil nach oben wachsen.

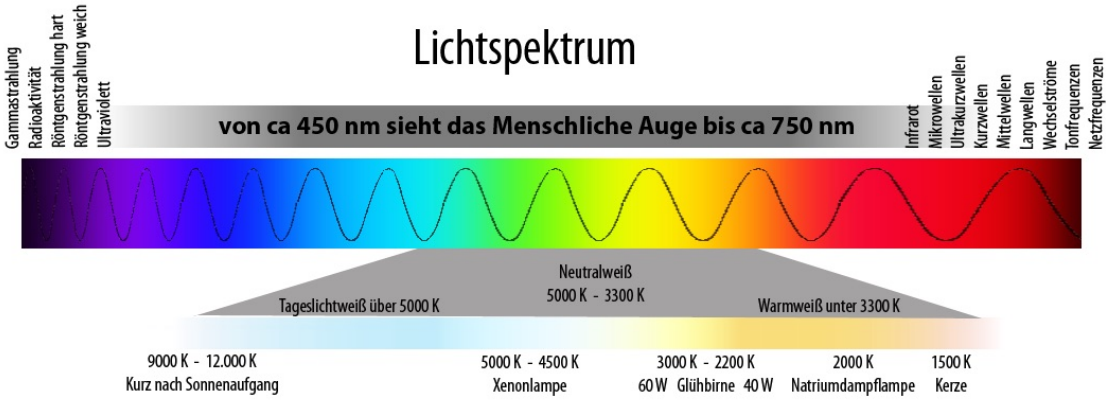


Abb. 3.26: Lichtspektrum [172]

tum führen. Bei der Erbse hingegen führt die zugeführte Lichtenergie dazu, dass die Samen nicht keimen. Dies liegt darin, dass die Erbse Phythochrome enthält, die Kresse dagegen nicht. Aktivierte Phythocrome verhindern die Keimung, denn sie sind vereinfacht kleine Messzellen, die die Wellenlänge des Lichts bestimmen und erst dann Botenstoffe zur Keimung aussenden, wenn ausschließlich langwellige Strahlung auf diese trifft. Diese Strahlung kann tiefer in die Bodenschichten eindringen, weshalb die Erbsen tiefer im Boden ausgesäht werden müssen als die Kresse.

Nun können die Schüler mit einer einfachen Frage konfrontiert werden:

Was ist eigentlich Licht?

Um an die Vorkenntnisse der Schüler anzuknüpfen, ist es notwendig, in Erfahrung zu bringen, welche Lichteigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten verschiedener Lichtquellen sie kennen. Im folgenden Verlauf können die Schüler verschiedene Lichtquellen aufzählen, wie beispielsweise die Sonne (Helligkeit und Wärme), das Solarium (Bräunungseffekt) und Glühbirnen (Helligkeit und Wärme). Nun folgt ein fachlicher, physikalischer Exkurs zur Optik. So kann mit Hilfe eines Prismas die Zusammensetzung des Lichts demonstriert werden.

Durch Versuch 22 wurde bisher der Zusammenhang zwischen dem Lichteinfall und der Keimung hergestellt. Nun soll der Zusammenhang zwischen dem Lichteinfall und dem Pflanzenwachstum erarbeitet werden. Dass Pflanzen dies von allein können, kann durch den folgenden Versuch gezeigt werden.

Versuch 23: Eine Bohne im Irrgarten

Die Chemie dahinter: Lichtenergie als führender Faktor

Schülerversuch

Geräte: Pappe, Schere, Kleber, Schuhkarton mit Deckel (etwa 20 x 14 x 7 cm), Blumentopf ($\varnothing \sim 6$ cm, h = 7 m)

Chemikalien: Blumenerde, Bohnensamen

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Vorbereitung: Der Blumentopf wird locker mit Blumenerde bis etwa 1 cm unter die Oberkante gefüllt. Mit dem Finger steckt man einen Bohnensamen eine Fingerkuppe tief in die Erde und gibt etwas Wasser hinzu. Nach einigen Tagen keimt der Samen und ein Spross wird sichtbar. Ist der Spross etwa 2 cm groß, kann der Versuch beginnen.

Durchführung: Der Deckel des Schuhkartons wird abgenommen und wie in der Abb. 3.27 ein Irrgarten gebastelt. Dazu schneidet man aus zwei Pappen etwa 10 cm lange und 5 cm breite Stücken zurecht und klebt diese in den Schuhkarton ein. Auf der einen Seite des Schuhkartons wird nun mit der Schere mittig ein Loch ($\varnothing \sim 3$ cm) gebohrt. Die angebrachten Pappstücken müssen so ausgerichtet werden, dass kein Licht aus der Öffnung direkt auf die gegenüberliegende Seite des Schuhkartons fällt.



Abb. 3.27: Foto seitliche Ansicht – Präparierter Schuhkarton als Irrgarten

Nun wird die Bohnenpflanze in den Schuhkarton (auf die dem Loch gegenüberliegende Seite) gestellt und mit dem Deckel verschlossen. Es ist darauf zu achten, dass tagsüber Licht durch das Loch in den Karton fällt. Es kann täglich nach dem Pflanzenwachstum geschaut werden, um zu beobachten, wie sich die Bohnenpflanze entwickelt.

Beobachtungen: Wie in der Abb. 3.28 zu erkennen ist, wächst die Bohnenpflanze trotz des geringen Lichteinfalls der Lichtquelle entgegen. Dabei bringt sie die Kraft auf, nicht nach oben, sondern seitlich an den eingebauten Pappwänden vorbei zu wachsen. Am Spross selbst wachsen nur wenige Blätter.

Wesentliche Lerninhalte: Schon nach wenigen Tagen ist erkennbar, dass sich der Spross der wachsenden Bohnenpflanze in Richtung des Lochs neigt. Dabei windet sich dieser an den Pappwänden vorbei, bis er schließlich durch das Loch wächst und damit direkten Zugang zum Licht erhält. Sonnenlicht ist für Pflanzen der Hauptenergielieferant. Direkt nach der Keimung werden daher vom Samen sämtlichen Ressourcen dazu aufbracht, schnellstmöglich direkten Zugang zum Sonnenlicht zu erhalten. Ist das gewährleistet, wachsen am Spross



Abb. 3.28: Foto – Bohne im Irrgarten nach 14 Tagen

vermehrt Blätter. Für Pflanzen ist das Sonnenlicht daher ein limitierender Faktor, wodurch die Schüler erkennen können: Energie ist in Form von Licht ein wesentliches Kriterium für das Wachstum direkt nach der Keimung.

Fachlicher Hintergrund: Der Stoffwechsel von Pflanzen ist im Wesentlichen durch die Photosynthese gekennzeichnet. Dabei werden aus energiearmen anorganischen Stoffen energiereiche organische Stoffe assimiliert. Für diesen Prozess wird Sonnenlicht benötigt. Die Photosynthese selbst läuft in den Chloroplasten ab, die sich vornehmlich in Blättern befinden. Direkt nach der Keimung ist eine Pflanze demnach bestrebt, schnellstmöglich direkten Zugang zum Sonnenlicht zu erhalten, um Chloroplasten zu bilden und damit Photosynthese zu betreiben. Ist kein Licht vorhanden, können Pflanzen die Blattbildung zunächst blockieren und die vorhandenen Energiereserven können für das Streckenwachstum genutzt werden. Diese spezielle Anpassung wird auch als Vergeilung, Etiolement oder Skotomorphogenese bezeichnet.

Es gibt einige Pflanzen, deren Samen beziehungsweise deren Keimlinge es schaffen, aus engstem Raum heraus zu keimen und Triebe zu entwickeln, die sehr harte Stoffe aufbrechen können. Dazu zählt die Erbse. Deren Keimlinge schaffen es, harten Gips zu durchbrechen.

Versuch 24: Eine Erbse im Gips

Die Chemie dahinter: Lichtenergie als regulierender Faktor

Schülerversuch

Geräte: Plastik-Einwegtrinkbecher (0,2 L, transparent), Esslöffel , Holzspan

Chemikalien: Gips (Calciumsulfat-Dihydrat), samen der Schalenerbse

Durchführung: Der Plastik-Einwegtrinkbecher wird zu zwei Drittel mit Wasser befüllt. Nun wird mit dem Esslöffel soviel Gips dazugegeben bis eine cremige Masse entsteht. Mit Hilfe eines Holzspans werden drei Erbsen in die Gipsmasse an verschiedenen Stellen unterschiedlich weit eingetaucht. Anschließend wird der Becher auf die Fensterbank gestellt und eine Woche beobachtet. Der Gips sollte jeden Tag leicht befeuchtet werden.

Beobachtungen: Beim Mischen des Gipspulvers mit Wasser ist eine deutliche Wärmeentwicklung spürbar. Nach drei Tagen ist zu erkennen, dass der Gips an verschiedenen Stellen aufspringt und Risse bekommt. Nach etwa einer Woche sind die Risse noch größer geworden, sogar der Becher selbst ist an einigen Stellen zerstört wurden, siehe Abb. 3.29. An den aufgesprungenen Stellen sind die Erbsen zu erkennen, die sowohl grüne kleine Triebe als auch helle Wurzeln tragen. Nach etwa 10 Tagen werden die Risse immer größer und der Becher zerreißt immer mehr.



Abb. 3.29: Foto – Erbse im Gips (links = nach drei Tagen / mitte = nach einer Woche, rechts nach 10 Tagen)

Wesentliche Lerninhalte: Die Erbsensamen sprengen den Gips beim Keimen auf und wachsen anschließend dem Licht entgegen. Wie schon im vorherigen Versuch lernen die Schüler, dass Pflanzen auf Sonnenlicht angewiesen sind. Denn nur aus diesem Grund bringen sie zu Beginn ihres Wachstums alle vorhandenen Energiereserven dafür auf, schnellstmöglich an Sonnenlicht zu gelangen. Einige Pflanzen, wie die Erbse, sind sogar in der Lage feste Stoffe wie Gips bei der Keimung zu zerstören.

Fachlicher Hintergrund: Erbsen benötigen, wie alle Pflanzensamen, Wasser zum Keimen. Dieses Wasser ziehen sie sich aus der Gipsmischung. Dabei quellen sie auf. Durch die Wasseraufnahme und das damit verbundene Aufquellen entwickeln die Bohnensamen einen großen Druck auf den umliegenden Gips, der dabei aufreißt. Während des Keimungsprozesses nimmt der Bohnenkeimling immer mehr Wasser auf und wird immer größer. Der Gips bricht dabei am schwächsten Punkt auf, also dort, wo die Gipsschicht am dünnsten ist. Anschließend wächst der Sprößling zum Licht, um Chlorophyll anzureichern und Fotosynthese zu betreiben.

Für das Pflanzenwachstum ist Licht also sehr wichtig. Damit können die Schüler neben dem bereits bekannten Faktor 'Boden' das Licht als einen weiteren festhalten, der für die Entwicklung von Pflanzen eine bedeutende Rolle spielt. Die Schüler können schlussfolgern, dass bei der Aussaat der ausgewählten Pflanzen auf verschiedene Parameter geachtet werden muss. Man denke beispielsweise an die Einpflanztiefe und die Sonnen- und Schattenverhältnisse. Ein erneuter Blick auf die Samenpackung lässt einen weiteren Einflussfaktor ins Zentrum der Betrachtung rücken: Auf den Verpackungen werden sehr häufig auch Aussaat-Zeitpunkte genannt. So lautet die Empfehlung auf der Samenpackung, die in Abb. 3.24 dargestellt ist, dass die Erbse von März bis April ausgesäht werden sollte, während die Kresse vom Frühjahr bis Herbst in die Erde gebracht werden kann. Zusammen mit den Schülern können nun Begründungen dafür gesammelt werden. Dabei sind folgende Denkansätze möglich:

- Die Kresse wächst und keimt schneller.
- Die Kresse ist gegenüber der Temperatur robuster als andere Pflanzen.

- Die Erbsenpflanze bringt Früchte hervor, die Kresse ist lediglich eine Grünpflanze.
- Es muss erst warm sein, bevor die Pflanzen ausgesäht werden dürfen.

Innerhalb dieser Ideensammlung sollte die Aufmerksamkeit der Schüler auf die Temperatur gelenkt werden. Folgender Versuch schließt sich an:.

Versuch 25: Keimung bei unterschiedlichen Temperaturen

Die Chemie dahinter: Wärme als limitierender Faktor

Schülerversuch nach *Smyth* [171]

Geräte: 3 verschließbare Petrischalen ($\varnothing \sim 10$ cm), 50-mL-Becherglas, Watte, Einweg-Pipette mit Skala, Spatellöffel

Chemikalien: Leitungswasser, Saatgut der Gartenkresse, Gartenboden

Durchführung: Drei Petrischalen werden etwa 2 cm hoch locker mit Watte befüllt. Auf jede wird jeweils ein Esslöffel der Kressesamen ausgesät und alle drei werden mit 5 mL Wasser benutzt. Eine Petrischale wird verschlossen auf eine Fensterbank gestellt, eine andere in einen Kühlschrank und eine dritte in einen Tiefkühlschrank. Nach fünf Tagen werden alle drei miteinander verglichen. Da die Keimung Licht benötigt, ist es wichtig, die Pflanzen aus Kühlschrank und Tiefkühler drei mal täglich für je 15 Minuten auf die Fensterbank zu stellen.

Beobachtungen: Die Kresse auf der Fensterbank keimt schnell und wächst grün. Die Samen, die sich im Kühlschrank befunden haben, weisen vereinzelt Keimlinge auf. Jene, die sich im Tiefkühler befunden haben, zeigen keine Veränderungen, siehe auch Abb. 3.30.



Abb. 3.30: Foto – Keimung bei unterschiedlichen Temperaturen

Wesentliche Lerninhalte: Die Keimung ist nicht nur vom Licht, sondern auch von der Temperatur abhängig. In einem handelsüblichen Kühlschrank herrschen Temperaturen um etwa 8 °C. Diese reicht gerade noch aus, dass einige Triebe gebildet werden. Bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt jedoch keimen die Samen nicht. All das hängt damit zusammen, dass auch die Wärme ein wichtiger Faktor für die Keimung einer Pflanze aus einem Samen heraus ist. Die Wärme als Energieform hat neben dem Licht eine ganz besondere Bedeutung für das Wachstum. Alle Vorgänge, die im Keimling ablaufen, um Triebe,

einen Spross und später auch Blätter zu bilden, hängen mit der Wärmezufuhr zusammen. So laufen diese einerseits bei hohen Temperaturen schneller ab. Andererseits führen Temperaturen unter dem Gefrierpunkt von Wasser dazu, dass das im Keimling enthaltene Wasser selbst gefriert und damit keine Keimung mehr möglich ist.

Fachlicher Hintergrund: Die Temperatur ist ein wesentlicher Ökofaktor für die Pflanzenwelt. Proteine und Enzyme arbeiten abhängig von der Umgebungstemperatur. Sie folgen der Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel: Bei einer Temperaturerhöhung von 10 Kelvin nimmt die Geschwindigkeit um das Zwei- bis Vierfache zu. Diese Regel zählt jedoch nur innerhalb des Toleranzbereichs der Enzyme, welcher zwischen 0 bis 40 °C liegt. Oberhalb der Temperatur kommt es zu einer Schädigung der Enzyme und unterhalb gefriert das Wasser im Zellplasma. Aufgrund der Dichteanomalie des Wassers kommt es bei tiefen Temperaturen zum Reißen der Zellmembranen und die Pflanze vertrocknet. Die Lufttemperatur sollte daher nicht tiefer als durchschnittlich 5 bis 7,5 °C sein, damit die Pflanzen noch wachsen können[26]. Das Pflanzenwachstum, die Photosynthese und die Zellatmung sind temperaturabhängige Stoffwechselprozesse.

Neben dem Boden und dem Licht ist also auch die Temperatur für das Pflanzenwachstum entscheidend. Schon bei der Planung des Schulgartens (siehe Abschnitt 'Gartenutensilien') haben sich die Schüler mit dem Gewächshaus beschäftigt. Dies soll nun vertieft werden, um den Einfluss der Wärme auf das Pflanzenwachstum weiter zu differenzieren (horizontale Transferleistung). So wird beispielsweise bei Tomatenpflanzen entweder ein Gewächshaus oder anderer warmer Ort für das Anpflanzen im Anzuchttopf empfohlen. Gewächshäuser können aus unterschiedlichen Materialien bestehen, wobei häufig Glas oder Polyethylen eingesetzt wird. Die Abb. 3.31 zeigt zwei mögliche Varianten eines Glas- und eines Kunststoffgewächshauses.



Abb. 3.31: Kunststoff- (links) und Glasgewächshaus (rechts) [127]

Die beiden Stoffe *Glas* und *Kunststoff* sind den Schülern bereits bekannt. Diese beiden Stoffe haben die besondere Eigenschaft, dass sie transparent und schlechte Wärmeleiter sind. Mit diesem Wissen, können die Schüler erklären, warum sich diese beide Materialien gut für ein Gewächshaus eignen. Die Funktionsweise eines Gewächshauses kann mit Hilfe eines einfachen Modellversuchs nachvollzogen werden.

[26] Jede Pflanze hat einen eignen Toleranzbereich im Bezug auf den Ökofaktor Wärme.

Versuch 26: Wachstum im Gewächshaus

Die Chemie dahinter: Wärme als fördernder Faktor

Schülerversuch nach *Schmidt* [173, S. 10]

Geräte: Große Kristallisierschale, 1-L-PET-Flasche mit passendem durchbohrten Stopfen, Schere, 2 Einstichthermometer

Chemikalien: Kresse, Gartenerde, Wasser

Durchführung: Der Deckel wird von der Flasche entfernt; die Flasche selbst wird in der Mitte, zwischen Flaschenboden und Flaschenhals, mit der Schere halbiert. Das Einstichthermometer wird in den durchbohrten Stopfen eingeführt, mit dem anschließend der Flaschenhals verschlossen wird, sodass die Temperatur im Flascheninneren gemessen werden kann. In die Kristallisierschale wird 1 cm hoch Gartenboden gegeben und anschließend die Gartenkresse darauf gleichmäßig verteilt, siehe Abb. 3.32. Es wird etwas Wasser hinzugegeben und der abgeschnittene Flaschenhals so platziert, dass ein Teil der Kressesamen unter der Flasche wachsen kann. Nun wird die Schale auf eine sonnige Fensterbank gestellt. Mit Hilfe des Einstichthermometers wird die Temperatur innerhalb der Flasche über fünf Tage gegen Mittag abgelesen. Durch den Einsatz eines weiteren Thermometers wird die Umgebungstemperatur über fünf Tage simultan aufgezeichnet.

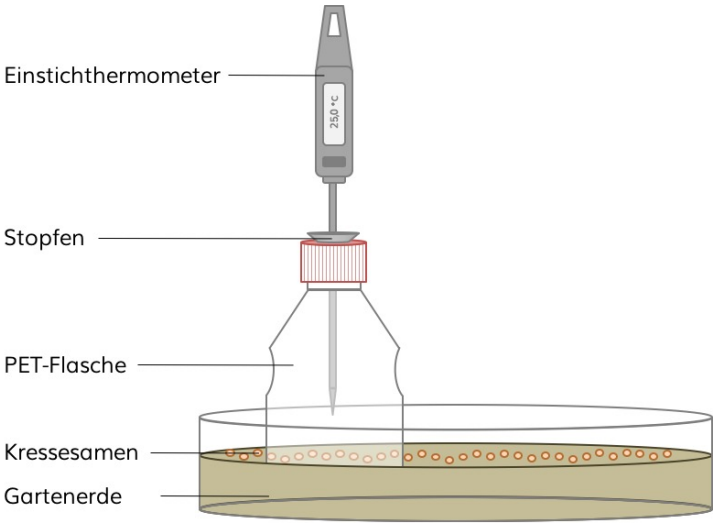


Abb. 3.32: Versuchsaufbau – Versuch 26

Beobachtungen: Die Kressesamen keimen unter der Flasche bereits am zweiten Tag, während die Samen, die nicht von der Flaschen bedeckt werden, erst am dritten Tag keimen. Nach fünf Tagen sind die Kressesamen unter der Flasche deutlich größer gewachsen, als an der Umgebungsluft. Der Temperaturverlauf ist in Tab. 3.11 aufgezeigt.

Temperatur	Umgebung	PET-Flasche
Tag 1	21 °C	24 °C
Tag 2	23 °C	28 °C
Tag 3	26 °C	30 °C
Tag 4	21 °C	29 °C
Tag 5	21 °C	29 °C

Tab. 3.11: Wachstum im Gewächshaus

Wesentliche Lerninhalte: Unter der PET-Flasche steigt die Temperatur höher als in der Umgebung, da kein Luftaustausch stattfinden kann. Die Wärmestrahlung des Sonnenlichts wird von der PET-Flasche absorbiert. Da zwischen der Luft in der Flasche und der Umgebungsluft kein direkter Austausch in Form von Strömung stattfinden kann, steigert sich die Temperatur innerhalb der

Flasche schnell über die der Umgebungsluft. Die Keimung und das Pflanzenwachstum sind temperaturabhängig. Je höher die Temperatur ist, desto schneller keimen und wachsen die Samen.

Fachlicher Hintergrund: Das Licht der Sonne dringt durch die PET-Flasche ins Innere ein. Dort wird die Energie des Lichts absorbiert und in Form von Wärmestrahlung mit der Zeit wieder abgestrahlt. Ein Teil des Lichts, die kurzwellige Strahlung, wird auch reflektiert und dringt durch die PET-Flasche nach außen. Dem entgegen wird langwellige Strahlung, die vom Boden reflektiert wird, vom Kunststoff erneut ins Flascheninnere reflektiert, weshalb man von einer selektiven Transparenz spricht. Langwellige Strahlung ist zum Beispiel Infrarotstrahlung, welche ein Teil der Wärmestrahlung ist. Somit wird der Raum innerhalb des Gewächshauses erwärmt und die Temperatur steigt. Die Flasche liegt eng auf der Gartenerde auf und ist durch einen Stopfen verschlossen. Weil es zu keiner Konvektion (Massenströmung) kommen kann, wird der Wärmeaustausch mit der Umgebung auf ein Minimum reduziert und die Temperatur ist stets höher als die der Umgebung. Durch die PET-Flasche selbst kann ein Wärmeaustausch durch Leitung und Strahlung erfolgen. Da Kunststoffe schlechte Wärmeleiter sind, erfolgt die Wärmeleitung sehr langsam, sodass die Temperatur trotz fallender Außentemperatur relativ konstant bleibt.

Das dem Versuch zugrunde liegende Phänomen beruht also auf dem Glashauseffekt, und nicht, wie häufig angenommen, auf dem Treibhauseffekt. Letzterer begründet die konstante Temperatur, aber auch die anthropogene Temperaturerhöhung der Atmosphäre eines Planeten, der eben von einer Gasschicht umgeben ist.

Es gibt auch Pflanzen, deren Keimung durch Kälte aktiviert werden kann, beziehungsweise jene, deren Samen extrem niedrigen Temperaturen trotzen können, wie die Frühblüher. Zu diesen gehören beispielsweise Krokusse oder Schneeglöckchen. Beide Arten beginnen bereits im Februar beziehungsweise März zu blühen, oftmals liegt zu diesem Zeitpunkt noch Schnee und der Boden ist gefroren.



Abb. 3.33: Foto eines Schneeglöckchens im Schnee [174]

Damit stellt sich die Frage, wieso Frühblüher schon blühen können, während alle anderen Pflanzen bei den Temperaturen nicht keimen. Als Einstieg in die Thematik eignet sich ein Artikel der Zeitschrift *Chemie-Leben-Biotechnik* zum Schneeglöcken [175]. Hier steht geschrieben:

> *„Winterharte Pflanzen, wie das Schneeglöckchen bedienen sich eines natürlichen Frostschutzes. Sie modifizieren den Assimilations-Prozess derart, dass statt der Glykose vermehrt [...] Alkohole von kürzeren Kettenlängen, wie z.B. Glycerin gebildet wird. Glycerin vermag den Gefrierpunkt des Wassers in Abhängigkeit von der Konzentration erheblich verringern." [175]*

Die Wirkung des Glycerins auf den Gefrierpunkt des Wassers kann durch den folgenden Versuch untersucht werden.

Versuch 27: Erde, Glycerin und Wasser im Tiefkühlschrank

Die Chemie dahinter: Stoffe unterscheiden sich in ihrem Schmelzpunkt

Schülerexperiment

Geräte: 2 10-mL-Spritzen, 2 Kombi-Stopfen, Spatellöffel

Chemikalien: Wasser, Glycerin, feuchte Gartenerde

Durchführung: Die Stempel der Spritzen werden entfernt und jeweils bis zur 10-mL-Marke mit Erde befüllt. Anschließend werden zu einer der Spritzen 5 mL Wasser, zur anderen 5 mL Glycerin gegeben. Nun können die Stempel der Spritzen wieder in die Spritzenkörper eingeführt werden. Um einen deutlicheren Effekt zu bewirken, sollten die Proben mit Hilfe des Stempels komprimiert werden, indem die Spritze aufrecht gehalten wird und der Stempel langsam nach oben gedrückt wird. Achtung: *Durch die Spritzenöffnung sollte kein Probenmaterial verloren gehen.* Nun werden die Spritzen mit je einem Kombi-Stopfen verschlossen und für einen Tag in den Tiefkühlschrank bei mindestens -10 °C gelegt.

Beobachtungen: Die Probe, die mit Wasser getränkt wurde, gefriert und der Stempel wird nach oben gedrückt. Die andere Probe, die mit Glycerin getränkt wurde, gefriert nicht.

Wesentliche Lerninhalte: Eine stark wasserhaltige Bodenprobe gefriert im Tiefkühlschrank bei -10 °C. Aufgrund der Dichteanomalie des Wassers nimmt auch das Volumen zu. Glycerin stattdessen verringert den Gefrierpunkt einer wasserhaltigen Bodenprobe, sie wird daher nicht fest[27]. Deshalb können die Frühblüher bei Frost blühen, da sie Glycerin in den Wurzeln einlagern, welches den Gefrierpunkt des Wassers herabsetzt.

Fachliche Hinweise: Bei Glycerin handelt es sich um Propan-1,2,3-triol, welcher zu den Zuckeralkoholen gehört. Dessen Schmelzpunkt liegt bei 18 °C [176]. Glycerin bewirkt in Wasser jedoch eine Verringerung des chemischen Potentials des Wassers, wodurch der Schmelzpunkt der Mischung aus Wasser und Glycerin unter 0 °C fällt. Somit können Frühblüher trotz Nachtfrost und tiefen Temperaturen bis zu -18 °C blühen.

Die Frühblüher haben also einen Mechanismus entwickelt, trotz niedriger Temperaturen zu wachsen und zu blühen. Die wenigsten Pflanzen im Schulgarten sind jedoch Frühblüher. Außerdem gefriert das Wasser im Boden ab 0 °C.

Was könnte man also tun, damit auch andere Pflanzen hartnäckige Winter überleben?

Die Schüler wissen aus ihrer eigenen Erfahrungswelt, wie mit Vereisungen im Winter umgegangen wird. Insgesamt können zwei Wege festgehalten werden, denn Streufahrzeuge verteilen Sand oder Salz auf den Straßen. Schnell kann mit den Schülern die Funktion des Sandes als Haftuntergrund herausgestellt werden. Im Folgenden kann nun die Auswirkung von Salz auf Eis untersucht werden.

Versuch 28: Salz auf Eis

Die Chemie dahinter: Lösungsvorgänge

Schülerexperiment

Geräte: 2 kleine Petrischalen, Teelöffel

Chemikalien: Kochsalz (Natriumchlorid), Eiswürfel

Durchführung: Je ein Eiswürfel wird in eine Petrischale gelegt. Auf einen Eiswürfel wird etwas Salz

[27] Die Schüler kennen zu diesem Zeitpunkt schon die Aggregatzustände, jedoch nicht die Phasenübergänge mit den spezifischen Schmelzpunkten, weshalb an dieser Stelle die Auswertung didaktisch reduziert betrachtet wird.

gestreut, der andere Eiswürfel wird als Referenz ohne Salz beobachtet .

Beobachtungen: Beide Eiswürfel beginnen bei Raumtemperatur zu schmelzen. Der Eiswürfel mit dem Salz jedoch schmilzt deutlich schneller.

Wesentliche Lerninhalte: Salz bringt Eis zum Schmelzen.

Didaktische Anmerkung: Auf den Phasenübergang des Schmelzens wird fachlich an dieser Stelle nicht weiter eingegangen, da dies Lerninhalt des Abschnitts 'Bodenklima' ist.

Fachliche Hinweise: Bei Eis handelt es sich um gefrorenes Wasser. Auf diesem befindet sich stets eine dünne Schicht von geschmolzenem Wasser. Das Verhältnis von gefrorenem und geschmolzenem Wasser befindet sich in einem dynamischen Gleichgewicht. Sobald der Flüssigkeitsfilm nicht mehr zur Verfügung steht, wird dieser vom Eis nachgebildet. Das Salz, dass mit dieser Schicht in Berührung kommt, löst sich in dem geschmolzenen Wasser und es bilden sich Hydrathüllen um die Ionen. Somit schmilzt mehr Eis, um den Flüssigkeitsfilm aufgrund des beschriebenen Gleichgewichts aufrecht zuhalten. Dabei löst sich immer mehr Salz. Die entstehende Lösung ist demzufolge eine Salzlösung. Die Salzteilchen verhindern, dass die Wasserteilchen Eiskristalle aufbauen können. Es kommt zu einer Gefrierpunkterniedrigung bis auf -21 °C.

Nachdem die Schüler nun erkannt haben, dass das Eis durch das Salz schmilzt, kann nun der Vorschlag für den Schulgarten angewendet werden. Es schließt sich die Formulierung der Idee, dass der Boden vorher gesalzen wird, um der Temperaturproblematik zu umgehen, an. Diese Idee wird in folgenden Experiment aufgegriffen:

Versuch 29: Wirkung von Streusalz auf die Keimung

Die Chemie dahinter: Diffusion und Osmose

Schülerexperiment nach [177, S.350]

Geräte: 2 verschließbare Petrischalen, Watte, Pipette, Esslöffel

Chemikalien: Wasser, Natriumchlorid (Kochsalz), Saatgut der Gartenkresse

Durchführung: Die Petrischalen werden 2 cm hoch locker mit Watte befüllt. Auf diese wird jeweils ein Esslöffel der Kressesamen ausgesät. Anschließend gibt man so viel Wasser dazu, bis die gesamte Watte durchnässt ist. Auf der einen Petrischale wird nun zusätzlich ein Esslöffel Kochsalz direkt auf den Samen verteilt. Die Petrischalen werden verschlossen auf eine Fensterbank gestellt und drei Tage lang beobachtet.

Beobachtungen: Die Samen, die keinem Salz ausgesetzt sind, quellen nach einem Tag auf. Nach drei Tagen sind bereits kleine Sprossen zu erkennen. Die Samen, die in Gegenwart von Salz gedeihen sollen, quellen nicht auf, sondern wirken eher vertrocknet, obwohl sie mit reichlich Wasser getränkt wurden. Auch nach drei Tagen sind keine Sprößlinge zu erkennen, wie in Abb. 3.34 zu erkennen ist.

Wesentliche Lerninhalte: Salz kann die Keimung von Samen verhindern. Dies liegt daran, dass Salz die Fähigkeit von Samen unterdrücken, Wasser aus der Umgebung aufzunehmen. Ist dagegen weniger Salz in der Umgebung, können die Samen über ihre 'Hülle' hinweg Wasser aufnehmen. Diesen Prozess nennt man Osmose. Durch den Prozess der Osmose ist es also möglich, dass Samen das für die Keimung notwendige Wasser aufnehmen.

Fachlicher Hintergrund: Beim Lösen von Natriumchlorid in Wasser werden pro gelösten Molekül zwei Ionen gebildet. Diese erhöhen den sogenannten osmotischen Druck des Wassers. In den Samen selbst ist ebenfalls Wasser enthalten, in dem hauptsächlich organische Nährstoffe gelöst sind. Der osmotische Druck ist hier geringer als im umgebenden Wasser, in dem viel Salz gelöst ist. Um den osmotischen Druck auszugleichen, strömt das Wasser durch die Membranen aus den Samen in die Umgebung. Damit befinden sich die Samen im Wasserstress, denn Wasser ist für die Keimung ein

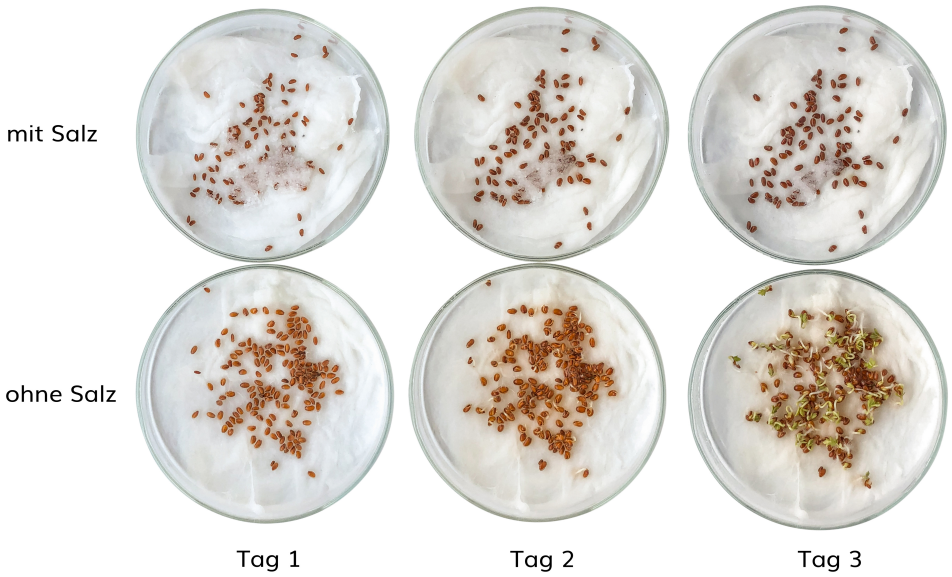


Abb. 3.34: Foto von der Wirkung von Salz auf die Keimung

wesentlicher Faktor. Ist die Salzkonzentration dagegen geringer, kann Wasser aus der Umgebung durch die Membranen in die Samen gelangen und sie keimen.

Fachlicher Exkurs: Neben Belastungen durch Schwermetalle, Erdölprodukte oder sonstige Schadstoffe sind Böden auch durch Salze gefährdet. Besonders im Zuge des erforderlichen winterlichen Streusalzeinsatzes gelangen zum Teil größere Mengen von Natriumsalzen in die straßennahen Böden. Durch das Streusalz werden vor allem die Böden im Abstand von etwa 5 bis 10 m Entfernung von der Straße belastet. Die Zufuhr von Kochsalz in den Boden führt dazu, dass vorwiegend Magnesium- und Calcium-Ionen durch die Na-Ionen von den Austauscherplätzen des Bodens verdrängt und damit in tiefere Bodenschichten ausgewaschen werden. Dort stehen sie den Pflanzen nicht mehr zur Verfügung, wodurch an Straßenrändern oftmals typische Salzsymptome wie verzögerter Blattaustrieb, Blattnekrosen (eine Nekrose ist das lokale Absterben von Geweben oder Organen und tritt normalerweise zuerst als Verfärbung auf; nekrotische Flecken auf Blättern können schließlich ausbrechen und dabei Löcher hinterlassen) und in extremen Fällen auch das Absterben von Pflanzen festzustellen ist. Darüber hinaus ist durch die Veränderung der osmotischen Verhältnisse die Wasseraufnahmefähigkeit der Pflanzen stark beeinflusst.

Es kann also festgehalten werden, dass die Idee, den Boden zu salzen, eher zum Absterben führt, als dass Samen die Winterkälte überleben. Dennoch führte Salz zum Schmelzen von Eis. Daneben hat Salz auch eine sogenannte hygroskopische Eigenschaft, die durch das folgende Experiment verdeutlicht werden kann.

Versuch 30: Salz auf Kartoffeln

Die Chemie dahinter: Osmose

Schülerexperiment

Geräte: Messer, Schneidebrett, Petrischale, Löffel

Chemikalien: Kartoffel, Natriumchlorid (Kochsalz)
Durchführung: Eine Kartoffel wird in zwei gleich große Hälften geschnitten. Anschließend werden beide Hälften mit der Schale in die Petrischale gelegt. Auf die eine Hälfte wird nun das Salz großzügig aufgetragen. Beide Kartoffeln werden nun etwa 45 Minuten beobachtet.
Beobachtungen: Im Inneren ist eine Kartoffel gelb und leicht feucht. Die Kartoffel, auf die kein Salz gestreut wurde, ist auch nach 45 Minuten noch gelb und unverändert. Das Salz auf der anderen Kartoffelhälfte sieht feucht aus. Diese Kartoffel ist außerdem weicher geworden..

Wesentliche Lerninhalte: Salz entzieht der Kartoffel das Wasser, weshalb es feucht wird. Dieser Prozess beruht auf einem Konzentrationsausgleich. Das Wasser diffundiert durch die Zellwände zum Salz. Dabei spricht man von einem osmotischen Vorgang. Daher wird die Kartoffel weicher.

Fachliche Hinweise: Die Natriumchlorid-Konzentration in der Kartoffel ist deutlich geringer als die des zusätzlich aufgebrachten Natriumchlorids, das sich im extrazellulären Wasser löst. Als Konzentrationausgleich strömt der Zellsaft aus den Kartoffelzellen zum außen aufliegenden Salz, um dieses zu lösen und damit dessen Konzentration zu verkleinern. Dabei nimmt der Turgordruck[28] innerhalb der Zellen der Kartoffel ab. Dieser Turgordruck wird im Regelfall durch osmotische Prozesse in der Vakuole erzeugt: Wasser diffundiert hierfür in die Zellen und drückt somit gegen die Zellwand. Dieser Vorgang heißt Plasmolyse. Ist die Salzkonzentration außerhalb der Zellen nun höher, dringt das Wasser nicht in die Vakuole ein, sondern diffundiert nach außen. Durch den Wasserverlust wird die Konsistenz der Kartoffel schwammig und weicher.

Die Schüler haben gesehen, dass Salz zwar die Fähigkeit hat, Eis zu schmelzen. Jedoch entzieht das Salz auch anderen Stoffen, wie zum Beispiel der Kartoffel, Wasser. Analoges konnten sie ebenso an den Pflanzensamen feststellen: Die Keimlinge der Gartenkresse, die Salz ausgesetzt waren, sind nicht aufgequollen.

Daraus entsteht ein Dilemma: Wenn nun ausschließlich Frühblüher Spezialfähigkeiten haben, anderen Pflanzen aber nicht mit Salz vor Frost geholfen werden kann, dann stellt gefrorenes Wasser im Winter auch ein Hindernis für das Pflanzenwachstum dar. Wie viel Wasser Samen aber wirklich brauchen, kann mit folgendem Versuch erkundet werden.

Versuch 31: Keimung bei unterschiedlicher Wassermenge

Die Chemie dahinter: Diffusion

Schülerexperiment nach *Smyth* [171]

Geräte: 3 verschließbare Petrischalen ($\varnothing \sim 10$ cm), Esslöffel, Watte, 50-mL-Messzylinder

Chemikalien: Wasser, Saatgut der Gartenkresse

Durchführung: Die Petrischalen werden etwa 1 cm hoch locker mit Watte befüllt. Auf diese wird jeweils ein Esslöffel der Kressesamen ausgesät. Die erste Petrischale bleibt im Weiteren unberührt. In die zweite Petrieschale werden 10 mL und in die Dritte werden 40 mL Wasser gegeben. Die Petrischalen werden mit dem entsprechenden Gegenstück verschlossen und drei Tage lang beobachtet.

[28] Als Turgordruck wird der positive hydrostatische Druck innerhalb der Zellen bezeichnet. Er ist verantwortlich für zahlreiche physiologische Prozesse (Transportprozesse, Zellvergrößerung).

Beobachtungen: Die Samen der Gartenkresse, die kein Wasser erhalten, quellen nicht auf und keimen auch nicht. Nur die Samen, denen eine Wassermenge von 10 mL zur Verfügung gestellt wurde, keimen auf. In der Petrischale mit 40 mL Wasser steht über der Watte ein Wasserfilm. Die Samen quellen auf, es keimen jedoch nur vereinzelte Samen sehr spärlich auf.

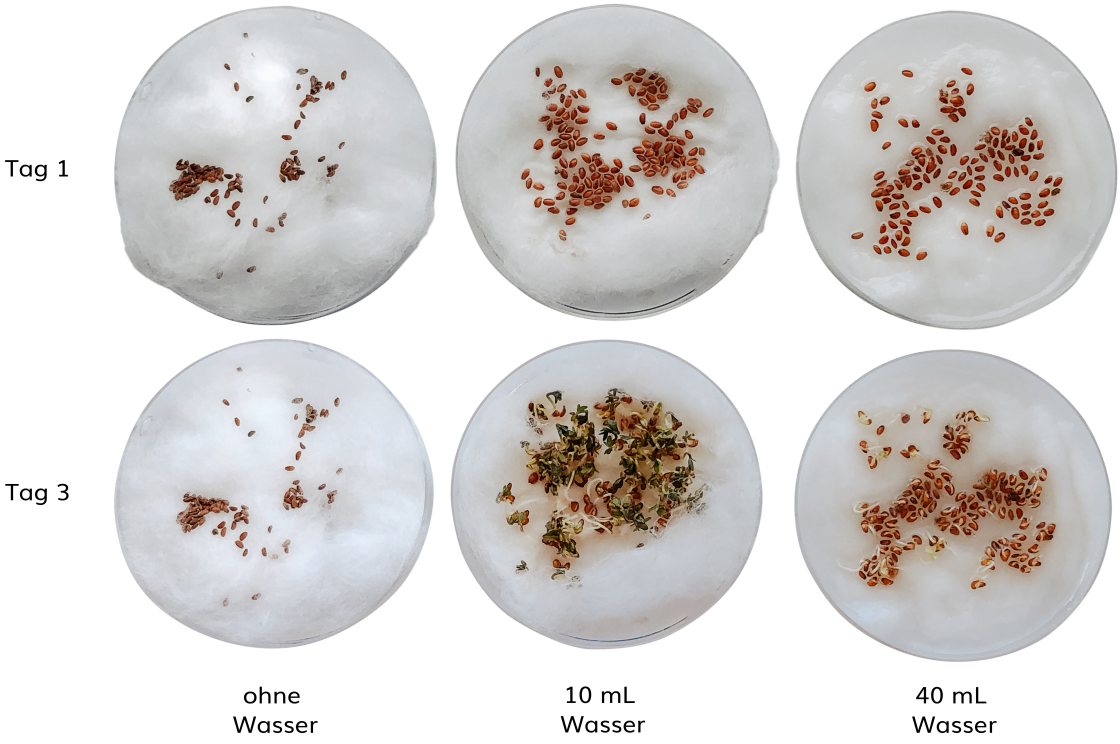


Abb. 3.35: Foto – Keimung bei unterschiedlicher Wassermenge

Wesentliche Lerninhalte: Pflanzensamen brauchen Wasser zum Keimen. Daher können Samen, die kein Wasser enthalten, nicht aufquellen. Bei zu viel Wasser keimen die Samen zwar, weil sie durch das Wasser aufquellen, sie können aber nicht wachsen, weil die sie umgebende Wasserschicht den Luftaustausch verhindert. Neben Wasser, Licht und Nährstoffe benötigen Pflanzensamen Luft, die sie unter Wasserverschluss nicht bekommen. Das Wasser bildet eine Hülle um den Samen, weshalb Atmungsprozesse der Samen unterbunden werden. Somit kann kein Sauerstoff aus der Luft vom Samen aufgenommen werden.

Die Wassermenge, die einem Samen zu Verfügung steht, korreliert mit der Fähigkeit zu keimen. Ebenso konnten die Schüler beobachten, dass diese kurz vor der Keimung 'dicker' werden und dann aufplatzen. Sie nehmen also Wasser aus der Umgebung auf. Dieser Prozess wird Osmose genannt und kann durch den folgenden Modellversuch eindrucksvoll demonstriert werden.

Versuch 32: Osmosevorgänge

Die Chemie dahinter: Diffusion, Osmose

Schülerexperiment

Geräte: 0,5-L-PET-Flasche, 50-mL-Becherglas, Pinzette

Chemikalien: Wasser, Gummibärchen, Superabsorpertierchen

Durchführung: Das Becherglas wird bis zur 10 mL-Marke mit Wasser gefüllt. Ein Gummibärchen wird für einen Tag lang in das mit Wasser gefüllte Becherglas gelegt. Das Superabsorpertierchen

wird in die Flasche gesteckt, diese mit Wasser aufgefüllt und verschlossen. Am nächsten Tag werden die Größen des Superabsorpertierchens und Gummibärchen miteinander verglichen.

Beobachtungen: Zu Beginn des Versuchs sind ein Superabsorbertierchen und Gummibärchen etwa gleich groß. Beide quellen durch das Wasser auf und werden deutlich größer. Nach einem Tag füllt das Superabsorbertierchen sogar die gesamte Länge der Flasche aus.

Wesentliche Lerninhalte: Das Gummitierchen und das Superabsorpertierchen nehmen beim Quellen Wasser aus der Umgebung auf und werden so größer. Das umgebende Wasser diffundiert in das Gummitierchen beziehungsweise das Superabsorpertierchen ein. Analog verfahren Pflanzensamen, die das Wasser aus der Umgebung aufnehmen, anschließend aufquellen (also an Größe zunehmen) und anschließend platzen, wodurch der Sprößling aus der Samenschale herausdringt und wächst.

Didaktische Anmerkungen: Es ist möglich, den Versuch zur Wirkung von Salz auf einer Kartoffel erneut aufzugreifen. Denn hier konnten die Schüler erkennen, dass das Wasser aus den Zellen zum Salz diffundierte. Gibt man kein Salz, sondern nur Wasser auf eine Kartoffel, dann diffundiert das Wasser in die Kartoffel hinein, da hier ebenso osmotisch wirkende Stoffe, wie beispielsweise Zucker, vorliegen. Bei Bedarf kann der *Versuch 30 'Salz auf Kartoffel'* nun analog mit Zucker wiederholt werden, wobei die Schüler erkennen, dass auch hier das Wasser aus den Pflanzenzellen zum Zucker diffundieren. Als Alltagsbezug kann das bekannte Beispiel der Kirsche bei Regen dienen.

> *Im Schulgarten steht ein Süßkirschbaum, der sehr reife Früchte trägt. Nun beginnt es zu regnen und einige Kirschen platzen plötzlich. Wie kann das sein?*

Die Lösung: Reife Kirschen enthalten viel Zucker, welcher osmotisch wirkt. Das Regenwasser auf den Kirschen diffundiert daher durch die Zellwände in die Vakuolen der Kirschen hinein. Der Tugordruck innerhalb der Zelle steigt so lange an, bis die Kirschen schlussendlich aufplatzen.

Nach den Experimenten zu den Keimungsparametern kann nun der folgende Merksatz formuliert werden:

Die Pflanzenkeimung hängt vom Lichteinfluss, der Temperatur und der Wassermenge ab.

Die Schülern haben alle wesentlichen abiotischen Faktoren (Wasser, Licht, Wärme und Boden) untersucht, nun kann das eigentliche Aussähen beginnen. Es ist zwar bis zu diesem Zeitpunkt klar, dass Einflüsse abiotischer Ökofaktoren das Pflanzenwachstum begünstigen, aber kaum beschleunigen können. Deshalb kann nun folgende Frage gestellt werden:

Wie kann man das Pflanzenwachstum unterstützen?

Für das Wachstum selbst brauchen Pflanzen selbstverständlich noch genügend Nährstoffe. Diese können auch zusätzlich in den Boden eingetragen werden. Stoffe, die der Mensch dem Boden hinzufügt, damit Pflanzen essentielle Nährstoffe schneller aufnehmen können, nennt man Dünger. Auf Flaschen und Gebinden von aktuellen Düngemitteln sind häufig auch Gefahrstoffsymbole abgebildet, weil die meisten Dünger für Bodenlebewesen gefährlich bis schädlich sind. Düngemittel sind also auch Giftstoffe. Wird der Boden zu stark gedüngt, können die Pflanzen nicht alle Teile dessen aufnehmen, sodass Reste im Boden selbst verbleiben. Damit besteht ein Grund für die folgende Frage.

Was passiert mit Dünger im Boden?

Anhand des folgenden Versuchs können die Schüler die Filterwirkung des Bodens erkennen. Da Düngerlösungen meist farblos sind, wird eine Farbstofflösung eingesetzt.

Versuch 33: Boden als Filter

Die Chemie dahinter: Filter als Trennmethode

Schülerexperiment nach *Bergstedt* [137, S. 19]

Geräte: 2 x 100-mL-Erlenmeyerkolben, 2 x 100-mL-Bechergläser, Glasstab, Löffel, zwei Trichter (⌀ ∼ 5 cm), Watte, 2 Pipetten

Chemikalien: Lebensmittelfarbe E163 - Anthocyane (z.B. Wusitia-Rot), Lebensmittelfarbe E132 - Indigotin (z.B. Wusita Blau), Wasser, Gartenboden

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Die Öffnungen der beiden Trichter werden mit Watte verschlossen. Anschließend werden die Trichter, wie in Abb. 3.36 zu sehen ist, auf die 100 mL Erlenmeyerkolben gesetzt. Beide Trichter werden nun bis 5 cm unter den Rand mit Erde befüllt. In jeweils ein Becherglas werden 3 mL eines Farbstoffes (z.B. Wusita Blau beziehungsweise Rot) gegeben. Anschließend werden die Bechergläser bis zur 100 mL Marke mit Wasser aufgefüllt. Etwa die Hälfte jeder Lösung wird nun in je einen Trichter gegeben. Die Filtrate werden in den Erlenmeyerkolben aufgefangen. Die Lösungen werden mit den Ausgangslösungen verglichen.

Beobachtungen: Sind die Lebensmittelfarben im Wasser gelöst, erhält man eine blaue beziehungsweise rote Lösung. Nachdem die blaue Lösung über den Gartenboden gegeben wurde, tropft nach etwa zwei Minuten ein blaues Filtrat in den Erlenmeyerkolben. Analog wird mit der roten Lösung verfahren. Das aufgefangene Filtrat ist farblos, wie in der Abb. 3.36 zu erkennen ist.



Abb. 3.36: Foto der Versuchsergebnisse zur Filterwirkung des Bodens

Wesentliche Lerninhalte: Der Boden kann bestimmte Stoffe herausfiltern, andere Stoffe gelangen durch den Boden und kommen so ins Grundwasser, beziehungsweise in andere Gewässer (Seen, Flüsse). Der Boden hat die Eigenschaft im Wasser befindliche Teilchen zu binden und damit aus dem Wasser heraus zu filtern, während andere Teilchen nicht gefiltert werden können. Diese Filtereigenschaft hängt mit spezifischen Eigenschaften der zu filternden Stoffe zusammen. Didaktisch reduziert kann erklärt werden: Manche Teilchen können von den Bodenteilchen festgehalten werden, während andere durchgelassen werden

Fachliche Auswertung: Im Wusita-Blau ist der Farbstoff Indigotin enthalten, ein zweifach negativ geladenes Anion, welches eine blaue Farbe hervorruft. In Wusita-Rot ist der Farbstoff Anthocyan E163 enthalten, ein einfach positiv geladenes Kation, das eine rote Farbe hervorruft.

Analog kann mit Methylenblau-Lösung und Eosin-Lösung verfahren werden. Eosin-Lösung ist rot, Methylenblau-Lösung ist, dem Namen nach, blau. Das Filtrat der Methylenblau-Lösung ist farblos, das der Eosin-Lösung hingegen bleibt rot.

Der in diesem Versuch eingesetzte Gartenboden konnte Teilchen mit positiver Ladung binden, Teilchen mit negativer Ladung dagegen nicht. Diese Beobachtung kann mit Hilfe der Bodenstruktur erklärt werden: Im Boden entstehen durch Verwitterungs- und Zersetzungsprozesse sogenannte Bodenkolloide, zu denen Tonminerale, Huminstoffe, Metall- und Nichtmetalloxide und Hydroxide zählen. Diese sind häufig negativ geladen und zählen zu den wesentliche Ladungsträgern im Boden. An diesen negativ geladenen Bodenkolloiden können nun die positiven Ionen angelagert werden, wie zum Beispiel Calcium oder Kalium-Ionen, welche zu den essentiellen Nährstoffen für Pflanzen zählen. Die positiv geladenen Farbstoff-Ionen können sich ebenso an die Bodenkolloide anlagern. Dabei findet ein Ionenaustausch statt, und die dadurch frei werdenden Calcium- und Kalium-Ionen werden mit dem Wasser ausgewaschen. Die negativen geladenen Farbstoff-Ionen hingegen werden von den negativ geladenen Bodenkolloiden abgestoßen, also nicht vom Boden festgehalten und gelangen somit, gelöst im Wasser, aus dem Boden in den Erlenmeyerkolben.

Über den Einfluss des Lichtes, der Temperatur, der Luft, hin zu Wasser und Salz sind nun alle wesentlichen Faktoren erarbeitet worden, um eine erfolgreiche Aussaat zu beginnen. Abschließend bietet sich ein kontextvernetzender Faktor an, der bisher noch nicht betrachtet wurde. Auf diesen kann durchaus spielerisch hingewiesen werden: Nicht jeder Mensch versteht sich gut mit jedem. Das gilt auch bei Pflanzen. Möchte man bestimmte Nachbarschaften im Garten einführen, schaut man am besten in Gartenratgebern in die sogenannten *Mischkulturtabellen*. Hier findet man Hinweise darauf, welche Pflanzen sich bezüglich ihres Wachstums gegenseitig hemmen oder fördern. Diese werden über Signalstoffe, sogenannte Botenstoffe, realisiert. Als ein Beispiel kann der Lavendel genannt werden. Der Botenstoff des Lavendels ist ein ätherisches Öl, welches einen sehr intensiven Geruch hat und dient, Insekten anzulocken, um vermehrt bestäubt zu werden. Andere Botenstoffe wiederum können nicht vom Menschen wahrgenommen werden. Dennoch nehmen sie Einfluss auf die Keimung und das Wachstum von Pflanzen, wie man eindrucksvoll durch folgenden Versuch zeigen kann.

Versuch 34: Botenstoffe von Äpfeln

Die Chemie dahinter: Katalytische und inhibitorische Wirkung von Ethen

Schülerexperiment nach *molecool* [149, S.15]

Geräte: 2 Petrischalen (∅ ∼ 10 cm), Esslöffel, Watte, 2 x 100-mL-Zippobeutel

Chemikalien: Wasser, Saatgut der Gartenkresse, reifer Bio-Apfel

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Die beiden Petrischalen werden etwa 1 cm hoch locker mit Watte befüllt. Auf diese wird jeweils ein Esslöffel der Kressesamen ausgesät. Anschließend gibt man so viel Wasser dazu, bis der Watte-Boden durchnässt ist. Nun können die Petrischalen mit den Kressesamen in jeweils einen Zippobeutel gestellt werden. In einen von beiden Zippobeuteln wird zusätzlich ein reifer Apfel gelegt. Beide Beutel werden luftdicht verschlossen und drei Tage lang auf der Fensterbank beobachtet.

Beobachtungen: Schließt man Kressesamen auf mit Wasser getränkter Watte in einem Beutel ein, so quellen diese innerhalb von drei Tagen auf und es wachsen kleine Triebe, die auch erste kleine, dunkelgrüne Blätter bilden. Gibt man einen Apfel mit in den Beutel, dann keimen deutlich weniger Samen und die gebildeten Triebe sind verkümmert und hellgelb, siehe Abb. 3.37.

Wesentliche Lerninhalte: Reife Äpfel senden einen Botenstoff aus, welcher die Keimung von Pflanzensamen unterdrücken kann. Der Botenstoff ist für Menschen nicht wahrnehmbar; es handelt sich um Ethen. Obstbäume setzen Ethen zur Fruchtreifung frei, damit umliegendes Obst schneller reift. Somit wirkt er auf den Reifungsprozess katalytisch/unterstützend, denn die Geschwindigkeit der Reifung nimmt zu.

Fachlicher Hintergrund: Ethen ist ein Botenstoff, der auf Enzymaktivitäten entweder hemmend

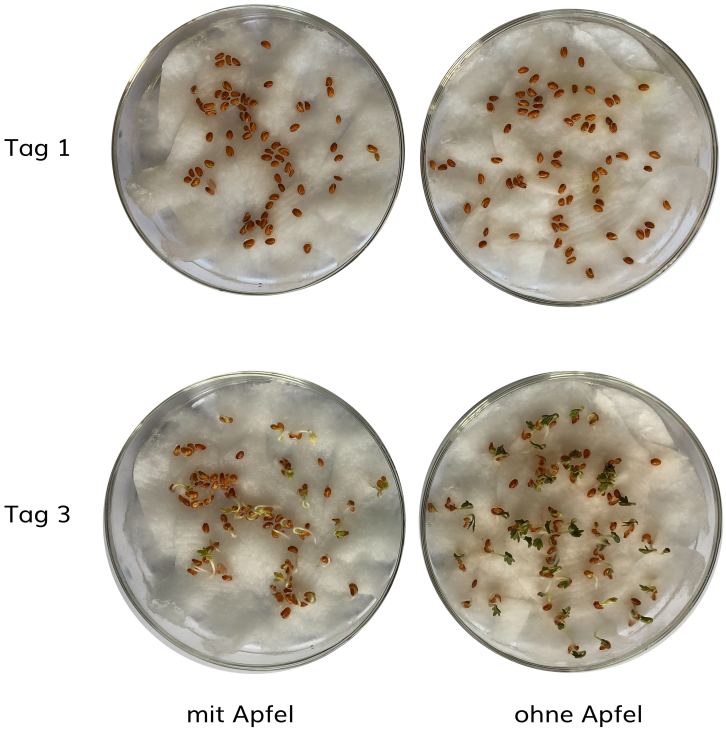


Abb. 3.37: Foto – Keimungshemmung durch Ethen

oder fördernd wirkt. Die Stoffwechselprozesse während der Keimung hemmt das Pflanzenhormon (inhibitorische Wirkung), während es die Stoffwechselprozesse der Reifung fördert (katalytische Wirkung). Am Max-Planck-Institut in Potsdam wurde das Pflanzenhormon Ethen und seine Auswirkung erforscht. Dafür untersuchten sie den pflanzlichen Stoffwechsel bei verschiedenen Pflanzen während des sogenannten Breaker-Points[29]. Sie entdeckten, dass Tomaten am Breaker-Point eine sehr große Menge Ethen freisetzen. Ethen ist daher ein sogenanntes Phytohormon, welches seine eigene Synthese aktiviert, sobald die Pflanze von außen mit Ethen in Berührung kommt. Es wurde zudem entdeckt, dass Äpfel während des Reifungsprozesses ebenso kontinuierlich Ethen freisetzen und deshalb als Ethenquelle eingesetzt werden können. Dabei nehmen die ACC-Synthase und die ACC-Oxydase eine Schlüsselrolle ein. Beim Reifungsprozess produziert die Pflanze viel mehr von diesen Enzymen als üblich, wodurch eine Signalkaskade in Gang gesetzt wird, die zur Fruchtreifung führt. Bei diesem werden aus den grünen Chloroplasten farbige Chromoplasten, die harten Zellwände werden abgebaut und es wird vermehrt Zucker gebildet [178]: Die Frucht reift.

Didaktische Anmerkung: Parallel dazu kann eine grüne, unreife Banane mit einem reifen Apfel zusammen in einem Zippobeutel eingeschlossen werden. Zum Vergleich sollte eine zweite grüne, unreife Banane allein in einen Beutel untergebracht werden werden. Nach drei Tagen ist zu erkennen, dass die Banane mit dem Apfel reif geworden ist, während die Banane ohne Apfel erst langsam zu reifen beginnt.

[29] Der Breaker-Point ist der Punkt an dem ein sichtbarer Farbumschlag im Reifeprozess erfolgt.

3.4 Bodenklima

Der Schwerpunkt dieses Abschnitts liegt in der Behandlung der Themenfelder 'Wasser und seine Eigenschaften' und 'Luft und ihre Eigenschaften'. Spielerisch und experimentell sollen die Schüler an diese Themen herangeführt werden. Dazu eignet sich der Schulgarten im besonderen Maße, weil gerade bei der Pflege des Schulgartens Wasser und Luft eine entscheidende Rolle spielen. Im Falle des Wassers liegt der Fokus auf den folgenden Eigenschaften.

- Aggregatzustände und Phasenübergänge
- Dichteanomalie des Wassers
- Zwischenmolekulare Kräfte
- Kapillareffekt
- Wasser als Lösungsmittel

Im Anschluss wird die Luft experimentell untersucht. Neben der Luftzusammensetzung sollen die Schüler die Nachweise der Gase kennenlernen.

Boden selbst ist ein Dreiphasen-System. Dies bedeutet, dass alle drei Aggregatzustände im Boden vorliegen: Der Erde als Feststoff, das Bodenwasser als Flüssigkeit und die Bodenluft als Gas(-gemisch). Damit eignet sich der Boden (als übergreifendes Thema) im Schulgarten als gute Möglichkeit, um die Aggregatzustände zuvertiefen. Auf diese Weise legt der NaWi-Unterricht erste wichtige Grundsteine für den weiteren Chemieunterricht. Denn die Themenkomplexe Wasser und Luft, sowie die genannten Stoffeigenschaften spielen vor allem im Chemieanfangsunterricht eine bedeutende Rolle und gehören zum bewährten 'roten Faden' durch die Chemie. Dies wird unter anderem durch die Auflistung der Themen belegt, die einerseits in den Rahmenplänen für NaWi aufgeführt sind (siehe Tab. 1.9 auf S. 37). Andererseits greifen die Themenfelder *Wasser* und *Luft* auch aktuelle Lehrbücher auf, wie beispielsweise *NAWIgator* [123, S. 296 ff.], *Netzwerk Naturwissenschaften* [124, S. 104 ff.] und *Natur und Technik* [125, S. 140]. Einzelne Universitäten haben Themenmappen für die Themen 'Wasser' und 'Luft' für die Klassenstufen 5 und 6 herausgebracht, wie beispielsweise *Wasser - Stoff und Lebensraum* [179], *Ich und das Wasser* [180], *Wasser - die vielen Gesichter eines Stoffes* [181] und *Wasser* [182]. Zum Themenbereich Luft wurden dazu folgende Themenmappen veröffentlicht: *Ich und die Luft* [183], *Luft und Fliegen* [184] sowie in *Luft und Fliegen. Selbstständiges Experimentieren lernen in Klassenstufe 5/6* [185].

Einstieg: Trotz weitreichender Bezüge zur Alltagswelt motivieren die Themen Wasser und Luft sicher nicht jeden Schüler gleichermaßen. Die Herausforderung liegt also darin, den Schülern zu zeigen, wie besonders die Eigenschaften des Wassers im Gegensatz zu anderen Flüssigkeiten sind. Dass Luft ein Gasgemsich ist, ist vielen Schülern zu diesem Zeitpunkt schon bewusst, allerdings ist Luft nicht greifbar; Überlegungen auf Teilchenebene sind zu diesem Zeitpunkt, auch aus entwicklungspsychologischer Sicht, daher schwierig. Aus diesem Grund wurden Kontexte, wie zum Beispiel V36 und V41, gesucht, welche die Schüler in Staunen und Verwunderung versetzen können und einen Aha-Effekt bewirken.

Bezug zum Schulgarten: Die Eigenschaften des Wassers und der Luft sollen genutzt werden, um auch Bezüge zur Bodenpflege herzustellen. Die Schüler sollen erkennen, dass die Gartenarbeit ein kontinuierlicher Prozess ist und der Erfolg der Ernte unter anderem von der eigenen Arbeit abhängt. Somit können sie selbst Verantwortung und Einfluss auf ihren Ernte-Erfolg nehmen.

Vorwissen: An die Vorkenntnisse des vorherigen Abschnitt *Aussaatbedingungen* wird nun angeknüpft. Für die nun folgenden Schwerpunkte zeigte die Rahmenplananalyse des Sachkundeunterrichts, dass in einigen Bundesländern schon in der Grundschule auf *Wasser und seine Eigenschaften* sowie *Luft und ihre Eigenschaften* eingegangen wird, siehe Tab. 1.6 auf S. 29. Es ist daher davon auszugehen, dass ein Teil der Schüler schon über Vorwissen verfügt. Generell sollte die Lehrkraft die folgenden Fragen für sich beantworten, um sich über mögliches Vorwissen der Schüler bewusst zu werden:

- Können die Schüler zwischen den Begriffen *Flüssigkeit* und *Feststoff* sicher unterscheiden?
- Kennen sie die drei Aggregatzustände und ihre Merkmale?

- Kennen sie die Phasenübergänge des Schmelzens und Gefrierens?
- Kennen die Schüler konkrete Eigenschaften von Wasser?
- Kennen die Schüler die Zusammensetzung der Luft?
- Kennen die Schüler konkrete Eigenschaften der Luft?

Weiteres Vorgehen: Durch Versuch 27 konnte festgestellt werden, dass sich Wasser beim Gefrieren ausdehnt. Doch was passierte eigentlich mit der Temperatur des Wassers beim Gefrieren? Ein möglicher Ansatz, diesen ersten Phasenübergang zu untersuchen, ist folgender Versuch.

Versuch 35: Das Erstarren von Wasser

Demonstrationsexperiment[30] nach *Wagner* [186]

Geräte: ACM II, PC, digitales Thermometer, Reagenzglas (14 x 130 mm), 2 500-mL-Plastikbecher (transparent), großer Mörser, großer Pistill, Tuch, Esslöffel, Glasstab, Pipette, 10 mL-Messzylinder, Stativ, 2 Klemmen, 2 Muffen, Holzspan

Chemikalien: Wasser, Eis, Natriumchlorid

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Man verbindet den ACM II mit dem PC und startet das Programm *AK Analytik 11*. Der Temperaturfühler wird angeschlossen und wie in Abb. 3.38 am Stativ eingespannt.

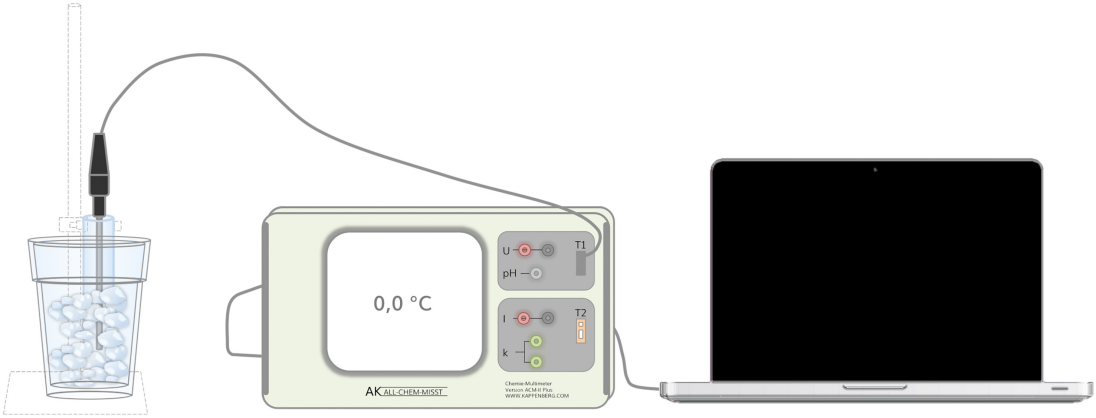


Abb. 3.38: Versuchsaufbau – Versuch 35

Zunächst muss das Programm *AK Analytik 11* über die Punkte *Schnell-Starter-Geräte-App*, *Temperaturmessung*, *Messdaten: Zeitintervall 0,1 s; Messungszeit 200 s; Temperaturbereich 30 °C bis -10 °C* zum Mess-Dialog geführt werden. In das Reagenzglas gibt man 10 mL Wasser und führt den Messfühler des Thermometers bis zum Anschlag in das Reagenzglas. Es werden nun 300 g gecrushtes Eis in die ineinander gestellten Plastikbecher gefüllt und 100 g Natriumchlorid hinzugegeben. Anschließend vermischt man das Eis mit dem Salz. Man startet die Temperatur-Zeit-Messung und taucht das Reagenzglas mit dem Thermofühler in der Kältemischung. Mit Hilfe des Holzspans wird das Wasser im Reagenzglas gerührt. Die Messung wird nach dem Gefrieren für noch etwa 30 s weitergeführt.

Beobachtungen: Die Temperatur des Wassers im Reagenzglas fällt innerhalb einer Minute auf etwa 0 °C. Wie in der Abb. 3.39 zu sehen ist, kommt es dann zu keiner Temperaturänderung für 150 Sekunden. Das Wasser beginnt zu gefrieren. Während des Gefrierens sinkt die Temperatur nicht weiter.

Wesentliche Lerninhalte: Wenn man Wasser abkühlt, dann gefriert das Wasser ganz zu Eis, wenn die Temperatur bei 0 °C ist. Währenddessen ändert sich die Temperatur nicht.

[30] Das Experiment ist auch als Schülerexperiment möglich, wenn man den All-Chem-Misst II (ACM II) und den PC durch ein Thermometer ersetzt und alle 5 s einen Temperaturwert aufnimmt.

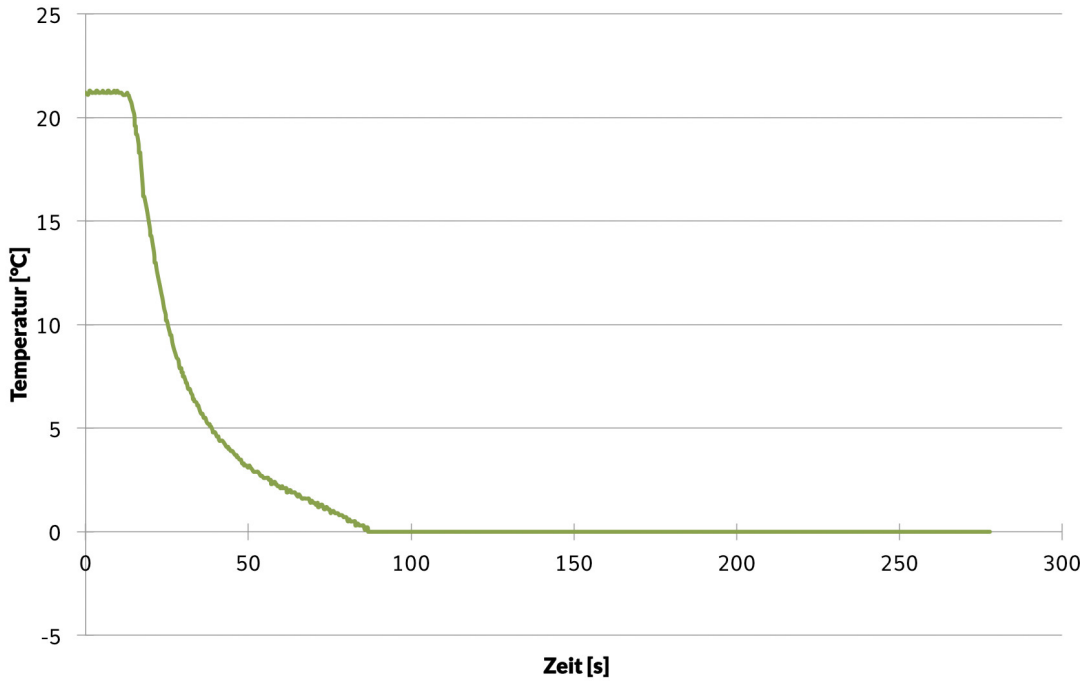


Abb. 3.39: Temperaturkurve aus den Messwerten beim Abkühlen von 10 mL Wasser

Didaktischer Hinweis: Mit Hilfe einer Kältemischung ist es möglich, den Schülern zu zeigen, dass die Temperatur von Eis unter 0°C sinken kann und die Temperatur nur beim Phasenübergang konstant bleibt.

Der Phasenübergang von einer Flüssigkeit zu einem Feststoff heißt Erstarren.

Fachliche Auswertung: Die von einem System während eines Phasenübergang aufgenommene oder abgegebene Wärme nennt man latente Wärme, weil diese nicht zu einer Temperaturänderung des Systems führt.

Ob sich Wasser als Medium für die Erarbeitung der Aggregatzustände eignet, wird in der Literatur viel diskutiert. Ausführlich ausgeführt hat dies unter anderem *Freiheit* [59, S.147], die Kerzenwachs als Alternative vorschlägt. Wachs hat den Vorteil, dass Farbe und sprachliche Bezeichnung zumindest beim festen und flüssigen Zustand gleich bleiben. Im Schulgarten begegnen die Schüler jedoch hauptsächlich den Phasenübergängen des Wassers. Aus diesem Grund erachtet es die Autorin als sinnvoll, weiterhin Wasser zur Erarbeitung der Aggregatzustände zu nutzen. Das Ziel der Experimentierreihe ist, dass die Schüler die drei Aggregatzustände des Wassers benennen und zuordnen können. Des Weiteren sollen sie Kenntnisse zu den Wärmeeffekten bei Phasenübergängen erwerben. Dazu sollen die Aggregatzustände des Wassers mit den Phasenübergängen schematisch wie in Abb. 3.40 dargestellt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, werden die Phasenübergänge zunächst schrittweise erarbeitet.

Im Folgenden soll noch einmal die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren betrachtet werden. Dafür kann der eben durchgeführte Versuch noch einmal auf ähnliche Weise durchgeführt werden.

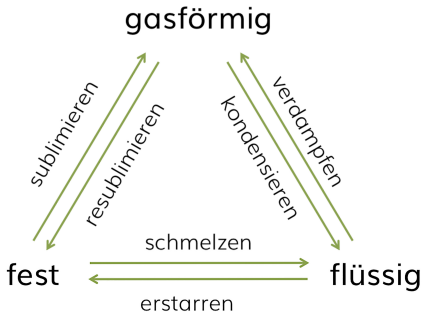


Abb. 3.40: Phasenübergänge

Versuch 36: Ausdehnung von Wasser beim Erstarren

Demonstrationsexperiment, Kurzbeschreibung (analog zu Versuch 35)

Geräte: Reagenzglas (14 x 130 mm), 2 500-mL-Plastikbecher (transparent), großer Mörser, großer Pistill, Tuch, Esslöffel, Waage (Genauigkeit: 0,1 g), Wägeschale, Glasstab, Pipette, 10 mL-Messzylinder, Stativ, Klemme, Muffe, wasserfester Stift

Chemikalien: Wasser, Eis, Natriumchlorid

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Wie in Versuch 35 werden 10 mL Wasser in das Reagenzglas gegeben und mit einem wasserfesten Stift wird die Füllhöhe markiert. Dann taucht man das Reagenzglas in die Kältemischung aus Eis und Natriumchlorid und fixiert es am Stativ. Die Kältemischung wird analog zu Versuch 35 mit Hilfe von Eis und Salz unter Verwendung des Mörsers gut vermengt. Ist das Wasser gefroren, entnimmt man das Reagenzglas aus der Kältemischung und vergleicht die Höhe des Eises mit der Füllhöhe des ursprünglich eingefüllten Wassers.

Beobachtungen: Die Füllhöhe des Eises liegt einige Millimeter über dem Füllstand des flüssigen Wassers.

Wesentliche Lerninhalte: Gefriert flüssiges Wasser zu Eis, dann nimmt dessen Volumen zu.

Das Wasser im Reagenzglas hat nach dem Erstarren ein größeres Volumen eingenommen als im flüssigen Zustand. Daraus könnten die Schüler schlussfolgern, dass sich alle Stoffe beim Erstarren ausdehnen. Um dieser Hypothese nachzugehen, sollten auch andere Flüssigkeiten aus dem Alltag überprüft werden.

Versuch 37: Erstarrung von Öl, Milch und Essig

Demonstrationsexperiment, Kurzbeschreibung (analog zu Versuch 36)

Chemikalien: Speiseöl, Milch, Essigessenz, [GHS02  , GHS05 ], Eis, Natriumchlorid

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Analog zu Versuch 36 wird mit Speiseöl, Milch und Essigessenz verfahren.

Beobachtungen: Wie auch Wasser nimmt feste Milch ein größeres Volumen ein als flüssige Milch. Das gilt auch für feste Essigessenz. Speiseöl dagegen nimmt im festen Aggregatzustand ein kleineres Volumen ein.

Wesentliche Lerninhalte: Milch und Essigessenz bestehen zu einem Großteil aus Wasser. Daher dehnen diese sich auch beim Erstarren aus. Öl dagegen ist wasserfrei und zeigt beim Erstarren daher ein anderes Verhalten.

Dass die Dichte eine Stoffeigenschaft ist, haben die Schüler bereits im ersten Abschnitt *'Gartenutensilien'* kennen gelernt; siehe hierzu Versuch 1 auf S. 86. Die Ausdehnung beim Erstarren von Wasser ist etwas 'Besonderes'. Diese wird auch als **Dichteanomalie des Wassers** bezeichnet. Bei den meisten Stoffen nimmt das Volumen beim Gefrieren ab, denn die Teilchen ordnen sich näher zusammen. Demzufolge steigt nach der Gl. 3.16 die Dichte der Stoffe. Bei Wasser verläuft das genau anders herum: Wasser dehnt sich aus. Das Volumen nimmt also zu, während die Masse konstant bleibt. Damit wird die Dichte kleiner. Aus diesem Grund hat festes Wasser also eine geringere Dichte als flüssiges Wasser. Überprüft werden kann diese Aussage von den Schülern, indem sie festes Wasser auf flüssiges geben. Durch die geringere Dichte 'schwimmt' das Eis auf dem Wasser.

Eis hat eine geringere Dichte als flüssiges Wasser und dehnt sich beim Erstarren aus. Diese besondere Eigenschaft von Wasser wird *Dichteanomalie* genannt.

Die Dichteanomalie des Wasser kennen die Schüler schon aus dem Alltag. An verschiedenen Beispielen können nun weitere Bezüge hergestellt werden. So haben die Schüler eventuell schon einmal selbst erlebt, dass Getränkeflaschen, die im Tiefkühlschrank vergessen wurden, geplatzt sind. Auch in der Natur macht sich diese Stoffeigenschaft von Wasser bemerkbar. Als *Frostsprengung* wird das natürliche Umflügen von Ackerfeldern im Winter bezeichnet. Auch hier dehnt sich das Wasser im Boden aus und sprengt die Bodenfläche auf [144, S.11 ff.]. Auch so kann 'neuer' Boden entstehen: Denn wenn Wasser in kleine Gesteinsspalten eindringt und dann im Winter gefriert, wird der Stein aufgesprengt. Dies kann solange ablaufen, bis der gesamte Stein in kleinste Mineralien zermörsert ist. Dieses Phänomen fordert auch jedes Jahr die Erneuerung zahlreicher Straßen: Dringt Wasser in den Asphalt ein, führt Frostsprengung zur Zerstörung der Straße, siehe auch Abb. 3.41. Die entstehenden Risse und Löcher müssen anschließend im Frühjahr wieder verschlossen werden.



Abb. 3.41: Frostsprengung bei Asphalt

Nachdem nun die beiden Aggregatzustände fest und flüssig, sowie der Phasenübergang des Erstarrens und die Dichteanomalie des Wassers erarbeitet wurden, soll nun die Reversiblität der Phasenübergänge betrachtet werden. Dazu eignen sich besonders eindrucksvoll das Verdampfen und Kondensieren sowie das Sublimieren und Resublimieren. Den Startpunkt für weitere Experimente bildet zunächst wieder das Wasser in Form von Eis.

Was geschieht mit dem Eis, wenn es erwärmt wird?

Versuch 38: Die Schmelz- und die Siedetemperatur von Wasser

Lehrerdemonstrationsexperiment nach *Collin* [187, S. 126]

Geräte: ACM II, PC, Temperaturfühler, 100-mL-Becherglas (breite Form), Mörser, Pistill, Tuch,

Heizplatte mit Rührfunktion, Rührfisch (2 cm), Stativ, Muffe, Klemme

Chemikalien: Eis

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Der PC wird mit dem ACM II verbunden und das Programm *AK Analytik 11* gestartet. Wie in der Abb. 3.42 wird der Temperaturfühler am Stativ eingespannt.

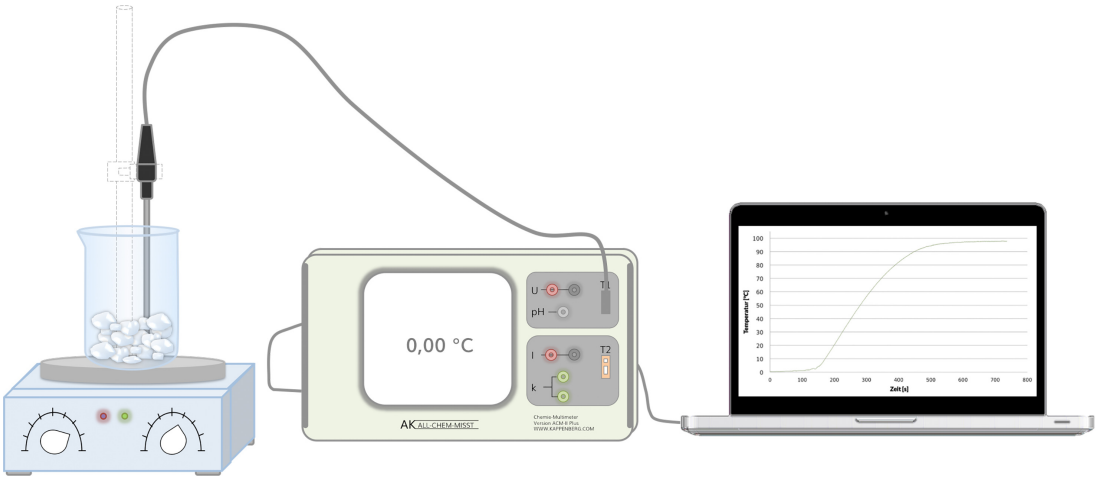


Abb. 3.42: Versuchsaufbau – Versuch 38

Man füllt das Becherglas zu etwa einem Drittel mit zerschlagenen Eis und taucht den Messfühler am Rand des Becherglases so tief ein, dass die Spitze nicht den Boden berührt. Die Heizplatte wird auf maximaler Leistung betrieben, während der Rührfisch kontinuierlich für eine gleichmäßige Durchmischung sorgt. Die Temperatur-Zeit-Messung wird gestartet und erst dann beendet, sobald die Temperatur eine Minute lang konstant geblieben ist.

Beobachtungen: Die Temperatur des Eises beträgt zu Beginn etwa 0 °C. Trotz anhaltender Wärmezufuhr bleibt die Temperatur noch eine Minute konstant, wobei das Eis langsam schmilzt, siehe Abb. 3.43. Anschließend beginnt die Temperatur des flüssigen Wassers zu steigen und bleibt dann bei etwa 100 °C konstant stehen, wobei im Wasser Blasen aufsteigen.

Wesentliche Lerninhalte: Eis beginnt bei 0 °C zu schmelzen und wird flüssig. Während des Phasenwechsels steigt die Temperatur nicht weiter an, denn die zugeführte Wärme wird genutzt, um den Phasenübergang zu ermöglichen. Anschließend steigt die Temperatur bis 100 °C an, das Wasser beginnt zu sieden und wird gasförmig. Findet gerade kein Phasenwechsel statt, führt eine konstante Wärmezufuhr zu einer kontinuierlichen Temperaturerhöhung.

Fachlicher Hintergrund: Wenn man Eis erwärmt, dann wird die zugeführte Wärme genutzt, um den Aggregatzustandswechsel zu realisieren. Daher steigt die Temperatur nicht weiter an. Dieser Punkt wird *Schmelzpunkt* genannt. Erst wenn das gesamte Eis zu flüssigem Wasser geschmolzen ist, führt die weitere Wärmezufuhr zu einer Temperaturerhöhung des Wassers. Bei 100 °C ist der *Siedepunkt* des Wassers erreicht. Auch hier führt die Wärmezufuhr nicht mehr zu einer Temperaturerhöhung, weil die zugeführte Energie für den Aggregatzustandwechsel benötigt wird.

Nachdem das Erstarren und Schmelzen experimentell untersucht wurde, wird klar: Phasenübergänge sind umkehrbar, man sagt auch reversibel.

Phasenübergänge sind reversibel, also umkehrbar. Bei einem Phasenübergang bleibt die Temperatur konstant.

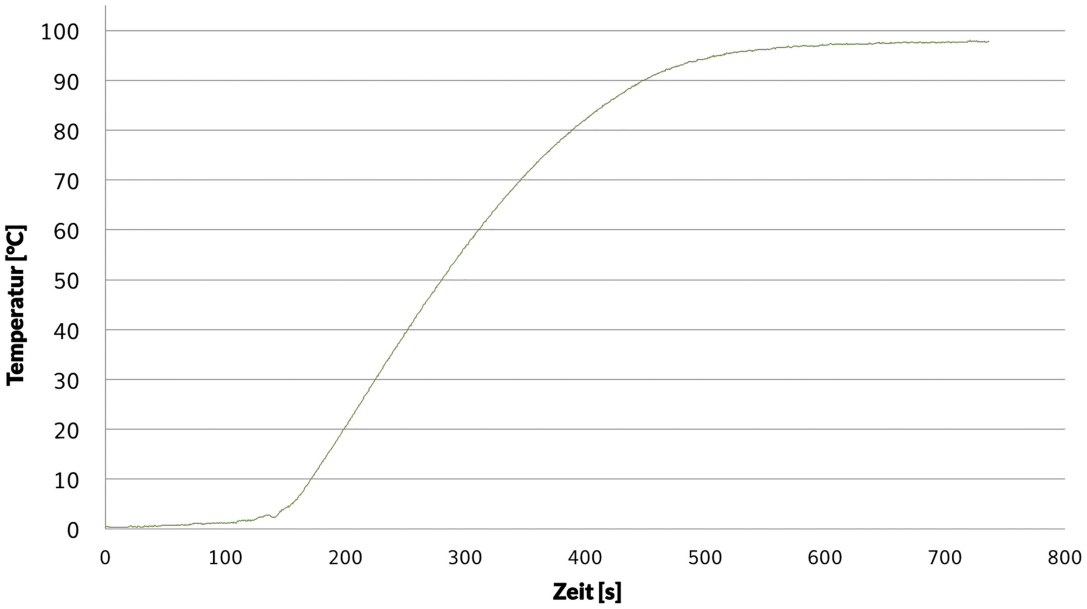


Abb. 3.43: Temperaturkurve aus den Messwerten beim Erhitzen von Eis zu Wasser und Wasserdampf

Die Reversibilität der Phasenübergänge kann nun auch noch beim Sieden/Kondensieren des Wassers bestätigt werden. Der gasförmige Aggregatzustand ist für Schüler zunächst schwer vorstellbar. Eventuell wissen einige Schüler bereits, dass das Wasser in die Gasphase übergeht, sich die Wassermoleküle also voneinander entfernen. Andere Schüler stellen sich eher vor, dass die Wassermoleküle zerstört werden. Diese Überlegungen leiten zum nächsten experimentellen Ansatz.

Was geschieht mit dem flüssigen Wasser, wenn es siedet?

Versuch 39: Kondensation von Wasserdampf

Schülerexperiment nach *Freiheit* [59, S. 170]

Geräte: Teelöffel, Teelicht, Feuerzeug, Objektträger

Chemikalien: Wasser

Durchführung: Man gibt etwas Wasser auf den Löffel und hält diesen in die Kerzenflamme hinein. Mit der anderen Hand hält man, wie in Abb. 3.44, in einem Abstand von etwa 2 cm den Objektträger über den Löffel.

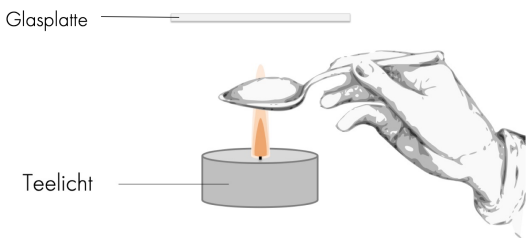


Abb. 3.44: Versuchsaufbau – Versuch 39

Beobachtungen: Hält man den Löffel mit dem Wasser in die Flamme, dann beschlägt nach wenigen Sekunden der dicht darüber gehaltene Objektträger.

Wesentliche Lerninhalte: Die Schüler lernen, dass das Wasser auf dem Löffel durch die Wärmezufuhr zu sieden beginnt, es gasförmig wird und Wasserdampf bildet. Dieser kühlt am Objektträger wieder ab und wird flüssig. Diesen Vorgang nennt man *Kondensation* und ist der entgegengesetzte Prozess zum Sieden.

Anhand der Versuchsbeobachtungen können die Schüler schlussfolgern, dass das verdampfende Wasser nicht verschwindet, sondern in die Gasphase übergeht. Sollte den Schülern die Vorstellung vom gasförmigen Wasser noch Schwierigkeiten bereiten, können weitere Vertiefungsexperimente durchgeführt werden. Ergänzende Experimente wie zum Beispiel 'Luft hat eine Masse', 'Gummibärchentaucher', 'Luft komprimieren' oder 'das Flaschenteufelchen' können in *Freiheit* [59], *Hellberg-Rode* [180], *Hagenmüller* [179], *Hubinger* [181], *Al-Shamery* [60] und *Jannig* [185] nachgeschlagen werden.

Nachdem die Schüler die Phasenübergänge zwischen fest und flüssig, sowie zwischen flüssig und gasförmig kennen gelernt haben, soll nun noch das Sublimieren und Resublimieren betrachtet werden. Alltagsnah ist die **Raureifbildung**, die in Abb. 3.45 dargestellt ist.



Abb. 3.45: Raureif

Anhand des Alltagsphänomens kann nun folgende Problemfrage aufgestellt werden: **Wie entsteht eigentlich Raureif?** Diese Raureifbildung kann durch den folgenden Versuch experimentell nachgestellt werden.

Versuch 40: Resublimation von Wasser

Schülerexperiment

Geräte: Reagenzglas (16 x 160 mm), Spatel, Reagenzglasklammer

Chemikalien: Trockeneis[31]

Durchführung: Mit dem Spatel gibt man zwei erbsengroße Portionen Trockeneis in das Reagenzglas.

Beobachtungen: Schon nach wenigen Sekunden beschlägt das Reagenzglas von außen weiß.

Wesentliche Lerninhalte: Trockeneis ist sehr kalt und führt dazu, dass sich das Reagenzglas stark abkühlt. Ist die Temperatur gering genug, dann resublimiert das Wasser aus der Umgebungsluft direkt an der Reagenzglaswand, es wird fest. Bezogen auf die Alltagswelt heißt das: Bei sehr niedrigen Temperaturen resublimiert gasförmiges Wasser aus der Luft an Bäumen, Grasflächen, aber auch an Fenstern. Diese Erscheinung nennt man Raureif. Neben dem Phasenübergang von gasförmig zu

[31] Die Darstellung von Trockeneis mit Hilfe eines Wassersprudlers kann beispielsweise in [133, S. 279 ff.] nachgelesen werden.

fest kann durch den Versuch auch die Sublimation von Trockeneis beobachtet werden. Damit eignet sich der Versuch in besonderem Maße für die schnelle Einführung dieser beiden Prozesse, weil beide entgegengesetzten Übergänge in einem Experiment beobachtet werden können[32]. Es kann definiert werden:

Der Phasenübergang zwischen gasförmig zu fest wird Resublimation genannt und ist reversible zur Sublimation.

Außerdem konnte gezeigt werden, dass nicht nur Wasser die verschiedenen Aggregatzustände wechseln kann, sondern auch andere Stoffe, wie in dem Beispiel das Kohlenstoffdioxid. An dieser Stelle ist es möglich noch weitere Stoffe zu untersuchen, wie beispielsweise die Sublimation/Resublimation von Iod, das Verdampfen/Kondensieren von Feuerzeuggas oder das Schmelzen/Erstarren von Butter. Durch diese Exemplarität können die Schüler nun das in Abb. 3.40 dargestellte Schema grafisch abstrahieren.

An dieser Stelle kann nun noch einmal verdeutlicht werden, dass in der Natur alle drei Aggregatzustände des Wassers vorkommen. Vom Eis an den Polen, dem flüssigen Wasser der Meere, Ozeane und Seen bis zu den Wolken: Überall ist Wasser, welches über den Wasserkreislauf miteinander verbunden ist und auch alles miteinander verbindet.

Zurück zum Schulgarten: Wird nasser Boden über einen längeren Zeitraum beobachtet, kann festgestellt werden, dass die oberen Erdschichten austrocknen. Folgende Problemfrage gestellt werden: *Was geschieht hier mit dem Wasser?* Durch Versuch 39 konnten die Schüler erkennen, dass Wasser durch Erwärmung als Wasserdampf aufsteigt, aber an kühleren Flächen wieder kondensiert. Der Prozess des Verdampfens findet unterhalb des Siedepunktes auch statt, wird hier allerdings Verdunsten genannt[33]. Wenn nun also klar ist, dass das Wasser aus dem Boden nicht verschwindet, sondern verdunstet, aufsteigt und Wolken bildet, die mit der Zeit das Wasser wieder als Regen in den Boden tragen, dann stellt sich die Frage, wie Pflanzen auch in längeren Trockenzeiten immer noch an Wasser gelangen können, obwohl die oberen Bodenschichten kein Wasser mehr enthalten.

Wie können Pflanzen auch in langen Trockenzeiten noch an Wasser gelangen?

Um dies zu beantworten, sollten der Pflanzenaufbau im Allgemeinen und der Wurzelaufbau im Speziellen behandelt werden. Die Wurzeln ragen, je nach Pflanzenart, tief in die Erde ein oder bleiben eher an der Erdoberfläche. Man unterscheidet daher sogenannte Tief- und Flachwurzler. Über die Wurzelhärchen nehmen die Pflanzen Wasser und Nährstoffe aus dem Boden auf und versorgen so die Pflanze. Flachwurzler benötigen viel Regenwasser, während Tiefwurzler auch in trockenen Gebieten überleben können, weil die Wurzelspritzen bis ans Grundwasser heranreichen. Doch wie gelangt Wasser aus dem Grundwasserbereich in die oberen Bodenschichten? Dies kann mit Hilfe des folgenden Versuchs untersucht werden.

Fachlicher Exkurs: Der Wassertransport im Boden beruht auf der Wirkung von Kapillarkräften. Dies sind Kräfte, die innerhalb einer Kapillare, also einer Röhre mit minimalem Durchmesser, wirken. Das heißt zwischen der inneren Wand und einer Flüssigkeit innerhalb der Kapillare. Hierbei wirken im Detail unterschiedliche Kräfte synergetisch. Die Anziehungskräfte unterschiedlicher Teilchen, in diesem Fall also die Anziehungskräfte zwischen den Teilchen des Wassers und den Teilchen der Kapillarwände, werden als Adhäsion bezeichnet. Die Anziehungskräfte zwischen gleichen Teilchen, in diesem Fall also die Anziehungskräfte zwischen den Teilchen Wasserteilchen, nennt man Kohäsion. Als Folge des Zusammenspiels dieser Kräfte kann eine Flüssigkeit entgegen der Gravitation nach

[32] Weitere Versuche mit Trockeneis sind von *Reinke* entwickelt worden [188].

[33] Für die modellhafte Verdeutlichung des Gesamtprozesses schlägt *Freiheit* einen möglichen Unterrichtsgang in [59, S. 179 ff.] vor.

oben steigen. Die Steighöhe wird dabei maßgeblich vom Durchmesser der Kapillare begrenzt: Je dünner das Rohr ist, desto höher steigt die Flüssigkeit. Außerdem gilt: Sind die Adhäsionskräfte stärker als die Kohäsionskräfte, dann steigt die Flüssigkeit an der Wand höher als in der Mitte der Flüssigkeitssäule (zum Beispiel bei Wasser). Sind die Kohäsionskräfte stärker, dann steigt die Mitte höher (zum Beispiel bei Quecksilber).

Das Aufsteigen des Wassers innerhalb des Bodens ist auf die Kapillarwirkung zurückzuführen. Dabei meint *Kapillarität* die molekularen Anziehungskräfte an der Grenzfläche zwischen einer Flüssigkeit und einem Feststoff. Je nachdem, ob die Adhäsionskräfte der Wand größer oder kleiner als die Kohäsionskräfte sind, bildet sich in Wandnähe ein konkaver oder ein konvexer Flüssigkeitsspiegel aus. Durch diese gekrümmte Fläche bildet sich eine Kraft, die als Kapillardruck bezeichnet wird und die Flüssigkeit nach oben drückt. Dies geschieht so lange, bis die intermolekularen Kräfte zwischen Wasser, Wandung und der Oberflächenspannung zwischen Wasser und Luft mit der Schwerkraft im Gleichgewicht stehen.

Die Schüler sollen nun schrittweise an diese Kapillarwirkung herangeführt werden. Dazu schlägt die Autorin vor, dass zunächst das Phänomen des Wassertransports im Boden beobachtet wird.

Versuch 41: Wassertransport im Boden

Schülerexperiment nach *Bergstedt* [137, S. 17]

Geräte: 2 30-mL-Spritzen, Spatellöffel, Kombi-Stopfen, Kristallisierschale (⌀ ∼ 14 cm), 100-mL-Becherglas, Watte, Stoppuhr, 3 mL Pipette

Chemikalien: Wasser, blaue Tinte, Sand, Gartenerde

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Die Stempel der 30-mL-Spritzen werden entfernt und die Spritzen mit dem Kombi-Stopfen verschlossen. Mit Hilfe des Spatellöffels werden die Bodenproben (empfehlenswert sind Sand und Gartenerde) in die Spritzen bis zur 30 mL Marke eingefüllt. Anschließend werden die Spritzen mit etwas Watte verschlossen, sodass die Bodenproben nicht raus fallen können. Die Spritzen werden mit der Stempelöffnung nach unten in die Kristallisierschale am Stativ eingehängt, wie in Abb. 3.46 dargestellt ist. Es werden 100 mL Wasser mit dem Becherglas abgemessen, 2 mL Tinte dazugegeben und das damit angefärbte Wasser in die Kristallisierschale gegossen. Die Kombi-Stopfen werden von den Spritzen entfernt. Nach 1, 2 und 5 Minuten wird der Wasserstand an den Spritzen abgelesen.

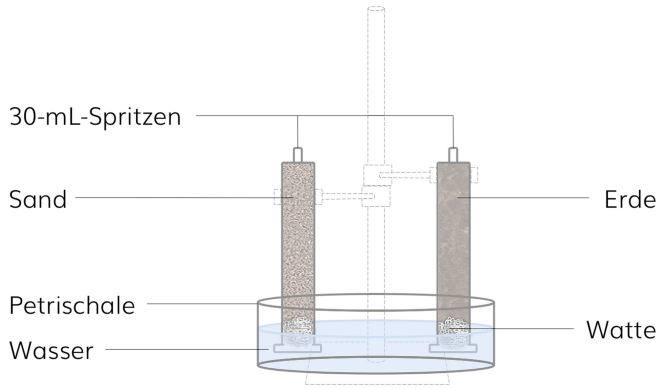


Abb. 3.46: Versuchsaufbau – Versuch 41

Beobachtungen: Die Watte zieht sich sehr schnell mit Wasser voll. Nachdem die Kombi-Stopfen entfernt wurden, rutscht der Boden in beiden Spritzen etwas in Richtung Watte. Nach 15 Sekunden ist zu erkennen, dass der Boden von unten Wasser aufnimmt und der Stand des nassen Bodens langsam aufwärts steigt. Dies geschieht je nach Bodenprobe unterschiedlichen schnell. Die Tab. 3.13 zeigt, dass der Wasserstand im Sand schneller höher steigt als bei der Gartenerde.

Wesentliche Lerninhalte: Beide Bodenproben leiten das Wasser von unten nach oben. Je nach

Bodenprobe	1 Minute	2 Minuten	5 Minuten
Sand	2 mL	5 mL	15 mL
Gartenerde	0,5 mL	2 mL	10 mL

Tab. 3.12: Aufsteigender Wasserspiegel verschiedener Bodenproben

Bodenart geschieht dies unterschiedlich schnell: So leitet Sand das Wasser viel schneller nach oben als die Erde des Gartenbodens. Dies wird möglich, weil die Rohre, in denen das Wasser nach oben transportiert wird, im Sand kleiner sind als in der Gartenerde.

Fachlicher Hintergrund: Neben der Kapillarität spielt noch ein weiterer Faktor im Boden eine Rolle. Gartenerde ist ein Bodengemisch aus Humusstoffen, Sand, Ton und Lehm. Strandsand beispielsweise besteht zum größten Teil aus Sand (Siliciumdioxid). Tonmineralien und Humusstoffe können von Wasserhüllen umgeben werden, wodurch sich Hydrathüllen um die Bodenteilchen bilden. Dieses Wasser ist somit an Teilchen gebunden. Ein zweiter wesentlicher Faktor ist die Porengröße: Je größer die Poren, desto geringer wirken sich Adhäsionskräfte aus und die Kohäsionskräfte dominieren. Daraus kann abgeleitet werden: Je kleiner die Bodenteilchen sind, desto größer ist die Gesamtoberfläche, an die sich Wasserteilchen anlagern können. Es gilt: Je kleiner der Durchmesser einer Kapillare ist, desto höher ist der Kapilliardruck, der der Schwerkraft gegenüber steht und desto höher ist die Steighöhe.

Um zu demonstrieren, wie zwischen kleinen Bodenteilchen Hohlräume entstehen, durch die das Wasser transportiert werden kann Dazu soll ein Modell gebaut werden. Dazu kann zunächst ein Rückblick erfolgen: Im Abschnitt *'Erste Bodenuntersuchungen'* haben die Schüler erfahren, dass der Boden aus unterschiedlichen Bodenarten zusammengesetzt ist. Diese unterscheiden sich in ihren Eigenschaften, wie zum Beispiel der Korngröße. Zusammen sind sie im Boden so sehr mit einander vermischt, dass nur Siebe unterschiedlicher Porengröße sie trennen konnte. Als Modell dafür wird nun ein Honigglas mit Murmeln verschiedener Größe gefüllt. Die Schüler erkennen so, dass zwischen den großen Teilchen ein größerer, erkennbarer Freiraum bleibt, die durch kleinere Murmeln gefüllt werden. Da die Murmeln rund sind, bleibt dennoch ein Freiraum zwischen den Teilchen, wie in der Abb.3.47 zu erkennen ist. Diese Freiräume kommen auch im Boden vor und werden Poren genannt.



Abb. 3.47: Modell zur Porengröße – Murmeln in einem Glas

In vielen Bereichen analog dazu ist der Aufbau eines Schwammes, der zwar augenscheinlich nur aus einer Sorte von Teilchen besteht. Ein Schwamm ist dennoch ähnlich von Poren durchzogen. Analog zum Boden unterscheiden sich die verschiedenen Schwammarten in der Größe und Anzahl

der Poren. Ein Naturschwamm beispielsweise hat sehr große Poren, ein Tafelschwamm hingegen sehr kleine. Nun können, analog zum Versuch 41, verschiedene Schwämme auf die Weiterleitung des Wassers geprüft werden, umso Rückschlüsse zur Wasserleitung im Boden zu ziehen.

Versuch 42: Wassertransport in einem Schwamm

Schülerexperiment

Geräte: Kristallisierschale (⌀ ∼ 14 cm), 100-mL-Becherglas, Stoppuhr, 3 mL Pipette , 2 Schwämme unterschiedlicher Porengröße (z.B. Naturschwamm und Tafelschwamm)

Chemikalien: Wasser, blaue Tinte

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Zwei Schwämme werden zunächst einmal unter Wasser gehalten und komplett befeuchtet. Anschließend werden sie ordentlich ausgedrückt, sodass nur noch Restfeuchte im Schwamm enthalten ist. Die Schwämme werden wie in Abb. 3.48 in die Kristallisierschale gestellt. Es werden 100 mL Wasser mit dem Becherglas abgemessen, 2 mL Tinte dazugegeben und das gefärbte Wasser in die Kristallisierschale gegeben. Nach 1, 2 und 5 Minuten wird der Wasseraufstieg mit einem Lineal gemessen.

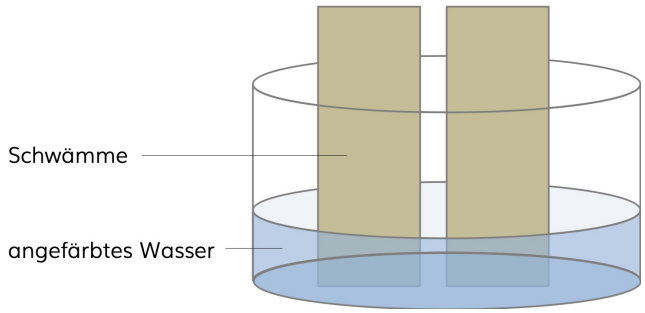


Abb. 3.48: Versuchsaufbau – Versuch 42

Beobachtungen: Beide Schwämme ziehen augenscheinlich Wasser nach oben. Beim Schwamm mit den größeren Poren geht es zunächst sehr schnell, jedoch steigt das Wasser vergleichsweise weniger hoch. In dem Schwamm mit den kleineren Poren dauert der Aufstieg etwas länger, jedoch erreicht das Wasser hier eine größere Höhe.

Wesentliche Lerninhalte: Da der Schwamm als Modell für die Weiterleitung im Boden steht, kann geschlussfolgert werden, dass die Wasserleitung 1. umso schneller verläuft, je größer die Poren sind, aber 2. umso mehr Wasser nach oben transportiert werden kann, je kleiner die Poren sind.

Experimentelle Anmerkung: Das vorherige Befeuchten der Schwämme dient der Stabilität der Schwämme in der Kritsallisierschale, sodass die Schwämme nicht durch den hohen Luftanteil weg treiben, sondern stehen bleiben. Zudem wird so verhindert, dass die Geschwindigkeit des Wassertransports über eine geringere oder höhere Affinität des Schwammes, Wasser zu binden, artikuliert wird.

Durch Kapillaren kann Boden also Wasser transportieren. Daher können Pflanzen auch längere Trockenperioden überleben, auch wenn die oberen Bodenschichten schon ausgetrocknet sind. Aber wie lange schafft das der Gartenboden? Oder anders: **Wie viel Wasser kann Boden speichern?**

Versuch 43: Boden als Wasserspeicher

Schülerexperiment

Geräte: 100-mL-Spritze, 2 100-mL-Messzylinder, Spatellöffel, Watte, Klemme, Muffe, Stativ **oder** Magnettafelsystem,

Chemikalien: Gartenboden, Sand, Wasser, Gartenboden, Sand

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Der Stempel aus der 100-mL-Spritze wird entfernt. Um ein Herausfallen der Bodenproben zu verhindern, wird mit etwas Watte die Spritzenöffnung abgedeckt. Anschließend wird darauf die Bodenprobe bis zur 50 mL Marke gefüllt. Die Spritze wird mit der Spritzenspitze nach unten in ein Stativ eingespannt. Unter die Öffnung wird ein 100-mL-Messzylinder gestellt, wie in Abb. 3.49 gezeigt ist. Der andere Messzylinder wird mit 100 mL Wasser gefüllt. Diese Menge Wasser wird dann langsam auf die Bodenprobe gegeben. Am unten stehenden Messzylinder kann das Volumen des durchfließenden Wassers abgelesen werden. Dieser Vorgang wird mit dem filtrierten Wasser dreimal je Bodenprobe wiederholt.

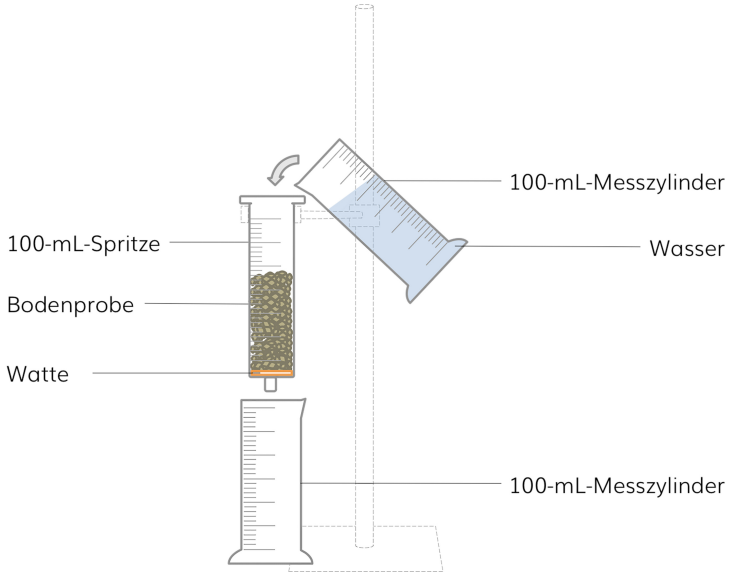


Abb. 3.49: Versuchsaufbau – Versuch 44

Beobachtungen: Das Wasser fließt langsam durch den Boden und tropft unten in den Messzylinder. Mit bloßem Auge ist zu erkennen, dass die Durchflussgeschwindigkeit stark variiert. Je nach Bodenprobe fließt unterschiedlich viel Wasser durch die Probe. In Tab. 3.13 sind die Messwerte mehrerer Reihen angegeben. Die Messwerte der Sandprobe zeigen, dass die Menge an durchfließenden Wasser in den drei Durchgängen die Gleiche ist.

Bodenprobe	Restwasser 1. Durchgang	Restwasser 2. Durchgang	Restwasser 3. Durchgang
Sand	77 mL	76 mL	77 mL
Gartenboden	75 mL	73 mL	71 mL

Tab. 3.13: Aufsteigender Wasserspiegel verschiedener Bodenproben

Wesentliche Lerninhalte: Gartenerde kann mehr Wasser speichern als Sand. Sand nimmt dagegen so schnell Wasser auf, dass die mögliche Aufnahmemenge schon nach einem Durchgang erreicht wird. Insgesamt können 50 mL Sand 23 mL Wasser aufnehmen. 50 mL Gartenboden nehmen dagegen etwa 29 mL Wasser auf, also mehr als Sand. Das heißt, dass die Bodenart maßgeblichen Einfluss was den Wasserhaushalt der Pflanzen hat.

Fachlicher Hintergrund: Gartenerde ist ein Bodengemisch und besteht aus Humusstoffen, Sand, Ton und Lehm. Sand besteht zum größten Teil aus Siliciumdioxid. Tonminerale und Humusstoffe können von Wasserhüllen umgeben werden, Wasser wird also aktiv gebunden. Ein weiterer Punkt, der einen Einfluss auf die aufgenommene Wassermenge hat, sind die Poren, die luftgefüllten Räume zwischen den Teilchen. Je größer die Poren sind, desto mehr Wasser kann in diesen gespeichert werden. Dabei wird die Luft aus den Poren verdrängt.

Im folgenden Unterrichtsverlauf soll nun auf den letzten Punkt in diesem Abschnitt hingeführt werden. Somit wird eine Überleitung vom Thema Wasser zum Thema Luft benötigt. Zum Ende einer Einheit ist eine Wiederholung, Vernetzung und Vertiefung didaktisch sehr wertvoll.

Zusammenfassend heißt das, dass sich die Bodenarten bezüglich ihres Verhaltens zum Wasser unterscheiden. Jedoch ist ein Punkt bei allen gleich: Sie alle nehmen Wasser auf. Sie unterscheiden sich nur in der Menge und der Geschwindigkeit der Wasseraufnahme. Dieses Aufnahmevermögen korreliert mit den Bodenporen, ähnlich wie bei einem Schwamm. Nun kann zusammen mit den Schülern erörtert werden, was sich in den Bodenporen befindet, wenn diese nicht Wasser gefüllt sind. Folgende Frage ist das Ziel: **Wie viel Luft befindet sich im Boden?**

Versuch 44: Wie viel Luft ist im Boden?

Schülerexperiment

Geräte: 100-mL-Spritze, Kombi-Stopfen, 2 30-mL-Spritzen, Drei-Wege-Hahn, 50-mL-Becherglas, Esslöffel, Stativ, 3 Muffen, 3 Klemmen **oder** Magnettafelsystem

Chemikalien: Wasser, Sand, Gartenerde

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Der Stempel der 100-mL-Spritze wird entfernt und mit dem Drei-Wege-Hahn verbunden. Nun wird mit dem Esslöffel bis zur 30-mL-Marke Boden eingefüllt (Sand oder Gartenerde). Anschließend wird der Stempel der Spritze wieder eingeführt und der Boden so weit komprimiert, dass kein zusätzliches Luftvolumen übersteht. Die 100-mL-Spritze wird mit dem Stempel nach unten an einem Stativ eingespannt, siehe Abb. 3.50.

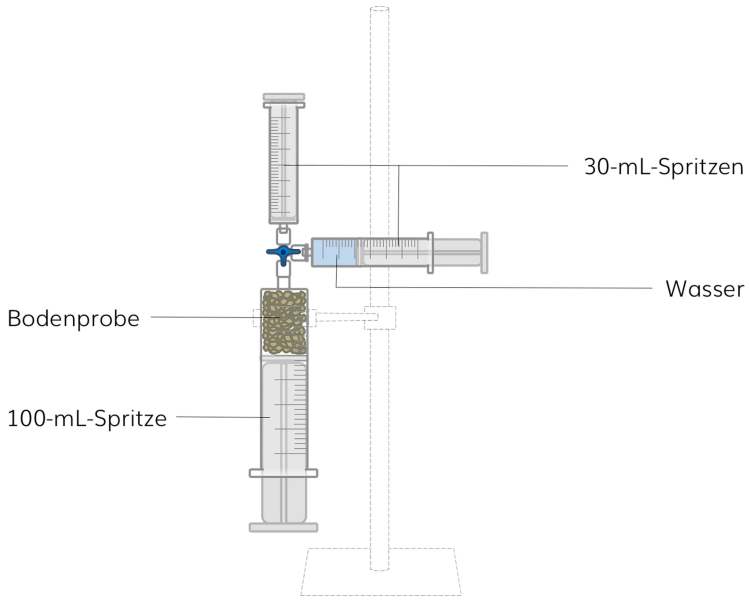


Abb. 3.50: Versuchsaufbau – Versuch 45

Die 30-mL-Spritze wird mit Wasser gefüllt und an dem seitlichen Ansatz des Drei-Wege-Hahn montiert. Auf den verbleibenden Anschluss wird eine leere 30-mL-Spritze aufgesetzt. Der Drei-Wege-Hahn wird so eingestellt, dass die 100-mL-Spritze und die wassergefüllte 30-mL-Spritze in Verbindung stehen. Nun wird das Wasser aus der 30-mL-Spritze auf den Boden in der 100- mL-Spritze gegeben. Nun kann der Anschluss des Drei-Wege-Hahns so umgestellt werden, dass nur die 100-mL-Spritze mit der leeren 30-mL-Spritze in Verbindung steht. Der Stempel der leeren Spritze ist

eventuell leicht nach oben mitzuführen, während der Stempel der 100-mL-Spritze soweit eingeführt wird, bis kein Luftvolumen mehr in der 100-mL-Spritze erkennbar ist. Anschließend wird das Volumen in der 30-mL-Spritze abgelesen.

Beobachtungen: Bei der Zugabe des Wassers von der 30-mL-Spritze in die 100-mL-Spritze drückt sich der Stempel der 100-mL-Spritze nach unten. Nachdem alles Wasser überführt wurde, ist zu erkennen, dass das Wasser von oben durch den Boden sickert und dieser nass wird, wobei Blasen zwischen den Bodenpartikeln nach oben steigen und dort durch das Wasser an die Oberfläche geraten. Nach etwa 5 Minuten sind drei Phasen innerhalb der 100-mL-Spritze zu erkennen; der nasse Boden, darüber Wasser und oben ein mit Gas gefüllter Raum. Das Volumen der 100-mL-Spritze hat sich von 30 mL auf 60 mL vergrößert. Dieses Gas kann von der 100 mL Spritze in die trockene 30-mL-Spritze überführt werden. In der Tab. 3.14 sind die Ergebnisse der gewählten Bodenproben gegeneinander eingetragen.

Bodenprobe	V 100 mL Spritze	Gasvolumen
Sand	49 mL	11 mL
Gartenerde	45 mL	15 mL

Tab. 3.14: Luftvolumen in verschiedenen Bodenproben

Wesentliche Lerninhalte: Böden sind ein 3-Phasensystem aus festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen. Zwischen den festen Bestandteilen bilden sich kleine Poren - ähnlich wie in einem Schwamm. In diesen Poren befindet sich Luft. Diese Luft kann durch das Wasser verdrängt werden. Im Gartenboden ist mehr Luft in den Bodenporen enthalten, als im Sand.

Fachlicher Hintergrund: Durch die Zugabe des Wassers zur Bodenprobe vergrößert sich zunächst das Gesamtvolumen in der 100-mL-Spritze. Alle Böden bilden jeweils ein Hohlraumsystem aus festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen, das sich je nach Bodenart unterscheidet. Die flüssigen und gasförmigen Bestandteile im Boden werden in den Bodenporen zwischen den festen Bodenbestandteilen gespeichert. Bei getrockneten Bodenprobe sind der flüssige Anteil im Boden verdampft und die Poren sind mit nahezu ausschließlich Gas (also Luft) gefüllt. Nach und nach nimmt der Boden das neu hinzugegebene Wasser auf und die Luft aus dem Bodenporen wird verdrängt. Diese steigt nach oben. Wenn alle Bodenporen mit Wasser gefüllt sind, bleibt das Restvolumen an Wasser oberhalb des Bodens. Darüber setzt sich die Luft ab, da sie eine kleinere Dichte hat. Die Luft kann über den 3-Wege-Hahn in die 30 mL Spritze überführt und weiter untersucht werden.

Didaktische Anmerkung: Besonders leistungsstarke Schüler können aus dem extrahierten Luftvolumen nach folgender Formel das Luftvolumen im Boden in % ausrechnen.

$$V(Luft) = V(Probe) + V(Wasser) - V(Gesamt) \tag{3.13}$$

$$V(Bodenporen) = \frac{V(Luft)}{V(Erde)} \cdot 100\% \tag{3.14}$$

$$V(Bodenporen) = \frac{15mL(Luft)}{30mL(Erde)} \cdot 100\% = \underline{50\%} \tag{3.15}$$

In den Poren des Bodens befindet sich also Luft, die für Bodenlebewesen und Pflanzen von essentieller Bedeutung ist. Daher soll diese im Folgenden genauer untersucht werden. Die im Boden befindliche Luft wurde im oben beschrieben Versuch durch das Aufsteigen der Blasen sichtbar. Dabei handelte es sich um einen Verdrängungsprozess. Luft ist also leichter als Wasser und steigt daher nach oben; oder anders: Luft hat eine geringe Dichte als Wasser.

Würde man nun die im Versuch protokollierten 30 mL Luft in der Spritze komprimieren, dann würde das mit etwas Kraftaufwand funktionieren. Lässt man die Schüler nun 30 mL Wasser in einer Spritze komprimieren, wird schnell klar: Gase sind nicht Nichts, was SChüler oftmals denken, sie lassen

sich im Gegensatz zu Flüssigkeiten aber komprimieren. Nun soll die Masse der Luft experimentell bestimmt werden[34].

Versuch 45: Bestimmung der Masse von Luft

Schülerexperiment nach *Lange* [191, S. 18]

Geräte: 250-mL-Becherglas, Waage (Genauigkeit: 0,001 g), 100-mL-Spritze, Kombi-Stopfen , Brenner, Feuerzeug, Nagel

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Vorbereitung: Der Stempel der Spritze wird auf genau 100 mL ausgezogen und der im Brenner stark erwärmte Nagel so durch den ausgezogenen Stempel geschoben, dass der Stempel bei der 100-mL-Marke fixiert wird und dadurch nicht weiter nach innen geschoben werden kann.

Durchführung: Die Spritze wird mit einem Kombi-Stopfen verschlossen, der Stempel bis zur 100-mL-Marke herausgezogen und anschließend mit dem Nagel fixiert. Das Becherglas wird auf die Waage gestellt, die Waage tariert und die leere Spritze gewogen. Die Masse wird notiert. Nun werden der Nagel und der Stopfen entfernt, die Spritze mit 100 mL Luft befüllt und anschließend werden Nagel und Stopfen wieder angebracht. Die Spritze wird abermals gewogen. Die Messung wird dreimal wiederholt. Aus der Differenz der leeren Masse und der gefüllten Spritze kann die Masse der Luft berechnet werden.

Beobachtungen: Die Messwerte sind in der folgenden Tabelle zusammengetragen.

	Leermasse	100 mL Luft	Differenz	Dichte
1. Durchgang	66,016 g	66,130 g	0,114 g	0,00114 $\frac{g}{cm^3}$
2. Durchgang	66,017 g	66,128 g	0,111 g	0,00111 $\frac{g}{cm^3}$
3. Durchgang	66,015 g	66,128 g	0,113 g	0,00113 $\frac{g}{cm^3}$

Tab. 3.15: Messwerte – Versuch 45

Wesentliche Lerninhalte: Die Schüler erkennen, dass auch die Luft eine Masse hat.

Mögliche Ergänzung Obgleich der Schwerpunkt des Experimentes auf der Einsicht liegt, dass unsichtbare Luft aus Gasen besteht, die, wie bekannte Feststoffe ein Gewicht haben, kann ergänzend noch die Dichte von den Schülern ermittelt werden. Die Berechnung haben die Schüler bereits beim Versuch 1 auf der Seite 86 vorgenommen. Bei dem beschriebenen Versuch zur Luftmasse kann aus dem ermittelten Gewicht und dem Volumen die Dichte berechnet werden. Der Literaturwert bei 20°C für die Dichte von Luft liegt bei 0,0012 $\frac{g}{cm^3}$. Siehe dazu Gl. 3.16.

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{3.16}$$

Fachlicher Hinweis: Die Leermasse der Spritze wird auf die beschriebene Weise gewogen, weil sich das Volumen der Spritze durch das Ausziehen vergrößert und damit auch der Auftrieb. Da die Waage nur die Gewichtskraft misst, führt ein Missachten dieser Vorschrift zu abweichenden Ergebnissen.

Die Analyse der Rahmenpläne (siehe S. 39 ff.) des integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht hat ergeben, dass die *Zusammensetzung der Luft* ein verbindliches Thema in der Orientierungsstufe ist. Die genaue Luftzusammensetzung dabei experimentell zu ermitteln, ist in den Augen der Autorin nicht notwendig, sondern obliegt dem Fachunterricht[35]. Da dafür wenigsten Kenntnisse

[34] Verschiedene Versuchsvorschriften dazu sind in [59, 183, 189, 190] umfassend beschrieben.

[35] Um die Luftzusammensetzung experimentell zu bestimmen, wird Eisenwolle in einem Verbrennungsrohr

zu chemischen Reaktionen und einem einfachen Teilchenmodell notwendig werden, wird an dieser Stelle darauf verzichtet. Gibt man stattdessen vor, dass Luft ein Gasgemisch aus Sauerstoff, Stickstoff, Edelgasen und Kohlenstoffdioxid ist, dann lassen sich einfache Reaktionen mit diesen Gasen durchführen. Die genaue verhältnismäßige Zusammensetzung der Gasanteile ist laut Rahmenplan [51], [52], [44] erst in der achten Jahrgangsstufe vorgesehen.

Versuch 46: Brennverhalten in unterschiedlichen Gasen

Schülerexperiment nach *Lange* [191, S. 18]

Geräte: 3 500-mL-Bechergläser, 3 Uhrengläser zum Abdecken (⌀ ∼ 10 cm), Verbrennungslöffel, Pyramidenkerze, Feuerzeug

Chemikalien: Kohlenstoffdioxid [GHS04 ], Sauerstoff [GHS03  , GHS04 ], Stickstoff [GHS04 ]

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Die drei Bechergläser werden jeweils mit Sauerstoff, Stickstoff oder Kohlenstoffdioxid gefüllt und anschließend mit einem Uhrenglas abgedeckt. Nun wird eine angezündete Kerze, die sich auf einem Verbrennungslöffel befindet, in das mit Sauerstoff gefüllte Becherglas gehalten, siehe Abb. 3.51. Dazu wird das Uhrenglas etwas beiseite geschoben. Es wird analog mit den beiden anderen Gasen verfahren und beobachtet, wie sich die Kerzenflamme verändert.

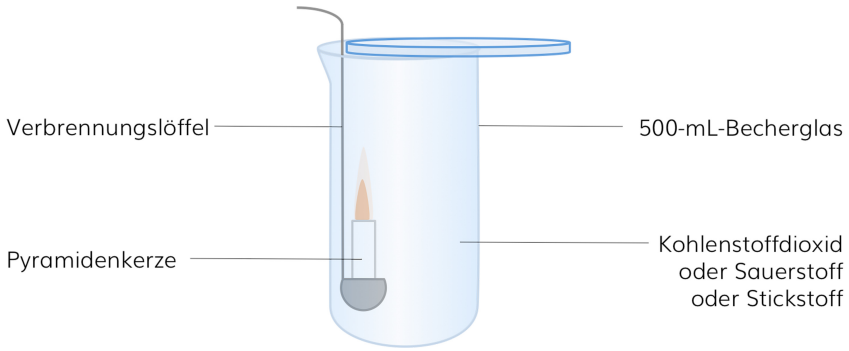


Abb. 3.51: Versuchsaufbau – Versuch 46

Beobachtungen: Die Flamme der Kerze ist an der Luft etwa 3 cm groß und wird sehr viel größer, sobald die Kerze in das mit Sauerstoff gefüllte Becherglas gehalten wird. In Stickstoff beziehungsweise in Kohlenstoffdioxid erlischt die Kerzenflamme.

Wesentliche Lerninhalte: Für die Verbrennung einer Kerze ist anscheinend Sauerstoff nötig. Denn in reinem Sauerstoff brennt die Kerze deutlich heller und wärmer als in normaler Umgebungsluft. Ist kein Sauerstoff vorhanden, dann erlischt die Flamme.

Die Schüler können somit Sauerstoff von den anderen beiden Gasen unterscheiden, da nur Sauerstoff die Flamme unterhält, während bei Stickstoff und Kohlenstoffdioxid die Kerzenflamme ersticken. Kohlenstoffdioxid und die Nachweismethoden haben die Schüler im Abschnitt 'Erste Bodenuntersuchungen' bei dem Versuch 13 auf der Seite 113 untersucht. Zusammenfassend heißt das:

verbrannt. Aus der Volumendifferenz lassen sich die Sauerstoff- und Stickstoffanteile in der Luft prozentual ableiten.

Sauerstoff unterhält Verbrennungen, Stickstoff erstickt Verbrennungen, Kohlenstoffdioxid erstickt Verbrennungen und trübt Kalkwasser weiß.

Durch diesen Abschnitt konnten erste wichtige Eigenschaften des Wassers und der Luft experimentell erarbeitet werden. Dazu wurden an vielen Stellen sinnvolle Bezüge zum Schulgarten hergestellt.

3.5 Lagerfeuer

Der Schwerpunkt dieses Abschnitts liegt im Themenkomplex *Feuer und Verbrennungen*, der hier unter dem Titel *Lagerfeuer* geführt wird. Spielerisch, vor allem aber experimentell, sollen die Schüler an erste Verbrennungsreaktionen herangeführt werden. Der Schulgarten bietet dazu zum einen eine Fläche und zum anderen natürliche Brennstoffe. Zum anderen soll das **Branddreieck** erarbeitet (siehe Abb. 3.52) und das dadurch resultierende Verhalten beim Umgang mit brennbaren Stoffen abgeleitet werden.

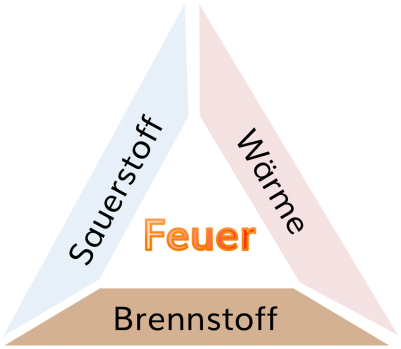


Abb. 3.52: Branddreieck

Der Fokus liegt hierbei auf der Untersuchung der folgenden Merkmale von Verbrennungsreaktionen: Brennstoff, Zerteilungsgrad, Sauerstoff, Aggregatzustände brennbarer Stoffe, Gefahrstoffsymbole von Brennstoffen, Brandschutz, energetische Betrachtungen.

Neben diesen soll außerdem die Verbrennungsreaktion als erste chemische Reaktion erkannt werden. Dabei sollen die Schüler die Merkmale einer chemischen Reaktionen ermitteln und beschreiben. Auf diese Weise legt der NaWi-Unterricht erste wichtige Grundsteine für den weiteren Fachunterricht, bei dem die chemische Reaktionen, sowohl auf Teilchenebene als auch im Hinblick auf energetische Erscheinungen weiter differenziert wird[36]. Denn die Lerninhalte "chemischen Reaktionenünd "Verbrennungen", sowie die genannten Brandmerkmale spielen vor allem im Chemieanfangsunterricht eine bedeutende Rolle und gehören zum bewährten 'roten Faden' durch die Chemie. Dies wird unter anderem durch die Auflistung der Themenschwerpunkte belegt, die einerseits in den Rahmenplänen für NaWi aufgeführt sind (siehe Tab. 1.9 auf S. 37). Andererseits greifen das Themenfeld 'Feuer' auch aktuelle Lehrbücher auf, wie beispielsweise *Netzwerk Naturwissenschaften* [124, S. 362 ff.] und *Natur und Technik* [125, S. 336]. Einzelne Institutionen haben Themenmappen für die Themen 'Feuer' und 'chemische Reaktionen' für die Klassenstufen 5 und 6 herausgebracht, wie beispielsweise das Landesinstitut für Schule und Weiterbildung in Nordrhein-Westfalen innerhalb des Konzepts FUN [192], die Chemieverbände Baden Würtemberg veröffentlichten eine Themenmappe zu 'Feuer und Luft – so macht Chemie Spaß' [193], 'Netzwerk Lernen' entwickelte zu den Themen 'Feuer und Flamme' inklusives Arbeitsmaterial für heterogene Lerngruppen [194], das Staatsinstitut für Schulpädagogik München erarbeitete einen Lernzirkel zum Thema Feuer [195], das Hessische Kultusministerium die Handreichung zum Lernbereich Naturwissenschaften [196, S.44 ff.]

Einstieg und Motivation: Aufgrund der Faszination und den weitreichenden Bezügen zur Alltagswelt motiviert der Themenkomplex 'Feuer und Verbrennungen' die meisten Schüler. Die Herausforderung liegt dabei darin, den Schülern zu zeigen, welche chemischen Reaktionen dahinter stecken. Denn zunächst kommen die Schüler mit teilweise vorgefertigten Vorstellen und Präkonzepten zum Thema Feuer in den Unterricht, die in [59, S.230 ff.] umfassend dargelegt sind. Aus diesem Grund wurden Kontexte gesucht, die Schüler in Staunen und Verwunderung versetzen und einen Aha!-Effekt bewirken.

[36] Man denke an die Begriffe exotherm und endotherm.

Die Schüler lernen Brandbedingungen, Brandschutz und die Verbrennung als chemische Reaktion kennen.

Der Schulgarten ist bisher für die Schüler ein Arbeits- und Lernort gewesen. Nun beginnt der Teil der Schulgartenarbeit, der die meisten Schüler erfreuen wird. Denn es soll auch darum gehen, zusammen ein Feuer zu machen, sowie Stockbrote und Würstchen über dem Feuer zu grillen. Über verschiedene Experimente sollen die Schüler Ängste vor Feuer und vor Bränden verlieren und am Ende in der Lage sein, ein Lagerfeier zu organisieren und ein gesundes Verantwortungsbewusstsein aufzubauen.

Vorwissen: An die Vorkenntnisse der bisherigen Abschnitte *Gartenutensilien* und *Bodenklima* wird nun angeknüpft. Die Schüler können daher schon die drei Aggregatzustände klassifizieren, die Merkmale dieser und die Übergänge zwischen ihnen mit dem einfache Teilchenmodell beschreiben. Sie können Phasenübergänge anhand ausgewählter Beispiele erläutern und können die Zusammensetzung der Luft wiedergeben.

Wie die Rahmenlehrplananalyse des Sachkundeunterrichts zeigt, wird in einigen Bundesländern schon in der Grundschule auf *Feuer/Verbrennungen* sowie *Luft und ihre Eigenschaften*, *Wasser und seine Eigenschaften* eingegangen, siehe Tab. 1.6 auf S. 29. Es ist daher davon auszugehen, dass ein Teil der Schüler schon über Vorwissen verfügt.

Weiteres Vorgehen: Um organisatorisch auf den Themenkomplex Feuer überzuleiten, kann ein gemeinsamer Nachmittag oder Abend organisiert werden. Alle Schüler werden aufgefordert, bei der Planung mitzuwirken. Das Ziel soll ein gemeinsames Lagerfeuer im Schulgarten sein und es gilt, folgende Frage zu beantworten: **Was brauchen wir für ein Lagerfeuer?**

Vermutlich haben viele Schüler schon einmal ein Feuer gesehen oder sogar selbst eines gemacht. Daher können wenigsten die folgenden Schülerantworten erwartet werden:

- ein geeigneter Platz
- Holz, Späne, Laub, Papier oder Pappe
- Anzünder, z.B. Spiritus oder Brennwürfel
- Feuerzeug oder Streichhölzer
- etwas zum Löschen von Feuer

Wenn unter Beachtung von ersten Sicherheitsregeln klar ist, wo das Lagerfeuer gemacht werden kann, können nun erste Untersuchungen dazu durchgeführt werden, welche Stoffe sich als Brennstoffe eignen. Diese sollen sich die Schüler in die Lage versetzen, experimentell zwischen brennbaren und nicht brennbaren Stoffe zu unterscheiden.

Versuch 47: Welche Stoffe sind brennbar?

Schülerversuch

Geräte: Teelicht, Feuerzeug, feuerfeste Unterlage, Tiegelzange

Proben: Frischer Ast (Holzstock), getrocknetes Holzstück, Laub, Stein, Metallschüssel, Papier

Durchführung: Man entzündet das Teelicht und hält abwechselnd mit der Tiegelzange verschiedene Proben in die Flamme.

Beobachtungen: In der Kerzenflamme lassen sich das getrocknete Holzstück, Laub und Papier entzünden. Der Ast wird zwar schwarz in der Flamme, aber er lässt sich nur sehr schwer entzünden. Der Stein und die Metallschüssel lassen sich in der Flamme nicht entzünden.

Wesentliche Lerninhalte: Im Feuer des Teelichts lassen sich das getrocknete Holzstück, das Laub und das Papier entzünden: Sie fangen mit gelb-orangener Flamme an zu brennen und setzen dabei Wärme frei. Stoffe, die sich entzünden lassen und während der Verbrennung Wärme freisetzen werden auch als Brennstoffe bezeichnet. Diese können wie folgt definiert werden.

Ein Brennstoff ist ein Stoff, bei dessen Verbrennung Wärme frei wird.[37]

Die Metallschüssel und der Stein lassen sich nicht in der Kerzenflamme entzünden, sind damit nicht brennbar und werden daher auch nicht zu den Brennstoffen gezählt.

Didaktische Anmerkung: Die gewählten Proben sind allesamt Stoffe, die bei einem typischen Lagerfeuer vorkommen: Vom frischen Ast, den man häufig zum Aufspießen von Wurst oder Brot nutzt, über getrocknete Holzstücke, Laub und Papier zum Entzünden des Feuers bis hin zu Steinen, die meist um das Feuer gelegt werden und einer Metallschüssel, die beispielsweise genutzt wird, um Suppen über dem Feuer warm zu halten.

Ob ein Stoff brennbar ist, beziehungsweise wie heftig eine Verbrennung abläuft, ist von weiteren Faktoren abhängig. Einen ganz besonders großen Einfluss auf die Entzündlichkeit und die Schnelligkeit einer Verbrennung hat der Zerteilungsgrad. Dieser kann beispielsweise durch die Oxidation von Eisen mit Luftsauerstoff gezeigt werden. So kann *pyrophores Eisen* ohne die zusätzliche Zufuhr von Aktivierungsenergie bei Raumtemperatur direkt mit Luftsauerstoff reagieren. Die Reaktion von Eisenwolle mit Sauerstoff dagegen muss bei Raumtemperatur durch die Zufuhr von Wärme aktiviert werden. Anschließend brennt sie weiter. Ein Eisennagel allerdings oxidiert in einer heißen Flamme nur oberflächlich. Er reagiert anschließend nicht von selbst weiter. Dieser Zusammenhang lässt sich jedoch nicht nur am Beispiel des Eisens demonstrieren. Auch Holz eignet sich dafür, wie durch die folgenden zwei Versuche gezeigt wird.

Versuch 48: Der Zerteilungsgrad am Beispiel von Holz und Holzwolle

Schülerexperiment

Geräte: Feuerfeste Unterlage (Eisenschale oder Aluminium-Folie), Kerze, Feuerzeug

Chemikalien: Stück Holz, Holzwolle

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Nacheinander werden zuerst das Holzstück und dann die Holzwolle in die Kerze gehalten.

Beobachtungen: Holzwolle lässt sich sehr schnell in einer Kerzenflamme entzünden. Daraufhin beginnt diese zu verbrennen und ein grauer Feststoff bleibt zurück. Das Stück Holz dagegen lässt sich in einer Kerzenflamme nur schwierig entzünden.

Wesentliche Lerninhalte: Die Schüler lernen, dass Holz ein Brennstoff ist, der sich umso leichter entzünden lässt, je größer der Zerteilungsgrad ist. Ein Holzstück, dessen Fasern stark verdichtet sind, lässt sich daher schlecht entzünden. Bei Holzwolle liegen sogenannte Holzwollefäden vor, die mit Hilfe eines Hobels aus einem Holzstück gewonnen werden. Wie gut ein Stoff brennbar ist, hängt also auch vom Zerteilungsgrad ab, der wie folgt definiert werden kann.

Der Zerteilungsgrad ist eine Größe, die das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen angibt.

Die Schüler haben somit gesehen, dass sich die Holzwolle schneller und leichter entzünden lässt als das Holzstück. Noch feiner verteilt als Holzwolle ist Holzmehl, dessen Reaktion noch heftiger verläuft.

Versuch 49: Der Zerteilungsgrad am Beispiel von Holzmehl

Lehrerdemonstrationsexperiment

Geräte: Silikonschlauch ($\varnothing \sim 1$ cm, l = 2 m), Durchsichtiger Behälter mit Deckel und Einleitungsrohr, Luftpumpe, Porzellantiegel ($\varnothing \sim 3$ cm), Teelöffel, kleine Kerze, Feuerzeug

Chemikalien: Holzmehl, Glaswolle

Durchführung: Wie in der Abb. 3.53 gezeigt ist, wird die Luftpumpe über einen langen Schlauch mit dem durchsichtigen Behälter verbunden. In den Porzellantiegel wird etwas Glaswolle gegeben und zwei Teelöffel Holzmehl darauf verteilt. Die Kerze wird entzündet und der Deckel des Behälters locker aufgelegt. Anschließend wird ein kräftiger Luftstoß in den Behälter gepumpt.

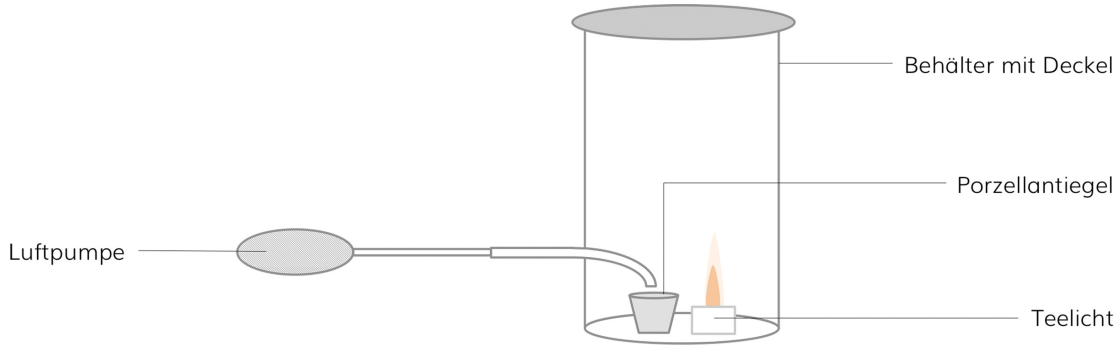


Abb. 3.53: Versuchsaufbau – Versuch 49

Beobachtungen: Der Luftstoß verwirbelt das Holzmehl, das sich direkt an der Kerze entzündet. Eine Stichflamme wird sichtbar und der Deckel fliegt vom Behälter.

Wesentliche Lerninhalte: Die Verbrennung von fein verteiltem Holz in Form von Holzmehl verläuft deutlich schneller und heftiger als die Verbrennung von Holzwolle. Damit lässt sich Holz zwar generell verbrennen. Die Entzündung ist jedoch umso leichter und die Verbrennung umso heftiger, je feiner verteilt das Holz vorliegt.

Didaktische Anmerkung: Der Zusammenhang kann anhand eines groben Teilchenmodells erklärt werden. Beim Holzstück liegen die Holzteilchen[38] eng aneinander. Die Sauerstoffteilchen kommen nur an die äußeren Holzteilchen. Beim Holzmehl kann vereinfacht werden, dass jeder Krümmel Holz ein Holzteilchen ist und dieses von Luft umgeben ist. Bei der Holzwolle sind die Holzteilchen in einer Reihe angeordnet, und werden somit von zwei Seiten von der Luft umgeben. Die Schüler können also schlussfolgern, dass das Verhältnis zwischen Luft und Zerteilung entscheidend ist.

Als **vertiefendes Experiment** unter Einbeziehung der Aggregatzustände kann folgende Versuchsreihe untersucht werden. Unter der Fragestellung 'Was brennt in der Kerzeflamme?' wurde von *Lange* ein Stoffparcour entwickelt, der die Schüler durch kleinschrittige Experimente darauf lenkt, dass es der gasförmige Kerzenwachsdampf ist, der bei einer Kerze verbrennt. Dieser bietet sich an eben dieser Stelle an [191, S. 8 ff.]: Aus dem undifferenzierten Teilchenmodell kennen die Schüler bereits, dass die Teilchen im gasförmigen Zustand einen größeren Abstand zu einander haben als im flüssigen und festen Zustand. Als Transportmittel für das flüssige Wachs dient der Docht[39].

Die Schüler haben in den Experimenten erkannt, dass sich manche Stoffe nur schwer entzünden lassen. Um einen gelungenen Übergang zu schaffen, kann der Blick zum Grillen geworfen werden. Dabei kommen in der Regel Grillbriketts zum Einsatz. Diese lassen sich ebenso nur schwer ent-

[38] Es wird im folgenden didaktisch reduziert von Holzteilchen gesprochen, da Holz ein Stoffgemisch aus verschiedenen Stoffen ist.

[39] Die Prozesse innerhalb des Dochts sind den Schülern aus Versuch 41 auf der S. 155 bereits bekannt.

zünden. Die Schüler können nun motiviert werden, indem sie befragt werden, wie ihre Eltern den Grill entzünden und wieso oftmals ein Grillanzünder verwendet werden muss. Anschließend könnten alle bekannten Grillanzünder gesammelt werden. Mögliche Antworten wären: Spiritus, Zündwürfel, Anzündscheiben, Anzündwolle, Brennpaste, Lampenöl, Ethanol.

Auf den Internetseiten von Bauhäusern *Bauhaus* [198] können die Schüler Informationen über diverse Grillanzünder sammeln. Über die Sicherheitsdatenblätter können sie anschließend den Hauptbestandteil der Grillanzünder bestimmen. Das sind in der Regel Ethanol, Petroleum, n-Alkane und gewachste Holzwolle. Holzwolle haben die Schüler in den vorherigen Versuchen bereits untersucht. Sie wissen also, dass der Zerteilungsgrad der Holzwolle zur Brandbeschleunigung führt. Im folgenden Versuch soll daher die Brennbarkeit verschiedener Flüssigkeiten getestet werden. Auf fachlicher Sicht wird dabei der unterschiedliche Flammpunkt ausgenutzt und getestet, welche Flüssigkeit sich allein mit einem brennenden Holzspan entzünden lässt[40].

Versuch 50: Brennbarkeit von Grillanzündern und anderen Flüssigkeiten

Schülerexperiment nach *Freiheit* [59, S. 243 ff.]

Geräte: metallener Kaffeelöffel, Teelicht, Feuerzeug, Holzspan, feuerfeste Unterlage, feuerfeste Abdeckmöglichkeit (z.B. Metalldeckel)

Chemikalien: Leitungswasser, Feuerzeugbenzin [GHS02, GHS07, GHS08, GHS09], Spiritus [GHS02, GHS07], Lampenöl [GHS02]

Durchführung: Der Kaffeelöffel wird jeweils halbvoll mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt. Mit einem brennenden Holzspan wird getestet, ob sich die Flüssigkeit entzünden lässt. Dazu führt man den Span langsam immer näher an die Flüssigkeitsoberfläche heran. Sollte keine Entzündung eintreten, ist zu prüfen, ob sich die Flüssigkeit entzünden lässt, wenn man den Kaffeelöffel mit der Flüssigkeit über eine Kerzenflamme hält, siehe Abb. 3.54. Die Flamme im Kaffeelöffel kann durch Abdecken mit einem Metalldeckel sicher gelöscht werden. **Achtung:** Nicht Auspusten!

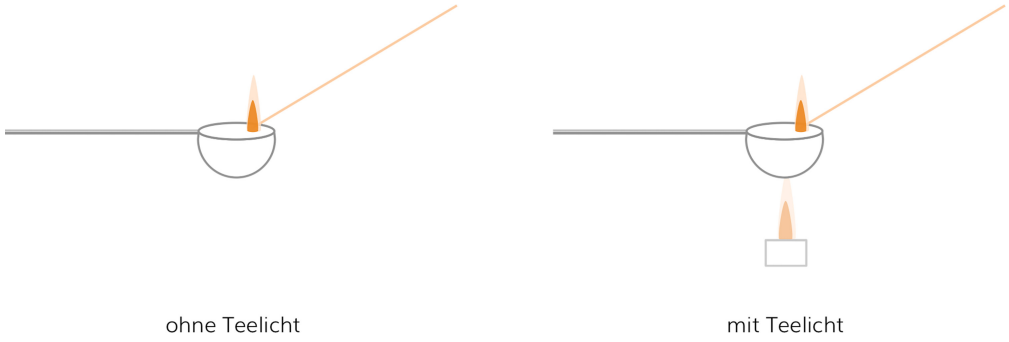


Abb. 3.54: Versuchsaufbau – Brennbarkeit von Grillanzündern

Beobachtungen: Sowohl das Feuerzeugbenzin als auch der Spiritus lassen mit Hilfe des brennenden Holzspans entzünden. Sie brennen mit hellgelber Flamme. Lampenöl dagegen lässt sich erst entzünden, wenn man es einige Sekunden lang über der Kerzenflamme erwärmt hat und sichtbare Dämpfe aufgestiegen sind. Wasser lässt sich gänzlich nicht entzünden.

Wesentliche Lerninhalte: Feuerzeugbenzin und Spiritus sind brennbare Stoffe. Die Schüler wissen bereits aus dem Stoffparcour zur Kerze, dass Gase stets brennen. Die beiden ersten Stoffe bilden bei Raumtemperatur also Gase, die sich leicht mit Hilfe eines brennenden Holzspans entzünden lassen. Lampenöl dagegen bildet bei Raumtemperatur zu wenig Gas. Es lässt sich daher erst entzünden, wenn man es erhitzt, wodurch die Menge an gasförmigen Lampenöl zunimmt. Wasser ist ein nicht brennbarer Stoff.

[40] (Der Flammpunkt eines Stoffs gibt an, bei welcher Temperatur sich der über einer Flüssigkeit befindliche Dampf derart angereichert hat, dass er sich entzünden lässt.

Die Schüler haben in dem Versuch gesehen, dass es auch Flüssigkeiten gibt, die brennbar sind, während andere Flüssigkeiten nur im gasförmigen Zustand brennen können. Diese Beobachtungen können von besonders leistungsstarken Schülern gegebenenfalls auch auf Teilchenebene betrachtet werden. Hiermit haben die Schüler den Punkt des Brennstoffes noch einmal wiederholt und durch brennbare Flüssigkeiten vervollständigt.

Die Schüler kennen nun die erste Seite des Branddreiecks, siehe Abb. 3.52, kennen gelernt, und zwar den Brennstoff und seine Verknüpfung zum Zerteilungsgrad. Nun fehlen noch die zweite und dritte Seite des Dreiecks, wie zum Einen die **Wärme** (auch Entzündungstemperatur). Daher sollen zunächst unterschiedliche Entzündungsarten untersucht werden. Ziel ist es, den Schülern zu verdeutlichen, dass Stoffe nicht nur mit einem Streichholz angezündet werden können. So kann ein Einstieg über folgende Fragestellung geführt werden: **Welche Möglichkeiten kennt ihr, um ein Lagerfeuer zu entzünden?** Die Schüler werden zunächst auf die beiden gängigen Mittel 'Streichholz' und 'Feuerzeug' schließen. Aus diesem Grund bietet es sich an, die beiden Möglichkeiten genauer zu untersuchen. Dafür wird das Streichholz zunächst genauer betrachtet. Es besteht aus einem Kopf und einen Holzstiel. Die gängige Variante ihn zu entzünden ist die Reibung des Kopfes an der Packung.

Nun soll der Fokus zusätzlich auf Alternativen gelegt werden[41]. Dieser Sprung kann beispielsweise gelingen, indem der Annahme gefolgt wird, dass im Schulgarten weder Streichhölzer noch Feuerzeug vorhanden sind. So kann folgende Problemfrage gestellt werden:

> Womit kann ich ein Feuer ohne Feuerzeug oder Streichhölzer entzünden?

Auf Youtube können zahlreiche Videos zum Entzünden von Feuer gefunden werden, unter anderem wie mit einer Lupe Feuer gemacht wird oder sogar mit Eis, dass die Form einer Linse hat [199]. Dies ist besonders faszinierend, da die Schüler Eis als festen Zustand des Wassers kennen gelernt haben, welches sich bei 0 °C bildet. Das Eis dennoch aufgrund der durchsichtige Eigenschaft Holz entzünden kann, in dem das Licht gebrochen und gebündelt wird, führt zum Interesse der Schüler. An dieser Stelle können im Unterrichtsverlauf auf die Lichtbrechung und die Linsenwirkung, welche in den Rahmenplänen der integrativen Naturwissenschaften im Themenschwerpunkt Sonne und Licht siehe S. 37 gefordert wird, aus physikalischer Ebene betrachtet werden.

Versuch 51: Entzündungsmöglichkeiten eines Streichholzkopfes

Schülerexperiment nach *Freiheit* [59, S. 251 ff.]

Geräte: Streichhölzer, Teelichtschale, Stein, Lupe, Teelicht, Feuerzeug, feuerfeste Unterlage

Durchführung:

A – Reibung
Ein Streichholz wird an der Reibefläche schnell gerieben, wobei darauf zu achten ist, dass die Bewegung vom eigenen Körper weg geht.

B – Wärme[42]
Ein Streichholzkopf wird auf eine dreifach zusammengefaltetes Aluminiumfolie oder eine leere Teelichtschale gelegt und wie in der Abb. 3.55 in die Kerzenflamme gehalten.

[41] Die Schüler können nun selbstständig ihre Kenntnisse und Erfahrungen aus beispielsweise Filmen mit einbringen. Hierzu ist es auch möglich Filmausschnitte mit einzubeziehen und zu analysieren, ob die gezeigte Variante überhaupt ein Entzünden im Realen ermöglicht. Als Beispiele können hier folgende Filmszenen zur Rate gezogen werden: Die Tribute von Panem - Catching Fire, in der Szene beim Trainingslager in der 59:58 ein Feuer mittels einem Holzstock durch Reibung erzeugt wird.

[42] Dass zur Entzündung nicht nur Reibungswärme sondern auch lediglich Wärmestrahlung genügt, kann auch demonstriert werden, in dem man ein Streichholz über einen Toaster hält.



Abb. 3.55: Versuchsaufbau – Versuch 51

C – Licht
Man geht ins Freie und legt ein Streichholz auf einen Stein. Mit Hilfe einer Lupe bündelt man das Sonnenlicht direkt auf den Streichholzkopf.

Beobachtungen: Bei allen drei Varianten entzündet sich der Streichholzkopf und das Streichholz brennt anschließend weiter.

Wesentliche Lerninhalte: Streichhölzer werden meist genutzt, um einen Brennstoff zu entzünden. Selbstverständlich sind Streichhölzer auch Brennstoffe. Aufgrund ihrer Beschaffenheit lassen sie sich besonders leicht entzünden und das sogar auf verschiedene Weisen. So kann durch *Variante A* zunächst auf die Reibung eingegangen werden, die am Streichholzkopf selbst zu einem starken Temperaturanstieg führt. Demzufolge ist die Reibungswärme die auslösende Entzündungsenergie. In *Variante B* wird auf die Abwärme einer Kerze eingegangen und in *Variante C* wandelt sich gebündeltes Sonnenlicht am Streichholzkopf in Wärme um. Als Schlussfolgerung können die Schüler erkennen, dass bei allen Entzündungsmöglichkeiten die Wärme der ausschlaggebende Faktor ist.

Fachlicher Hintergrund: Die Spitze von Streichhölzern besteht in der Regel aus einer Zündmasse, die zu 50-60 % aus Kaliumchlorat besteht. Außerdem wird Schwefel hinzugegeben, um das Brennverhalten zu verbessern. Als Reibemittel kommen Kieselgur oder Kreide hinzu, die mit Dextrin, Leim oder Gelatine als Bindemittel fixiert werden [200]. Auf der Reibefläche wird neben Glasmehl auch roter Phosphor angebracht. Das mechanische Reiben führt dann dazu, dass das Kaliumchlorat mit Phosphor zu Kaliumchlorid und Phosphoroxiden reagiert. Siehe dazu Gl. 3.17.

$$3\,P_{(s)} + 10\,KCLO_{3(l)} \longrightarrow 10\,KCl_{(s)} + 3\,P_4O_{10(s)} \tag{3.17}$$

Streichhölzer können außer durch Reibungswärme auch durch Wärmezufuhr entzündet werden. Die dafür erforderliche Entzündungstemperatur des Streichholzkopfes beträgt in etwa 160 °C [201, S. 98].

Weiteres Vorgehen: Nachdem die Schüler die Wärme als limitierenden Faktor kennen gelernt haben, kann im folgenden die genaue Entzündungstemperatur bestimmt werden.

Versuch 52: Entzündungstemperatur eines Streichholzkopfes

Demonstrationsexperiment nach *Rossow* [201, S.44]

Geräte: Reagenzglas (18 x 180 mm), Einstichthermometer, Eisendraht, Brenner, Feuerzeug, Stativ, Klemme, Muffe

Chemikalien: Streichholz

Entsorgung: GE A (Restmüll: fest oder flüssig/gelöst)

Durchführung: Mit Hilfe des Drahtes wird das Streichholz am Thermometer befestigt. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass der Streichholzkopf das Ende des Thermometers nicht berührt, sondern etwa einen halben Zentimeter davon entfernt ist. Die Versuchsapparatur ist in Abb. 3.56 dargestellt.
Das Reagenzglas wird nun von außen mit einer entleuchteten Brennerflamme erhitzt. Sobald sich

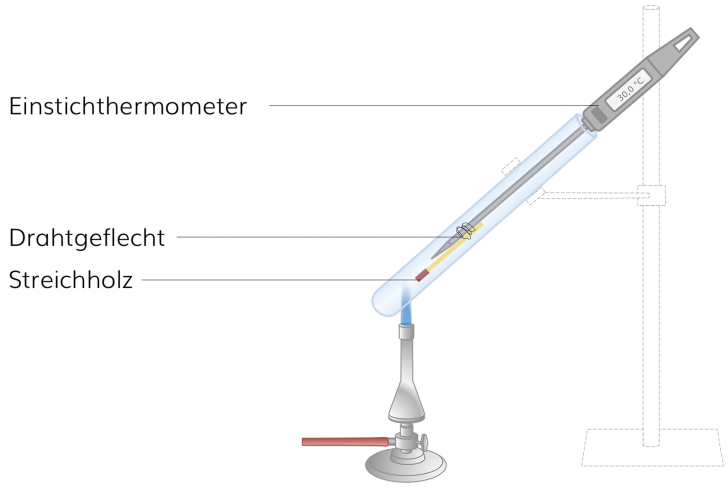


Abb. 3.56: Versuchsaufbau – Versuch 51

das Streichholz entzündet, ist die Temperatur am Thermometer abzulesen.

Beobachtungen: Der Streichholzkopf entzündet sich durchschnittlich bei einer Temperatur von 160 °C.

Wesentliche Lerninhalte: Damit sich der Streichholzkopf entzündet, muss eine bestimmte Temperatur, die Entzündungstemperatur, erreicht werden. Beim Streichholzkopf liegt diese bei 160 °C. Es soll geschlussfolgert werden, dass alle Brennstoffe eine spezifische Entzündungstemperatur brauchen. Sie definieren die zweite Seite des Branddreicks wie folgt:

Jeder Brennstoff hat eine spezifische Entzündungstemperatur.

Didaktischer Hinweis: Besonders beeindruckend für die Schüler ist die Möglichkeit einen Streichholzkopf mit heißem Wasserdampf zu entzünden. Eine Beschreibung dazu findet man in [133, S. 139].

Weiteres Vorgehen: In der heutigen Zeit ist den Schülern das Feuerzeug sehr viel eher bekannt als ein Streichholz. Dabei ist den meisten klar, dass sich in einem Feuerzeug eine Flüssigkeit befindet, die man als Feuerzeuggas bezeichnet, aber:

Wieso heißt es Feuerzeuggas, wenn doch eine Flüssigkeit vorliegt?

Um dieser Frage auf den Grund zu gehen, ist es nötig das Feuerzeuggas selbst zu untersuchen. Dazu entwickelte *Collin* eine Reihe von Experimenten, die an dieser Stelle aufgegriffen werden.

Versuch 53: Untersuchung von Feuerzeuggas

Schülerexperiment nach *Collin* [187]

Geräte: Reagenzglas (18 x 180 mm), passender durchbohrter Stopfen mit Glasrohr, Reagenzglas (30 x 200 mm) mit passendem Stopfen, 100-mL-Kolbenprober, Reagenzglasklemme, Reagenzglasständer, Teelicht, Feuerzeug, Adapter aus der Feuerzeuggasflasche, Silikonschlauch ($\varnothing \sim 1$ cm, l = 5 cm), Silikonschlauch ($\varnothing \sim 1$ cm, l = 15 cm), gewinkelte Metallrinne (l = 15 cm), Stativ, Muffe, Klemme

Chemikalien: Feuerzeuggas [GHS02  , GHS04 ]

Durchführung:

A – Umfüllen
In dem Deckel von Feuerzeuggas befinden sich kleine Adapter, die aus dem Deckel gelöst werden können. Auf die Spritze der Feuerzeuggasflasche setzt man den mitgelieferten Adapter auf und befestigt so den kurzen Silikonschlauch auf der Flasche. Die Gaskartusche wird mit der Öffnung nach unten senkrecht gehalten.. Durch Drücken des Adapters füllt man das Feuerzeuggas etwa 1 cm hoch in das Reagenzglas (18 x 180 mm) um.

B – Verdampfen
Auf das Reagenzglas setzt man den passenden durchbohrter Stopfen, durch den ein Glasrohr geschoben wurde. Der Kolbenprober wird am Stativ eingespannt und mit Hilfe des langen Silikonschlauchs über das Glasrohr mit dem Reagenzglas verbunden. Bei geöffnetem Hahn bewegt sich der Stempel des Kolbenprobers. Dieser wird dann geschlossen, sobald 100 mL aufgenommen wurden. Das aufgenommene Gas wird für den experimentellen Teil D aufbewahrt.

C – Verbrennen
Nachdem der Stopfen vom Reagenzglas entfernt worden ist, entzündet man mit dem Feuerzeug das aufsteigende Gas an der Öffnung des Reagenzglases. Durch leichtes Schwenken des Reagenzglases oder durch vorsichtiges Erwärmen des Reagenzglases mit der Hand lässt sich die Flammengröße verändern.

D – Fernzündung
Das Feuerzeuggas im Kolbenprober wird in das Reagenzglas (30 x 200 mm) überführt und dieses zunächst wird mit einem Stopfen verschlossen. Wie in der Abb. 3.57 soll das Feuerzeuggas nun die Metallrinne langsam herunter gegossen werden. Dabei ist darauf zu achten, dass es möglichst keine Luftbewegungen im Raum gibt. Am unteren Ende steht ein brennendes Teelicht.

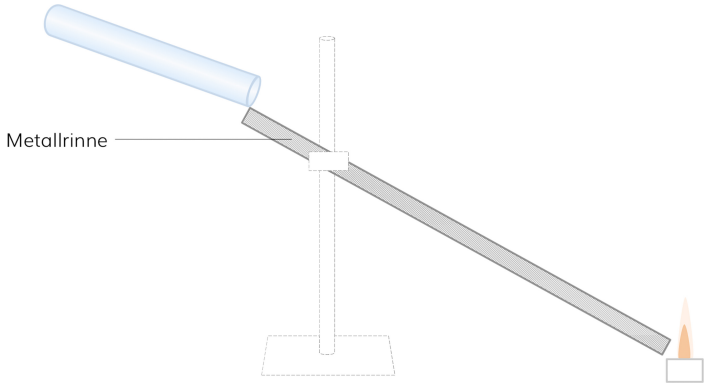


Abb. 3.57: Versuchsaufbau – Versuch 53

Beobachtungen:

A – Umfüllen
Drückt man den Auslass der Flasche, dann lässt sich eine farblose Flüssigkeit in das Reagenzglas überführen.

B – Verdampfen
Verbindet man das Reagenzglas mit einem Kolbenprober, dann bewegt sich der Stempel.

C – Verbrennen
Hält man ein Feuerzeug an die Öffnung des Reagenzglases, dann entsteht eine Flamme, die nicht in das Reagenzglas hinein wandert. Diese wird größer, wenn man das Reagenzglas schwenkt oder mit der Hand erwärmt.

D – Fernzündung
Gießt man das Feuerzeuggas in die Metallrinne, dann entsteht wenige Sekunden danach eine Flamme, die die Metallrinne nach oben wandert.

Wesentliche Lerninhalte:

A – Umfüllen
In Feuerzeuggas-Flaschen ist offensichtlich nicht nur ein Gas enthalten. Es handelt sich vielmehr auch um eine farblose Flüssigkeit. Das Gas wird unter großem Druck in den Gaskartuschen eingefüllt. Durch diesen Druck liegt das Gas im flüssigen Aggregatzustand vor.

B – Verdampfen
Die farblose Flüssigkeit verdampft sehr schnell. Deshalb kann schon nach wenigen Sekunden ein Gasvolumen von 100 mL mit Hilfe eines Kolbenprobers aufgenommen werden. Weil die farblose Flüssigkeit sehr schnell verdampfen kann, wird diese auch als Flüssiggas bezeichnet.

C – Verbrennen
Feuerzeuggas ist brennbar und lässt sich leicht entzünden. Weil der Wechsel vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand schneller abläuft, wenn man das Reagenzglas schwenkt oder erwärmt, nimmt die Flammengröße zu, weil mehr Feuerzeuggas zur Verfügung steht.

D – Fernzündung
Feuerzeuggas ist schwerer als Luft. Gießt man es am Reagenzglas in die Metallrinne, dann sinkt es nach unten und wird an der Flamme des Teelichts entzündet. Da sich zum Zeitpunkt des Entzündens noch Feuerzeuggas in der Rinne befindet, wandert die Flamme nach oben, bis das Feuerzeuggas verbrannt ist.

Anmerkung: An dieser Stelle kann auch das Teilchenmodell erneut zur Rate gezogen werden und die Auswertung auch noch auf dieser Ebene erfolgen.

Nachdem die Schüler nun die beiden gängigen Methoden, das Streichholz und das Feuerzeug zum Anzünden des Lagerfeuers kennen gelernt haben, soll im Folgenden noch die Frage des Funken zur Zündung geklärt werden. Den Schülern soll dabei vor Augen geführt werden, dass der Funken als Aktivierung zu verstehen ist, um das Gas zu entzünden. Hierbei kann auch auf die Gefahren von brennbaren Gasen hingewiesen werden: Diese breiten sich aus und dann durch einen Funken entzündet werden können.

Nun kann die letzte Seite des Branddreiecks erarbeitet werden. Dazu wird noch einmal das Experiment 'Brennverhalten in unterschiedlichen Gasen' aufgegriffen. Die Schüler haben hierbei gesehen, dass im Stickstoff und Kohlenstoffdioxid die Kerze erlischt.. Im Sauerstoff hingegen wurde die Flamme verstärkt. Dieser Zusammenhang kann nun wiederholend untersucht werden: Dazu werden zwei Standzylinder aufgestellt, wobei einer mit Luft und der andere mit reinem Sauerstoff gefüllt wird. In beide Standzylinder wird eine je Kerze gehalten, wobei die Flammengröße der Kerzen zu vergleichen ist. Dabei wird festgestellt, dass die Kerzenflamme in reinem Sauerstoff deutlich größer ist. Ergo: Sauerstoff unterhält und verstärkt die Verbrennung. Somit haben die Schüler alle drei Seiten eines Branddreicks, siehe Abb. 3.52, kennen gelernt und wissen, dass alle drei Bedingungen vorliegen müssen, damit eine Verbrennung ablaufen kann.

Für die Entstehung eines Feuers werden drei Parameter benötigt: Ein Brennstoff, eine Entzündungstemperatur und Sauerstoff.

Nun sollen noch die Brandsicherheit und das Löschverhalten bei der Planung eines Lagerfeuers erarbeitet werden. An dieser Stelle können die Schüler aufgefordert werden, zunächst intuitiv mögliche Löschmöglichkeiten aufzuzählen. Denkbar wären dabei folgende Vorschläge: Wasser, Feuerlöscher, Sand. Mit Hilfe der Kenntnisse zum Branddreieck können die Schüler selbstständig Löschmethoden analysieren. Dazu können zuerst noch einmal die drei Dinge aufgezählt werden, die für ein Feuer notwendig sind. Daraus kann im Umkehrschluss von den Schülern abgeleitet werden, dass ein Brand erlischt, wenn eine Komponente fehlt oder entfernt wird. Somit ergeben sich drei Löschvarianten:

1. Entzug des Brennstoffs, 2. Entzug der Wärme, 3. Entzug des Sauerstoffs.

Zu 1.: Die Schüler können schlussfolgern, dass ein Lagerfeuer ohne weiteres Einwirken erlischt, wenn kein weiteres Holz nachlegt wird. Damit dieser Löschvorgang erfolgreich sein kann, muss das Ende des Feuers langfristig genug geplant werden. Denn der Löschvorgang auf diesem Weg nimmt viel Zeit in Anspruch.

Zu 2.: Die Feuerwehr löscht häufig mit Wasser. Doch warum eigentlich? **Wieso löscht Wasser eigentlich ein Lagerfeuer?** Um diese Frage zu beantworten, eignet sich der folgende Versuch:

Versuch 54: Die Löschwirkung von Wasser (oder: Wasser in einer Papierform erhitzen)

Schülerversuch nach [128]

Geräte: Teelicht, Sektkorkenhalter, Muffin-Papierform, Einstichthermometer, Feuerzeug

Vorüberlegung: Ein Papier wird entzündet und mit Hilfe einer Wasser-Spritzflasche gelöscht. Die Schüler sollen Hypothesen formulieren, wieso das Feuer erlischt. Im Bezug zu den oben genannten Löschmöglichkeiten, sollen sie Stellung nehmen, welche Komponente durch das Wasser entzogen wird. Da das Papier noch vorliegt, bleiben nur Sauerstoff und die Temperatur. Diese Hypothese soll nun im folgenden weiterführenden Versuch untersucht werden.

Durchführung: Das Teelicht wird entzündet und unter einen Sektkorkenhalter gestellt, siehe dazu Abb. 3.58. Nun füllt man die Muffin-Papierform zu etwa einem Drittel mit Wasser und misst die Temperatur. Die Muffinform wird oben auf den Korkenhalter gestellt. Wenn sich das Wasser auf über 30 °C erhitzt hat, pustet man die Kerze aus.

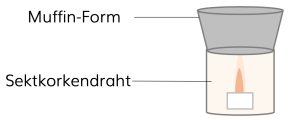


Abb. 3.58: Versuchsaufbau – Versuch 54

Beobachtungen: Sobald man die Papierform über die Kerzenflamme positioniert, steigt die Temperatur des Wasser an, ohne dass die Papierform zu brennen beginnt.

Wesentliche Lerninhalte: Die Wärme, die bei der Verbrennung der Kerze in die Umgebung freigesetzt wird, wird zu einem großen Teil von der Papierform aufgenommen und leitet diese an das Wasser weiter. Die Entzündungstemperatur des Papiers wird daher nicht erreicht und die Muffin-Form beginnt nicht zu brennen. Die Funktion des Wasser liegt bei der Brandlöschung also darin, dass es die Wärme schnell aufnehmen kann und damit zu einer Temperaturerniedrigung führt.

Weiteres Vorgehen: Wasser hat eine große Wärmekapazität und kann daher viel Wärme aufnehmen, wodurch die Entzündungstemperatur gesenkt wird. Durch den folgenden Versuch kann demonstriert werden, dass der Entzug von Wärme tatsächlich der Brandbekämpfung dient.

Versuch 55: Abkühlung als Brandbekämpfungsmethode

Schülerexperiment

Geräte: 500-mL-Becherglas, Kristallisierschale (⌀ ∼ 15cm), kleiner Tiegel, großer Mörser, großer Pistill, Tuch, Esslöffel, Waage (Genauigkeit: 0,1 g), Wägeschale, Tiegelzange, Sicherheitsfeuerzeug, feuerfeste Abdeckmöglichkeit (z.B. Metalldeckel)

Chemikalien: Eis, Natriumchlorid, Petroleum [GHS08 ]

Durchführung: Es werden 300 g gecrushtes Eis in das Becherglas gefüllt und 100 g Natriumchlorid hinzugegeben. Anschließend vermischt man das Eis mit dem Salz und füllt die Mischung in die Kristallisierschale. Dann stellt man einen halbvoll mit Petroleum gefüllten kleinen Tiegel in die Mitte der Kristallisierschale (siehe Abb. 3.59) und entzündet sofort das Petroleum.

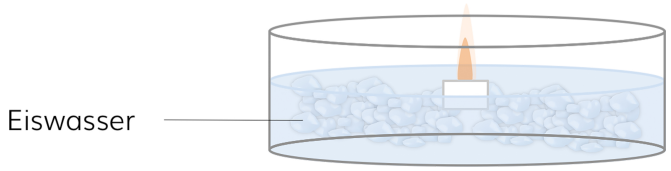


Abb. 3.59: Versuchsaufbau – Versuch 55

Beobachtungen: Petroleum lässt sich leicht mit dem Feuerzeug entzünden. Nach wenigen Sekunden in der Eismischung erlischt die Flamme des Petroleums.

Wesentliche Lerninhalte: Petroleum wird auch als Brennstoff für Kerzen verwendet und ist entgegen dem Kerzenwachs bei Raumtemperatur flüssig. Der Flammpunkt liegt daher unter dem von Kerzenwachs, sodass sich die Dämpfe bereits bei Raumtemperatur mit einem Feuerzeug entzünden lassen. Die Kältemischung der Kristallisierschale reduziert die Temperatur des Petroleums jedoch so stark, dass der Flammpunkt unterschritten wird und die Verbrennung nach wenigen Sekunden beendet wird.

Weiteres Vorgehen: Nun soll noch auf die letzte Möglichkeit, ein Lagerfeuer zu löschen, hingearbeitet werden.

Zu 3.: Dazu wird das Branddreieck zu Rate gezogen: Die noch fehlende Seite ist die *Rolle des Sauerstoffs*. Das Lagerfeuer findet im Schulgarten unter freiem Himmel statt. Somit ist augenscheinlich die Abgrenzung von Sauerstoff nur schwer möglich. Dennoch können die Schüler erstmals die Rolle des Sauerstoffs diskutieren und erarbeiten. Hierbei sind folgende Vorschläge der Schüler möglich:

- Gefäß über die Flamme stülpen
- nicht brennbaren Stoff zum Feuer geben, um den Sauerstoffzufuhr zu unterbinden
- Feuerlöscher nutzen

Dass auch ein Gefäß über einer Flamme zur Löschung führen kann, soll der folgender Versuch zeigen.

Versuch 56: Verbrennung unter Bechergläsern

Schülerversuch

Geräte: 3 Stumpenkerzen gleicher Höhe, 400-mL-Becherglas, 1-L-Becherglas, 2-L-Becherglas, Feuerzeug

Durchführung: Die drei Kerzen werden nebeneinander aufgestellt und angezündet. Über diese werden möglichst zeitgleich die drei Bechergläser wie in der Abb. 3.60 gestellt. Die Brenndauer der Kerzen soll miteinander verglichen werden.

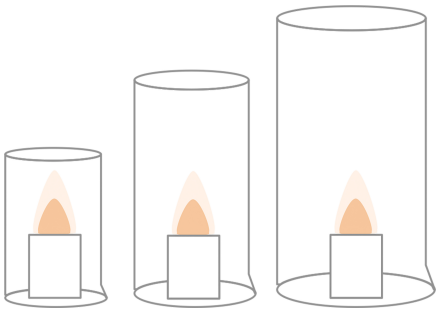


Abb. 3.60: Versuchsaufbau – Versuch 57

Beobachtungen: Nach wenigen Sekunden erlischt die Kerze im kleinsten Becherglas, gefolgt von der Kerze im mittleren Becherglas. Am längsten brennt die Kerze im großen Becherglas.

Wesentliche Lerninhalte: Für die Verbrennung einer Kerze (und jedes anderen Brennstoffs) ist Sauerstoff notwendig. Ist dieser aufgebraucht, dann erlischt die Kerze. Da im kleinen Becherglas die geringste Menge Sauerstoff vorhanden ist, geht die Kerze in diesem am schnellsten aus.

Damit ist klar, dass das Lagerfeuer erlischt, wenn aller Sauerstoff verbraucht ist. Ein Lagerfeuer brennt so groß und stark, dass die Flamme mit keinem Gefäß abgegrenzt werden kann, um den Sauerstoff zu limitieren. Somit muss eine Möglichkeit gesucht werden, den Luftsauerstoff anders vom Brennstoff zu eliminieren. Neben dem Wasser und dem Feuerlöscher wurde als weiteres Löschmittel der Sand aufgeführt. Nun kann der Frage nachgegangen werden, wie denn die Löschwirkung von Sand aussieht.

Versuch 57: Löschwirkung von Sand

Schülerexperiment nach *Freiheit* [59, S. 264 ff.]

Geräte: Teelicht, Feuerzeug, feuerfeste Unterlage,

Chemikalien: Sand

Durchführung: Es wird versucht, das Teelicht mit Sand zu löschen.

Beobachtungen: Sobald genug Sand auf die Kerze gelangt, erlischt das Feuer.

Wesentliche Lerninhalte: Der Sand führt zu einer Verringerung der Sauerstoffzufuhr, weshalb die Verbrennung stoppt.

Sand ist also eine gute Möglichkeit, ein Lagerfeuer im Schulgarten zu löschen. Einzige Voraussetzung ist, dass genug Sand vorhanden ist, um den gesamten Brennstoff abzudecken. Dies wiederum kann sehr aufwendig sein, weshalb mit den Schülern nach einer weiteren Möglichkeit gesucht wird, den Sauerstoff zu verdrängen.

Nachdem die Schüler nun also die Löschwirkung von Wasser und Salz durch Wärme- beziehungsweise Sauerstoffentzug kennen gelernt haben, kann nun noch der Frage nachgegangen werden, ob denn alle Brände mit Wasser gelöscht werden können, beziehungsweise wieso Salze wie beispielsweise Natriumchlorid in Feuerlöschern zum Einsatz kommen und wozu diese Feuerlöscher verwendet werden, die beispielhaft in Abb. 3.61 [202]. Insgesamt können die Schüler fünf unterschiedliche

Löschmittel in den Feuerlöschern identifizieren: Wasser-, Schaum-, Pulver-, Kohlenstoffdioxid- und Fettbrandfeuerlöscher.



Abb. 3.61: Feuerlöscher [203]

Nun stellt sich zwangsläufig die Frage, wieso es unterschiedliche Löschmittel in den Feuerlöschern gibt. Dazu erfolgt ein kurzer fachlicher Einschub[43].

Fachlicher Exkurs: Brände werden nach Brandklassen klassifiziert. Insgesamt werden fünf Brandklassen kategorisiert. Als Brandklasse definiert ist eine Gruppe brennbarer Stoffe, die durch das geeignete Löschmittel charakterisiert ist. Diese Brandklassen haben alle ein ausgewähltes Symbol, welches auf den Feuerlöschern für die Zuordnung markiert ist.

- Klasse A: Brände fester, glutbildender Stoffe, zum Beispiel Holz, Textilien
- Klasse B: Brände von flüssig oder flüssig werdende Stoffe, zum Beispiel Öl, Benzin
- Klasse C: Brände von Gasen, zum Beispiel Propan
- Klasse D: Brände von Metallen, Aluminium, Magnesium
- Klasse F: Brände von pflanzlichen und tierischen Speiseölen und Fetten

Bis zum Jahr 2005 existierten nur die vier Brandklassen A bis D, Fettbrände wurden zur Kategorie B gezählt. Durch die besondere Gefahr, die durch Fettbrände ausgeht, wurden durch eine eigene Brandklasse gekennzeichnet [204]. Jeder Brandklasse werden geeignete Löschmittel zugewiesen. So können Brände der Stoffe der Klasse A mit dem Pulverlöschmittel, dem Schaumlöschmittel, dem Wasserlöschmittel und dem Fettbrandlöschmittel unterbunden werden. Flüssige Stoffbrände können mit dem Pulverlöschmittel, dem Schaumlöschmittel, dem Kohlenstoffdioxid-Löschmittel und dem Fettbrandlöschmittel abgelöscht werden. Für die Brandklassen C und D können jeweils nur Pulverlöschmittel zum Einsatz kommen und für die Brandklasse F der Fettbrandlöscher. Die Symbole der Brandklassen mit der Zuordnung der jeweiligen Löschmittel sind in Abb. 3.62 symbolisch aufgezeichnet.

Pulverfeuerlöscher werden selbst noch einmal in drei unterschiedliche Pulverarten untergliedert [205, S.15-19]:

- Feines Pulver auf Natrium- und Kaliumbicarbonat-Basis
- Feines Pulver auf Ammoniumphosphat-Basis
- Feines Pulver auf Natrium-/Kaliumchlorid Basis

Je nach Pulverart können Verbrennung von Flüssigkeiten und Gasen oder aber von Metallbränden unterbunden werden. Natrium-/Kaliumbicarbonatpulver können Brände der Brandklassen B (flüssige Brennstoffe) und C (gasförmige Brennstoffe) stoppen. Sie werden daher als BC-Löschpulver betitelt, als ABC-Löschpulver wird das Ammoniumphosphat benannt, da es zusätzlich feste Brennstoffe an der Verbrennung verhindert und das Natrium-/Kaliumchlorid Löschpulver kann Metallbrände eindämmen.

[43] An dieser Stelle wäre es auch denkbar, dass ein Besuch bei einer Feuerwehr unternommen wird.

	Feste, glutbildende Stoffe, z.B. Holz, Textilien	Flüssige oder flüssig werdende Stoffe, z.B. Benzin, Öle	Gasförmige, auch unter Druck stehende Stoffe z.B. Propan	Brennbare Metalle wie z.B. Aluminium, Magnesium	Speiseöle und -Fette (pflanzlich oder tierisch)
Brandklassen	A	B	C	D	F
Pulverlöscher mit Glutbrandpulver	✓	✓	✓		
Pulverlöscher mit Metallbrandpulver				✓	
Schaumlöscher	✓	✓			
Wasserlöscher	✓				
Kohlendioxid-löscher		✓			
Fettbrandlöscher	✓	✓			✓

Abb. 3.62: Brandklassen mit Löschmittelzuteilung [204]

Weiteres Vorgehen: Nachdem die Schüler die Feuerlöscher und Löschmittel identifiziert haben, können nun die einzelnen Feuerlöscher untersucht werden. Als erstes hatten die Schüler bereits den Wasser-Feuerlöscher behandelt. Als nächstes untersuchen sie den Kohlenstoffdioxid-Feuerlöscher. Kohlenstoffdioxid haben die Schüler bereits kennen gelernt. Ein Blick in die Abb. 3.62 zeigt jedoch, dass der Kohlenstoffdioxidlöscher nur bei beispielsweise Benzinbränden zum Einsatz kommt. Ein kleiner Versuch eines nachgebauten Kohlenstoffdioxid-Feuerlöschers demonstriert den Schülern noch einmal die Funktionsweise des Kohlenstoffdioxids-Feuerlöschers. Außerdem lernen die Schüler eine alltagsnahe Möglichkeit kennen, Kohlenstoffdioxid zu produzieren.

Versuch 58: Feuerlöscher selbst gebaut

Schülerexperiment nach *Freiheit* [59, S. 266 ff.]

Geräte: 0,5-L-PET-Flasche, 100-mL-Becherglas mit Skalierung, Bastelknete, abwinkelbarer Trinkhalm, Teelicht, Feuerzeug

Chemikalien: Brausetabletten, Leitungswasser

Durchführung: Es werden 50 mL Wasser abgemessen und in die leere Flasche gefüllt. Mit etwas Knete wird ein Verschluss für die Flasche gebastelt. Durch diese Knete wird ein Strohhalm geführt. Im folgenden kann ein Teelicht entzündet werden. Anschließend gibt man eine Brausetablette in das Wasser der Flasche und verschließt die Flasche mit dem Stück Knete, durch das der Trinkhalm gesteckt wurde. Der Trinkhalm darf dabei nicht in das Wasser reichen. Nun wird versucht, mit dem am Trinkhalm austretenden Gas das brennende Teelicht zu löschen.

Beobachtungen: Sobald man die Brausetablette in das Wasser gibt, färbt sich das Wasser und es beginnt stark zu Schäumen und zu Sprudeln. Richtet man den Trinkhalm dann auf das Teelicht, erlischt es.

Wesentliche Lerninhalte: Wenn sich die Brausetablette in Wasser löst, dann wird Kohlenstoffdioxid freigesetzt, dass zunächst die Flasche füllt und dann aus dem Trinkhalm austritt. Richtet man den Trinkhalm auf ein brennendes Teelicht, dann sinkt das Kohlenstoffdioxid nach unten, weil es schwerer als Luft ist und verdrängt diese dabei. Daher erlischt die Flamme.

Neben dem Wasser und Kohlenstoffdioxid-Feuerlöscher können die Schüler noch einen weiteren einfachen Feuerlöscher, den Schaumfeuerlöscher, selbst bauen. Somit haben die Schüler nun drei Feuerlöscher selbst gebaut und die Löschmittel erprobt. Der Schaumfeuerlöscher wird dabei sehr ähnlich aufgebaut, wie der Kohlenstoffdioxid-Feuerlöscher.

Versuch 59: Schaumfeuerlöscher

Schülerexperiment nach *Uni Göttingen* [59, S. 266 ff.]

Geräte: 0,5-L-PET-Flasche mit Schlauch durch den Schraubverschluss, 150 mL Becherglas, Feuerfeste Unterlage, Langes Streichholz, Teelicht

Chemikalien: Zitronensäure (z.B. Heitmann Reine Citronensäure) [GHS07 ], Natriumhydrogencarbonat (z.B. Kaiser Natron), heißes Leitungswasser (Warmwasserleitung genügt), Spülmittel

Durchführung: Die PET-Flasche wird aufgedreht und der Deckel mit dem Schlauch präpariert, wie in der Abb. zu erkennen ist. Anschließend werden 15g Weinsäure und 10g Natriumhydrogencarbonat abgewogen und werden in der Flasche vermischt. Der Boden des Becherglases wird mit Spülmittel bedeckt und mit 100 mL heißem Wasser aufgefüllt. Das Teelicht wird auf die feuerfeste Unterlage gestellt und entzündet. Dann wird das Benzin mit einem langen Streichholz entzündet. Sobald das Feuer brennt, schüttet man das heiße Spülwasser in die Flasche und verschließt diese rasch mit dem Schraubverschluss. Der Schlauch wird über das brennende Teelicht gehalten. Bei Bedarf kann man die Flasche schwenken.

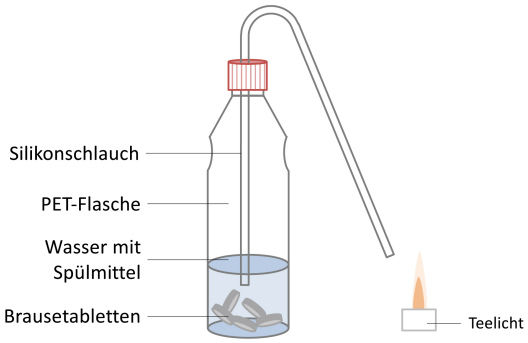


Abb. 3.63: Schaumfeuerlöscher

Beobachtungen: Sobald das Spülwasser mit dem Pulver in der Flasche in Kontakt kommt, setzt eine starke Gasentwicklung ein und schäumt das Spülwasser auf. Der entstehende Schaum strömt durch den Schlauch und spritzt in das Feuer. Der Schaum bedeckt das brennende Teelicht und die Flamme erlischt.

Wesentliche Lerninhalte: Der Schaum aus der Flasche bedeckt die brennende Oberfläche des Teelichts und trennt es dabei von der Luft. Ohne Luft erstickt die Flamme. Daher erlischt die Flamme.

Fachliche Anmerkungen: Natron und Zitronensäure sind Bestandteil von Brausepulver. Dabei reagieren die beiden Stoffe nach Reaktionsgleichung 3.18 zu Wasser, gelöstes Calciumcitrat und Kohlenstoffdioxid.

$$3\,NaHCO_{3(s)} + 2\,C_6H_8O_{7(l)} \longrightarrow 3\,CO_{2(g)} + Na_3(C_6H_5O_7)_{2(aq)} + 3\,H_2O_{(l)} \qquad (3.18)$$

Nachdem die Schüler die Brandbedingungen anhand des Branddreiecks erarbeitet, sowie den Zerteilungsgrad besprochen und Löschmethoden untersucht haben, kann nun noch auf ein paar Besonderheiten hingewiesen werden. Dafür wird ein kurzer Exkurs weg vom Lagerfeuer unternommen. Als Grundlage hierfür sollen noch einmal die Feuerlöscher stehen. In der Klassifizierung haben die Schüler festgestellt, dass nicht jeder Brand mit dem Wasserfeuerlöscher gelöscht werden darf. Metallbrände dürfen nicht mit Wasser gelöscht werden. Experimentell können die Schüler dies in folgendem Versuch nachvollziehen:

Versuch 60: Metallbrand mit Wasser löschen

Lehrerdemonstrationsexperiment

Geräte: Großer Küchentopf, Spritzflasche, Kartuschen-Lötgerät

Chemikalien: Leitungswasser, Magnesiumspäne [GHS02 ]

Durchführung: Ein kleiner Kegel aus Magnesiumspänen wird im Kochtopf geschichtet und an einem windstillen Ort mit dem Kartuschen-Lötgerät entzündet. Es wird versucht, in einem Abstand von mindestens 3 m den Brand mit Hilfe des Wassers zu löschen.

Beobachtungen: Durch kräftiges Erhitzen des Magnesiums im Kochtopf brennt das Magnesium zunächst langsam. Spritzt man mit Wasser auf den Metallbrand, kommt es zur Bildung einer Stichflamme, bei der Funken sprühen.

Wesentliche Lerninhalte: Das Metall Magnesium kann mit Luftsauerstoff reagieren und verbrennt dabei. Wasser ist zwar in der Lage, die Temperatur vieler Brände zu senken und damit einen Brandstopp herbeizuführen. Bei einem Metall wie Magnesium allerdings nimmt die Heftigkeit des Brandes zu, wenn man diesen mit Wasser zu löschen versucht. Metallbrände dürfen daher nicht mit Wasser gelöscht werden.

Zu diesem Zeitpunkt haben die Schüler somit drei wesentliche Feuerlöscher (Wasser, Kohlenstoffdioxid- und den Schaumfeuerlöscher) und die Funktionsweise des Löschmittels kennen gelernt. Das Ziel des weiteren Untersichtverlaufs ist es nun, die weiteren Löschmittel zu kennenzulernen. Dazu kann ein Merkblatt der Feuerwehren [205] zur Rate gezogen werden. In diesem sind die Löschmittel in ihrer Zusammensetzung, sowie wichtige Eigenschaften aufgelistet.

Weiteres Vorgehen: Den Schülern wird im Regelfall keines der Pulver bekannt sein. Aus diesem Grund kann an dieser Stelle mit den Schülern ein Blick in die Verwendung der Salze im Alltag geworfen werden. Das bekannteste Salz ist Natriumchlorid, da es sich um Speisesalz handelt. Natriumbicarbonat, auch Natron genannt, ist ein Salz mit vielfältigem Einsatz. In der Lebensmitteltechnik wird Natron in Backpulvern und Brausetabletten zugesetzt. In der Medizin findet es Verwendung als Mittel gegen Sodbrennen (Bullrich-Salz, Kaiser-Natron). Ebenso wird Natriumbicarbonat als Bestandteil von Brausetabletten zugesetzt, wie beispielsweise in Asperin-Tabletten. In der Landwirtschaft gilt es als Schädlingsmittel gegen Mehltau. Auch im Haushalt findet Natron eine häufige Anwendung zum Beispiel zum Enthärten von Wasser, zum Lösen von Verkrustungen, Geruchsneutralisation im Deodorant und schmerzlindernde Wirkung bei Insektenstichen und Sonnenbrand. Natron kann ebenso wie Speisesalz im Supermarkt erworben werden. Ammoniumphosphate sind die Salze der verschiedenen Phosphorsäuren. Ammoniumdihydrogenphosphat gilt als Flammenschutzmittel und wird zudem in der Hefe-Fermentation eingesetzt. Diammoniumhydrogenphosphat ist bekannt als Düngemittel und wird ebenso als Flammschutzmittel eingesetzt und ist außerdem noch Bestandteil von Spezialgläsern und Emailsorten.

Somit zählt das Ammoniumphosphat zu den Salzen, zu denen die Schüler am wenigsten Bezug haben. Aus diesem Grund impliziert sich in den Augen der Autorin die Notwendigkeit den Fokus auf die beiden alltagsnahen Salze zu legen. Kochsalz und Natron finden zahlreiche Anwendungen

und sind den Schülern hingehend bekannt. Dabei stellt sich die Frage, wie diese beiden Alltagssalze Verbrennungen unterbinden können. Dazu wird folgender Versuch vorgeschlagen:

Versuch 62: Ein Pulversalz löscht Feuer

Schülerexperiment

Geräte: Eisenschale, 50 mL Becherglas, Feuerzeug

Chemikalien: Natron (z.B. Kaiser-Natron), Holzwolle

Durchführung: Eine Hand voll Holzwolle wird als Knäul in die Eisenschale mittig zentriert. Das Becherglas wird bis zur 50 mL Marke mit Natron befüllt. Nun kann die Holzwolle von zwei Seiten mit dem Feuerzeug entzündet werden. Nachdem die Holzwolle entzündet ist und brennt, wird gleichmäßig mindestens 30 mL Natronpulver fein über das Feuer verteilt. Bei einem größeren Brand kann auch mehr Natron zum Einsatz kommen. Wichtig ist, dass die Holzwolle nicht komplett mit Natronpulver bedeckt ist. Nachdem die Flammen erloschen sind, kann die Holzwolle erneut entzündet werden und die Verbrennungsreaktion beobachtet werden.

Beobachtungen: Die Holzwolle lässt sich durch das Feuerzeug leicht entzünden und brennt mit gelber Flamme. Das weiße, feine Natronpulver verteilt sich auf der Holzwolle. Die Flammen werden kleiner, bis sie schließlich ganz erlöschen. Nachdem die Holzwolle erneut entzündet wurde, kann beobachtet werden, dass sich die Flammen nicht ausbreiten. Nach 1-2 Minuten erlöschen die Flammen erneut, ohne dass weiteres Pulver zugegeben wurde. Nach dem ersten Löschversuch sind auf der Holzwolle noch Reste des Natronpulver zu erkennen, welche nach erneutem Entzünden nicht mehr vorliegen.

Wesentliche Lerninhalte: Natron kann einen Brand löschen und wird dabei teilweise zersetzt. Dabei wird ein Gas freigesetzt, welches die Verbrennung nicht fördert. Um welches Gas es sich handelt kann weiter untersucht werden.

Fachlicher Hintergrund: Bei Natron handelt es sich um Natriumbicarbonat. Beim Erhitzen zersetzt sich dieses in Kohlenstoffdioxid, Wasser und Natriumcarbonat.

Anmerkungen: Anschließend kann das Natron in einem Reagenzglas erhitzt werden und das frei werdende Gas in Kalkwasser eingeleitet werden.

Die Schüler konnten bisher beweisen, dass ein Feuer durch das Herabsetzen der Temperatur gelöscht werden kann. Des Weiteren haben sie erkannt, dass Wasser Brände löscht, da es Wärme aufnimmt. Somit haben die Schüler wichtige Kenntnisse wiederholt und auf den Löschvorgang angewendet. An diesem Punkt ist es möglich, das Wissen noch weiter zu vertiefen. Den Schülern soll im folgenden demonstriert werden, dass der Prozess des Wärmeentzugs nicht nur Wasser realisieren kann, sondern auch andere Stoffe. An dieser Stelle soll ein Feststoff zum Einsatz kommen, der den Schülern aus ihrem Alltag sehr gut bekannt ist und auch in Pulverfeuerlöschern für Metallbrände eingesetzt wird – das Natriumchlorid.

Versuch 61: Pulversalz NaCl löscht Feuer

Lehrerdemonstrationsexperiment

Geräte: Eisenschale ($\varnothing \sim 20$cm), 50 mL Becherglas, Feuerzeug

Chemikalien: Natriumchlorid (z.B. Kochsalz), Holzwolle

Durchführung: Eine Hand voll Holzwolle wird als Knäul in die Eisenschale mittig zentriert. Das Becherglas wird bis zur 50 mL-Marke mit Natriumchlorid befüllt. Nun kann die Holzwolle von zwei Seiten mit dem Feuerzeug entzündet werden. Nachdem die Holzwolle entzündet ist und brennt, wird gleichmäßig mindestens 30 mL Natriumchlorid fein über das Feuer verteilt. Bei einem größeren

Brand kann auch mehr Natriumchlorid zum Einsatz kommen. Wichtig ist, dass die Holzwolle nicht komplett mit Natriumchloridpulver bedeckt ist. Nachdem die Flammen erloschen sind, kann die Holzwolle erneut entzündet werden und die Verbrennungsreaktion beobachtet werden.

Beobachtungen: Die Holzwolle lässt sich durch das Feuerzeug leicht entzünden und brennt mit gelber Flamme. Das weiße, feine Natriumchlorid verteilt sich auf der Holzwolle. Die Flammen werden kleiner bis sie schließlich ganz erlöschen. Nachdem die Holzwolle erneut entzündet wurde, kann beobachtet werden, dass sich die Flammen nicht ausbreiten. Nach 1-2 Minuten erlöschen die Flammen erneut, ohne dass weiteres Pulver zugegeben wurde. Nach beiden Löschversuchen sind auf der Holzwolle noch Reste des Natriumchlorid zu erkennen, welches teilweise geschmolzen ist.

Wesentliche Lerninhalte: Natriumchlorid kann einen Brand löschen, indem es die Sauerstoffzufuhr verhindert und sich auf dem Brennstoff ablagert. Außerdem beginnt es dabei dabei zu schmelzen.

Fachlicher Hintergrund: Natriumchlorid bildet eine schützende Schicht, welches keine weitere Sauerstoffzufuhr ermöglicht. Des Weiteren ist es ein Salz mit einem hohen Schmelzpunkt (801 °C). Gibt man auf dies auf eine Flamme, wie die eines Holzbrandes, dann nimmt das Salz die freigesetzte Wärmeenergie der Verbrennungsreaktion auf, bis der Schmelzpunkt erreicht ist. An diesem angekommen, setzt der Schmelzprozess ein und jede weitere aufgenommene Energie in Form von Wärme führt zu keiner Temperaturerhöhung, weil die gesamte Energie dazu genutzt, das Salz zu schmelzen (latente Wärme). An diesem Punkt kann das Salz prinzipiell unendlich viel Energie in Form von Wärme aufnehmen. Dies führt dazu, dass die von der Verbrennungsreaktion freigesetzte Energie sehr schnell abgeführt wird. Die Flamme beziehungsweise der Brand wird gelöscht.

Die Schüler haben nun bereits fünf Feuerlöscher und deren Wirkungsweise kennen gelernt. Nun fehlt noch der Feuerlöscher, der Fettbrände löschen kann. Fettbrandlöscher verfügen über eine hochkonzentrierte Salzlösung als Löschmittel. Diese Salzlösung reagiert beim Löschvorgang mit dem brennenden Öl unter einer Verseifungsreaktion. Durch diese wird die Flamme erstickt. Die ablaufende Reaktion ist jedoch in den Augen der Autorin zu komplex und es wird didaktisch reduziert erklärt, dass Salzlösungen und Fette eine Seife bilden können. Diese Seifenlösung legt sich wie ein Film über das brennbare Material. Mit Hilfe des Verbrennungsdreiecks wissen können die Schüler diese Löschfunktion nachvollziehen. Ohne brennbares Material kann die Verbrennung nicht weiter unterhalten werden. Des Weiteren wird durch die Seifenlösung eine Trennung zwischen dem nötigen Sauerstoff und dem brennbaren Material geschaffen. Die Flammen erlöschen.

Nachdem die Schüler, die nun alles Wissen zum Feuer und seine Bekämpfung zusammen getragen haben, sollen der Fokus wieder zurück zum Lagerfeuer gelenkt werden. Die Schüler haben haben die Bedingungen für die Entstehung eines Lagerfeuers besprochen und nun sollen sie auf die einführende Frage, wie ein Lagerfeuer gelöscht werden kann, beantwortet werden. Dazu sollen sie begründet ihre Wahl des Löschmittels beschreiben. Dabei sollten die Schüler darauf eingehen, dass als Brennstoff nur Holz zum Einsatz kommt und somit keine Pulverfeuerlöscher nötig sind. Der Kohlenstoffdioxid-Feuerlöscher ist aufgrund der Größe des Lagerfeuers ebenso ungeeignet. Mögliche Schülerantworten sind demzufolge:

- Wasser - als einfaches Löschmittel, welches leicht verfügbar ist.
- Sand - als einfaches Löschmittel, welches leicht verfügbar ist.
- Schaumfeuerlöscher - als einfacher selbst zu bauender Feuerlöscher

---

Nachdem die Schüler nun die Brandbedingungen sowie die Löschmethoden kennen gelernt haben, kann im folgenden Unterrichtsverlauf auf die Verbrennungsreaktion hingearbeitet werden. Dazu soll der Gedanke des Lagerfeuers noch etwas erweitert werden. Die Schüler bekommen die Aufgabe

sich zunächst vorstellen, dass sie das Lagerfeuer nun entfacht haben. Anschließend wollen sie nun mit Hilfe von frischen Ästen Stockbrote und Bratwürstchen über dem Lagerfeuer erhitzt. In einer Eisenfeuerschale kann zusätzlich Kartoffelsuppe aus den eigenen Gartenkartoffeln gekocht werden. Als Dessert können die Schüler Marshmallows über dem Lagerfeuer erwärmen. Ein Blick auf die Verpackung zeigt, dass Marshmallows aus Zucker bestehen. Kartoffeln bestehen hauptsächlich aus Stärke, ebenso wie Brot. Beim Erhitzen der Stoffe können die Schüler unterschiedliche Beobachtungen machen:

Versuch 63: Eine erste Einführung der chemischen Reaktion

Schülerexperiment nach *Freiheit* [59, S. 220 ff.]

Geräte: 2 Reagenzgläser (16 x 160 mm, Duran®), Reagenzglasklammer, 2 Spatel, Reagenzglasständer Brenner, Feuerzeug

Chemikalien: Zucker, Stärke, Natriumchlorid (Kochsalz)

Durchführung: Man gibt in je ein Reagenzglas 1 cm hoch Zucker oder Stärke beziehungsweise Kochsalz. Anschließend hält man diese nacheinander in die Brennerflamme und beobachtet etwaige Veränderungen. Die Reagenzgläser werden danach zum Abkühlen wieder in den Reagenzglasständer gestellt.

Beobachtungen: Das weiße kristalline Salz schmilzt in der Brennerflamme und bildet eine klare Flüssigkeit. Nach dem Abkühlen hat sich das feste Salz wieder zurückgebildet. Zucker verhält sich dagegen anders: Der ebenfalls weiße und kristalline Feststoff wird beim Erhitzen in der Brennerflamme zunächst flüssig und verfärbt sich hellbraun. Nach längerem Erhitzen wird die Schmelze dunkelbraun und bildet dann einen schwarzen Feststoff. Auch die Stärke wird beim Erhitzen flüssig und verfärbt sich braun bis nur noch ein schwarzer Feststoff zurück bleibt.

Wesentliche Lerninhalte: Erhitzt man Salz in einer Brennerflamme, dann schmilzt das Salz. Nimmt man es aus der Brennerflamme heraus, kühlt es sich ab und es erstarrt wieder. Man spricht hier von einem physikalischen Vorgang, denn der beschriebene Prozess ist reversibel. Das Erhitzen von Zucker und Stärke dagegen führt zu einer chemischen Reaktion, bei der sich ein neuer Stoff mit neuen Eigenschaften bildet. So wird aus dem festen und farblosen Zucker zunächst eine hellbraune Schmelze (Karamell), die anschließend Zuckercouleur bildet. Durch weiteres Erhitzen verkohlt diese und es entsteht die sogenannte Zuckerkohle.

Der beschriebene Versuch lässt sich erweitern beziehungsweise wiederholen, indem man statt Zucker und Salz, Milch und Wasser im Reagenzglas erhitzt. Das Wasser wird im Reagenzglas zum Sieden gebracht, wobei Wasserdampf aus dem Reagenzglas aufsteigt. Milch dagegen beginnt zwar auch zu sieden, bildet ähnlich wie Zucker jedoch einen schwarzen Feststoff. Auch hier bildet sich durch die Zufuhr von Wärme also Kohlenstoff. Beim Sieden von Wasser handelt es sich analog zum Schmelzen von Salz um einen physikalischen Vorgang. Beim Erhitzen von Milch handelt es sich dagegen um eine chemische Reaktion, bei der ein neuer Stoff mit neuen Eigenschaften entsteht.

Die Schüler können zusammenfassend beschreiben, dass Milch und Zucker sich in ihrem Aussehen verändert haben, während Salz und Wasser das Aussehen nicht verändert haben. Sie werden aufgefordert die Eigenschaften der Ausgangs- und Endstoffe zu untersuchen und in der Tab. 3.16 beschreiben:
Die Schüler haben also gesehen, dass sich die Eigenschaften von Salz und Wasser durch Erhitzen nicht nachhaltig verändern. Lediglich der Aggregatzustand wurde gewechselt. Die Aggregatzustände und ihre Übergänge haben die Schüler bereits im Abschnitt *Bodenklima* kennen gelernt. Nun kann die chemische Reaktion definiert und vom Phasenübergang abgegrenzt werden:

Eine chemische Reaktion ist ein Prozess, bei dem neue Stoffe mit neuen Eigenschaften entstehen.

Stoff	Farbe vorher	nachher	Aggregatzustand vorher	nachher
Milch	weiß	schwarz	flüssig	fest
Salz	weiß	weiß	fest	fest
Zucker	weiß	gelb-braun-schwarz	fest kristallin	fest
Wasser	durchsichtig	durchsichtig	flüssig	flüssig-gasförmig

Tab. 3.16: Stoffliche Veränderung beim Erwärmen

Bei der Abgrenzung zwischen Phasenübergang und chemischer Reaktion wird an diesem Punkt nicht auf die Reversibilität der Vorgänge verwiesen. Die Autorin legt den Fokus auf die erste Einführung der chemischen Reaktion als Prozess der Stoff- und Energieumwandlung. Phasenübergänge haben die Schüler bereits als reversibel kennen gelernt und definiert.

Ein Wechsel des Aggregatzustandes ist ein physikalischer Vorgang, die chemische Reaktion ist eine Stoffumwandlung.

Nachdem die Schüler die Stoffumwandlung bei einer chemischen Reaktion kennen gelernt haben, soll sich im folgenden Unterrichtsverlauf die energetische Betrachtung anschließen. Dazu wird zunächst der erste bereits bekannte Faktor, die Entzündungsenergie, aufgegriffen. Nun wird das Energiewissen erneut reaktiviert und um die Wärmeenergie erweitert. Der Energiegedanke ist in der Orientierungsstufe noch schwer nachzuvollziehen. Das Ziel ist es, den Schülern eine erste einfache Vorstellung zur Energie zu geben, nämlich die, dass bei einer chemischen Reaktion Energie umgewandelt wird. Als Beispiel soll erneut die Verbrennungsreaktion dienen.

Versuch 64: Energieumwandlungen bei der Verbrennung einer Kerze

Schülerexperiment nach *Freiheit* [59, S. 268 ff.]

Geräte: Papier, Schere, dünner Bindfaden (20 cm), Holzstab, Teelicht, Feuerzeug

Vorbereitung: Zunächst schneidet man sich eine Spirale aus Papier zurecht, die wenigstens vier vollständige Windungen hat. Nun wird die Spirale vorsichtig gestreckt und an das mittlere Ende ein kleines Loch gebohrt, um anschließend einen dünnen Bindfaden zu befestigen. Das andere Ende des Bindfadens wird an einem Holzstab befestigt.

Durchführung: Man hält die Spirale etwa 10 cm über die Kerzenflamme.

Beobachtungen: Die Spirale dreht sich über der Kerzenflamme.

Wesentliche Lerninhalte: Bei der Verbrennung von Kerzenwachs wird Energie an die Umgebung abgegeben. Das merkt man zum Einen daran, dass die Kerze sehr warm ist. Zum anderen leuchtet die Kerze und sendet damit Licht aus. Die Energie des Kerzenwachses und des Sauerstoffs aus der Luft wird also umgewandelt. Ein Teil der Energie verbleibt in den Reaktionsprodukten. Der andere Teil wird in Wärme und Licht umgewandelt. Die Wärme wiederrum treibt die Spirale an, denn die warme Luft über der Kerze strömt nach oben. Damit kommt es erneut zu einer Energieumwandlung: Ein Teil der von der Kerze abgegebenen Wärme wird in Bewegung umgewandelt.

Das eben gelernte Wissen zur chemischen Reaktion kann nun von den Schülern auf die Verbrennungsreaktion von Holz angewendet werden. Holz lässt sich in der Brennflamme entzünden und reagiert dann anschließend weiter, wobei nur Asche als Feststoff übrig bleibt. Während der Verbrennung werden Wärme und Licht abgegeben. Somit können die Schüler die chemische Reaktion

definieren als:

> Eine chemische Reaktion ist eine Reaktion, bei der neue Stoffe mit neuen Eigenschaften unter Energieumwandlung entstehen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden: In diesem Abschnitt haben die Schüler zahlreiche Kenntnisse zu den Themenfeldern Verbrennungen, Brandbedingungen und der chemischen Reaktion gewonnen. Des Weiteren wurde das Wissen zu den Aggregatzuständen wiederholt und vertieft. Auch die Inhalte zum Wasser und den Eigenschaften von Gasen insbesondere zum Sauerstoff wurden geschult.

KAPITEL 4

Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Leitziel, das Unterrichtsfach Chemie im fächerübergreifenden Fach *Naturwissenschaften* in der Orientierungsstufe zu stärken, ist im Zuge dieser Arbeit eine Konzeption entstanden, deren grundlegendes Element der wiederentdeckte Schulgarten ist. Auf diesem Weg wurde in Kapitel 1 die Bedeutung des integrativen naturwissenschaftlichen Unterrichts auf Basis seiner historischen Entwicklung und Differenzierung in Deutschland herausgestellt. Daraus ging hervor, dass NaWi als Verbundfach noch nicht in allen Bundesländern im Schulcurriculum verankert ist. Hinzu kommt, dass sich die bestehenden Rahmenlehrpläne inhaltlich teilweise stark unterscheiden. Dies ging aus einer Gegenüberstellung der Rahmenlehrpläne aller Bundesländer hinsichtlich ihrer Schwerpunkte bezüglich der fachspezifischen Inhalte hervor. International führen die chemischen Inhalte im naturwissenschaftlichen Unterricht sogar ein Schattendasein. Dies rechtfertigte das gesetzte Ziel dieser Arbeit.

Der Schulgartenunterricht hat deutschlandweit gewisse Traditionen und erlebt derzeit eine Renaissance. Der schulische Fokus ist jedoch eher im Grundschulbereich zu verorten, wo er als naher, aber dennoch außerschulischer Lernort dient. Das Potential des Konzeptes *Schulgarten* erwies sich nach einer intensiven Auseinandersetzung mit der Bedeutung des Schulgartens als vielversprechend, wie in Kapitel 2 beschrieben wurde. Darauf aufbauend wurde eine Unterrichtskonzeption für den integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht entwickelt, deren roter Faden am jahreszeitlichen Rhythmus der Vegetation eines Schulgartens angepasst ist. Daran orientiert wurden zahlreiche Experimente entwickelt und bestehende Vorschläge modifiziert, um sie für Schüler der Klassenstufen 5 und 6 zugänglich und handhabbar zu machen.

Es wird vorgeschlagen, den Schulgartenunterricht innerhalb der integrierten Naturwissenschaften zum Schuljahresbeginn zu starten. Hierfür wurde der Themenbereich *Gartenutensilien* entwickelt. Die Schüler werden zunächst angehalten, den Schulgarten zu planen, zu gestalten, Gartengeräte zu reparieren, zu pflegen oder neu zu kaufen. Es erfolgen erste Überlegungen zur Funktion des Schulgartens. Damit einher gehen Aspekte der *Stoffe und ihrer Eigenschaften*, wodurch die Schüler spielerisch und experimentell an einfache naturwissenschaftliche Fragestellungen herangeführt werden sollen. Es schließend sich nun erste Bodenuntersuchungen an, wobei die Qualität des Gartenbodens geprüft wird, da im Frühjahr die *Aussaat* beginnen soll. Dabei ist vorgesehen, den pH-Wert verschiedener Bodenproben zu messen, einen Kompost anzulegen, über eine Glühprobe den Humusgehalt zu ermitteln, Kalk in Bodenproben nachzuweisen, die Säureabgabe von Wurzeln und das Verhalten von Ton und Sand mit Wasser zu untersuchen. Darüber hinaus folgen experimentelle Untersuchungen zu verschiedenen Aussaatbedingungen, deren Lerninhalte meist chemischer und biologischer Natur sind. Davon seien an dieser stelle beispielhaft das Wachstun einer Bohnenpflanze in einem Irrgarten, die Keimung einer Erbse in Gips, die Wirkung von Salz auf die Keimung von Kressepflanzen sowie die Filterwirkung des Bodens genannt. Inhaltliche Schwerpunkte zu den Themen Wasser und Luft, die

auch im Chemieanfangsunterricht eine wesentliche Rolle spielen, werden im übergreifenden Kontext des Bodenklimas betrachtet. Hierbei werden unter anderem Aggregatzustandsänderungen betrachtet, die auch in Böden auf natürliche Weise ablaufen und die Auswirkungen auf die Keimung oder das Wachstum von Pflanzen haben können. Die Konzeption endet mit dem Kontext Lagerfeuer, wobei vornehmlich die Brennbarkeit von Stoffen, der Einfluss des Zerteilungsgrades, die Eigenschaften von Feuerzeuggas, Möglichkeiten der Brandbekämpfung sowie erste Merkmale chemischer Reaktionen betrachtet werden.

Die entwickelte Unterrichtskonzeption wurde im Rahmen einer Tagungen des VCÖ in Form eines Plenarvortrages präsentiert. Dabei wurde von den Lehrern vor allem die Einfachheit der vorgestellten Experimente gelobt. Diese und weitere konnten im Rahmen des eigenen Schuldienstes erprobt werden. Dabei waren nicht nur erstaunte Schülerreaktionen, sondern auch die Faszination der Kollegen bestätigendes Feedback. Für die Zukunft ist geplant, weitere Experimente zu entwickeln, um die Zugänglichkeit zu chemischen Fragestellungen im integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht zu erhöhen.

Literaturverzeichnis

[1] Häußler, P. ; Bünder, W. ; Duit, R. ; Gräber, W. ; Mayer, J.: *Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel : Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, 1998

[2] Moegling, K.: *Fächerübergreifender Unterricht - Wege ganzheitliches Lernens in der Schule*. Klinkhardt, 1998

[3] Labudde, Peter: Fächer übergreifender Unterricht in und mit Physik: Eine zu wenig genutzte Chance. In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule* 1/2 (2003), S. 48–66

[4] Häußler, P. ; Bünder, W. ; Duit, R. ; Gräber, W. ; Mayer, J.: Naturwissenschaftsdidaktische Forschung: Perspektiven für die Unterrichtspraxis. In: *Institut für die Päsdagogik der Naturwissenschaften* (1998)

[5] Kremer, A ; Stäudel, L.: Zum Stand des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts in der Bundesrepublik Deutschland - eine vorläufige Bilanz -. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3 (1997), Nr. 3, S. 52–66

[6] Plöger, W.: Klaus Moegling: Kompetenzaufbau im fächerübergreifenden Unterricht - Fördrung vernetzten Denkens und komplexen Handelns. In: *Zietschrift für Pädagogik* 56 (2010), Nr. Heft 6, S. 934–937

[7] Reinhold, P. ; Bünder, W.: Stichwort: Fächerübergreifender Unterricht. In: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften* (2001), Nr. Heft 3, S. 333–357

[8] Grasser, Andreas: *Integrierte Naturwissenschaft. Entwicklung, Erprobung und Evalutaion eines Projektunterrichts*. Jena, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Diss., 2010

[9] Huber, L. L.ber: Wissenschaftspropädeutik - eine unerledigte Hausaufgabe der Allgemeinen Didaktik. In: *Allgemeine Didaktik, Fachdidaktik und Fachunterricht.* (1994), Nr. 10, S. 243–253

[10] Huber, L.: Individualität zulassen und Kommunikation stiften. In: *Die deutsche Schule* (1995), Nr. 2, S. 161–182

[11] Schöler, W.: *Geschichte des naturwissenschaftlichen Unterrichts*. Berlin : Walter de Gruyter und Co., 1970

[12] Riedl, A.: *Didaktik der beruflichen Bildung*. Wiesbaden : Franz Steiner, 2004

[13] Kerschensteiner, G.: Wesen udn Wert des naturwissenschaftlichen Unterricht. In: *Literaturberichte* (1914), S. 54–55

[14] Rieß, F. ; Stäudel, L.: Gerda Freise - Mentorin der kritischen Naturwissenschaftsdidaktik. In: *PädExtra* (1994), Juli/August, S. 60–63

[15] Mischnick, P. ; Buck, P.: Zum Beispiel: Gerda Freise. In: *Nachrichten aus der Chemie* 51 (2003), S. 477–478

[16] Stäudel, L.: TIMMS und Gerda Freise - eine Standortbestimmung. In: *chimica didactica* 2 (1999), Nr. 80, S. 91 – 106

[17] Seybold, K. ; Stöckl, U.: *Die Widerständigen: Also machen wir das weiter,*. https://www.epd-film.de/filme/die-widerstaendigen-also-machen-wir-das-weiter, Abruf: 05.04.2017

[18] Hamburg, Universität: *Kurzbiografie Gerda Freise*. https://www.chemie.uni-hamburg.de/publikationen/Didaktik/Freise.html, Abruf: 17.04.2017

[19] Kremer, A ; Stäudel, L: Integrierter naturwissenschaftlicher Unterricht an Gesamtschulen. In: *Pädagogik* 44 (1992), Nr. 7-8, S. 56–61

[20] Stäudel, L. ; Rehm, M.: Naturwissenschaftlicher Anfangsunterricht. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* (2012), Nr. 130/131, S. 2–12

[21] Schulen Schleswig-Holstein, Institut für Qualtitätsentwicklung an: *Sinus-Module*. http://www.sinus-sh.lernnetz.de/sinus/materialien/sinus-module/index.php, Abruf: 13.06.2017

[22] Schulen Schleswig-Holstein, Institut für Qualtitätsentwicklung an: *SINUS-SH*. http://sinus-sh.lernnetz.de/sinus/materialien/naturwissenschaften/index.php?we_objectID=111, Abruf: 10.04.2017

[23] Raab, D.,: *Sinus bis 2005 - ein Rückblick*. http://www.sinus-transfer.de/laender/hessen/sinus_bis_2005.html, Abruf: 17.04.2017

[24] Hertrampf, M.: *Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts. Abschlussbericht des BLK-Modellversuchsprogramms*. Kiel: Leibnitz-Institut für die Pädagogik Naturwissenschaften, 2003

[25] Drechsler-Köhler, B ; Krumm, B. ; Menzel, P. ; Schupp, A. ; Sgoff, M. ; Sommer, K. ; Stöckl, E. ; Venke, S. ; Parchmann, I. ; Schlechtriemen, G.-L. ; Jansen, C.: *Stärkung der naturwissenschaftlichen Bildung*. Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), 2005

[26] Kultusministerium, Hessisches: *Kultusministerin Wolff zieht positive Abschlussbilanz von SINUS Hessen*. https://bildungsklick.de/schule/meldung/kultusministerin-wolff-zieht-positive-abschlussbilanz-von-sinus-hessen/. Version: 2007, Abruf: 17.04.2017

[27] Gräber, W. ; Döbrich, P. ; Bezler, H. ; Krumm, B.: *Qualitätsentwicklung im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Bd. Band 7. Frankfurt : Döbrich, P., 1999

[28] Bojko, P.: *Ausbildung von Methodenkompetenz im Chemieunterricht*. Jena, Universität Jena, Diss., 2005

[29] Rönnebeck, S. ; Schöps, K. ; Prenzel, M. ; Mildner, D. ; Hochweber, J.: *PISA 2009. Bilanz nach einem Jahrzehnt*. Münster, New York, München, Berlin : Waxmann, 2010

[30] Jung, W. ; Beltz (Hrsg.): *Grenzen der Integration der Naturwissenschaften im Curriculum. Disziplinspezifische Methoden und Theorien.* Weinheim, Basel : Frey, K. and Häußler, P., 1973

[31] Kuhn, W.: "Lernbereich Naturwissenschaften ein Trojanisches Pferd? In: *Praxis der Naturwissenschaften Physik* 46 (1997), Nr. 7, S. 2–5

[32] Sprütten, F.: *Rahmenbedingungen naturwissenschaftlichen Lernens in der Sekundarstufe I*. Waxmann, 2007

[33] Jürgens, F. ; Schieber, M.: Zur Beliebtheit eines integrierten Faches Naturwissenschaften. In: *MNU* 54 (2011), Nr. 8, S. 489–496

[34] Schule, Arbeitsgruppe: *Integrierter Unterricht Naturwissenschaften*. Kassel: Deutsche Physikalische Gesellschaft, 2010

[35] Campo, A. ; Langlet, J. ; Kremer, M. ; Philipp, W.: *Naturwissenschaften besser verstehen, Lernhindernisse vermeiden*. Troisdorf: Deutscher Verein zur Förderung des mathematisch und naturwissenschaftlichen Unterrichts, April 2004

[36] Freise, G.: Problemorientierte Integration der Naturwissneschaften im Curriculum. In: *Bericht über das 4 IPN-Symposium* (1973), S. 207–229

[37] Aufschnaiter, S.: Das Problem der Gesamtstruktur des Curriculim 'Integrierte Naturwissenschaft'. In: *Bericht über das 4 IPN-Symposium* (1973), S. 399–403

[38] Diehl, H.: Das Problem der Gesamtstruktur des Curriculim 'Integrierte Naturwissenschaft auf der Primarstufe, Sekundarstufe I und Sekundarstufe II'. In: *Bericht über das 4 IPN-Symposium* (1973), S. 406–409

[39] Petersen, G.: Naturwissenschaftliche Curriculumkontruktion: Kritik - und neue Perspektiven des interdiszilinären Projektunterrichtes. In: *Bericht über das 4 IPN-Symposium* (1973), S. 135–146

[40] Woest, V. ; Zebisch, Hans-Jürgen (Hrsg.): *Den Chemieunterricht neu denken*. Alsbach/Bergstrasse : Leuchtturm-Verlag, 1997

[41] Hansen, K. ; Klinger, U.: *Interessenentwicklung und Methodenverständnis im Fach Naturwissenschaft: Ergebnisse der Evaluation des BLK-Modellversuchs PING in Rheinland-Pfalz*. Kiel : IPN Leibniz-Institut f. d. Pädagogik d. Naturwissenschaften an d. Universität Kiel, 1998

[42] Sandhoff, K. ; Urban, K. ; Jahn, D.: *Stellungnahme zum "integrativen naturwissenschaftlichen Unterricht" in der Jahrgangsstufe 5 / 6*. Bad Honnef: Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, 2006

[43] Bastille, A. ; Graf, I. ; Kehrberg, A. ; Peter-Wehner, A. ; Schwier, H.-J.: *Fachlehrplan Grundschule - Sachunterricht*. Halle: Sachsen-Anhalt Kultusministerium, 2007

[44] Bildung Bayern, Ministerium für: *Lehrplan plus - Heimat und Sachunterricht*. München: Ministerium für Bildung Bayern

[45] Bildung Saarland, Ministerium für: *Kernlehrplan Sachunterricht Grundschule*. Saarbrücken: Ministerium für Bildung Saarland, 2010

[46] Carstens, A. ; Leißling, G. ; Ommen, T. ; Rahe, P. ; Stein, M. ; Wald, A. ; Wiewiorra, A.: *Kerncurriculum für die Grundschule, Schuljahrgänge 1-4, Sachunterricht*. Hannover: Niedersächsisches Kultusministerium, 2006

[47] Erler, I.: *Lehrplan Grundschule - Sachunterricht*. Dresden: Sächsisches Staatsministerium für Kultus, 2004

[48] Kleinschnieder, A.: *Rahmenplan Grundschule - Teilrahmenplan Sachunterricht*. Mainz: Ministerium für Bildung, Frauen und Jugend, 2006

[49] Kultusministerium, Hessisches: *Rahmenplan Grundschule*. Wiesbaden: Hessisches Kultusministerium, 1995

[50] Michalik, K. ; Kelpe, M. ; Bischoff, M. ; Keßler, E. ; Renz, W.: *Bildungsplan Grundschule - Sachunterricht*. Hamburg: Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung, 2011

[51] Bildung, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein Ministerium f. Wissenschaft: *Lehrplan Grundschule - Heimat- und Sachunterricht*. Kiel: Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein

[52] Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern, Landesinstitut für Schule und ; Medien Brandenburg, Landesinstitut für Schule und ; Medien, Berliner L.: *Rahmenlehrplan Grundschule*. Berlin: Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg and Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport Berlin and Ministerium für Bildung and Wissenschaft und Kultur des Landes Mecklenburg-Vorpommern, 2004

[53] Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern, Landesinstitut für Schule und ; Medien Brandenburg, Landesinstitut für Schule und ; Bildung Berlin, Landesinstitut für Schule und: *Rahmenplan Grundschule Sachunterricht*. Mecklenburg-Vorpommern: Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur des Landes Mecklenburg-Vorpommern, Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg and Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport Berlin, 2004

[54] Medien Brandenburg, Landesinstitut für Schule und ; Medien, Berliner L. ; Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern, Landesinstitut für Schule und: *Rahmenlehrplan Grundschule*. Brandenburg: Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg and Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport Berlin and Ministerium für Bildung and Wissenschaft und Kultur des Landes Mecklenburg-Vorpommern, 2004

[55] Bildung, Jugend und S.: *Lehrplan für die Grundschule und für die Förderschule mit dem Bildungsgang Grundschule*. Thüringen: Thüringer Ministerium für Bildung, Jugend und Sport, 2015

[56] Vogel, B.: *Sachunterricht - Bildungsplan für die Primarstufe*. Bremen: Senator für Bildung und Wissenschaft, 2007

[57] Sommer, B.: *Richtlinien und Lehrpläne für die Grundcshule in Nordrhein-Westfalen*. Düsseldorf: Ministerium für Schule und Weiterbildung, 2008

[58] Bildung Baden Württemberg, Ministerium für: *Fächerverbund Mensch, Natur und Kultur*. Stuttgard: Ministerium für Bildung Baden Württemberg

[59] Freiheit, B: *Stoffen, ihren Eigenschaften und Veränderungen auf der Spur - eine neue alltags- und schülerorientierte Konzeption zur Vermittlung physikalisch-chemischer Inhalte im Sachunterricht der Jahrgangsstufen 3 und 4*. Rostock, Universität Rostock, Diss., 2008

[60] Al-Shamery, K. ; Arshadi, N. ; Beckhaus, S. ; Beckhaus, R. ; Berg, J. ; Dunker, N. ; Einsiedel, H. ; Fickenfrerichs, H. ; Gmehling, J. ; Jansen, W. ; Kometz, A. ; Lühkren, A. ; Oetken, M. ; Ottermann, D. ; Parchmann, I. ; Peper-Bienzeisler, R. ; Wilms, M.: *CHEMOL-Heranführen von Kindern im Grundschulalter ab Chemie und Naturwissenschaften*. Oldenburg: Universität Oldenburg, 2002

[61] Kahlert, J. ; Demuth, R.: *Wir experimentieren in der Grundschule - Teil 1*. Köln: Aulis Verlag Deubner, 2007

[62] Kahlert, J. ; Demuth, R.: *Wir experimentieren in der Grundschule - Teil 2*. Köln: Aulis Verlag Deubner, 2008

[63] Kelch, D. ; Koeck, U. ; Pötter, m. ; Pommeranz, H.P. ; Ines, S.: *Kurslehrplan Sekundarschule Angewandte Naturwissenschaften Sachsen-Anhalt*. Halle: Kultusministerium Sachsen-Anhalt, 2015

[64] Schulentwicklung Hamburg, Landesinstitut für Lehrerbildung und: *Bildungsplan Gymnasium - Naturwissenschaften/Technik*. Hamburg: Behörde für Schule und Berufsbildung, 2011

[65] Bildung Bayern, Ministerium für: *Lehrplan der Jahrgangsstufe 5, Bayern*. München: Ministerium für Bildung Bayern

[66] Bildung Bayern, Ministerium für: *Lehrplan der Jahrgangsstufe 6, Bayern*. München: Ministerium für Bildung Bayern

[67] Kultusministerium, Hessisches: *Rahmenplan Naturwissenschaften Sekundarstufe I Hessen*. Hessen: Hessisches Kultusministerium, April 1996

[68] Jung, U. ; Leerhoff, G. ; Lochstedt, H. ; Ramien, M.: *Kerncurriculum für die Realschulen Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover: Niedersächsisches Kultusministerium, 2007

[69] Bodendiek, K. ; Braun, C. ; R., Wohlberedt.: *Kerncurriculum für die Hauptschule Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover: Niedersächsisches Kultusministerium, 2007

[70] Behrends, S. ; Dorn, A. ; Könneker, C. ; Stabenow, F. ; Weinrich, S. ; Schütte-Göbel, N.: *Kerncurriculum für die Oberschule Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover: Niedersächsisches Kultusministerium, 2013

[71] Achtermann, K.: *Kerncurriculum für das Gymnasium Naturwissenschaften Niedersachsen*. Hannover: Niedersächsisches Kultusministerium, 2007

[72] Ministerium, Thüringer: *Lehrplan für die Regelschule Thüringen Mensch-Natur-Technik*. Erfurt: Thüringer Ministerium, 2009

[73] Bildung, Wissenschaft und K.: *Lehrplan für den Erwerb des Hauptschul- und des Realschulabschlusses in Thüringen - Natur und Technik*. Erfurt: Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, 2012

[74] Bildung Saarland, Ministerium für: *Lehrplan Naturwissenschaften Gymnasium Saarland*. Saarbrücken: Ministerium für Bildung und Kultur, 2012/13

[75] Bildung, Wissenschaft und K. f.: *Rahmenplan Naturwissenschaften*. Mecklenburg Vorpommern: Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, 2010

[76] Leutert, H. ; Zöllner, H. ; Kosche, H.: *Rahmenlehrplan Naturwissenschaften*. Potsdam: Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg, August 2002

[77] Bildung, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein Ministerium f. Wissenschaft: *Lehrplan Naturwissenschaften Schleswig-Holstein*. Kiel: Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein

[78] Gropengießer, K ; Hollmann, H ; Proll, B. ; Seiffert, M. ; Sievers, H.: *Rahmenplan Naturwissenschaften - Bildungsplan Integrierte Gesamtschule Hamburg*. Hamburg: Behördefür Bildung udn Sport, Hamburg, 2003

[79] Möller, K.: Primary Science - ein internationaler Überblick. In: *GDCP, Naturwissenschafter Unterricht im internationalen Vergleich* (2007), S. 98–121

[80] Koch, A.: *Bilingualer naturwissenschaftlicher Anfangsunterricht*, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Diss., 2005

[81] Council, National R. ; Washington, National Research C. (Hrsg.): *National Science Education Standards*. National Academy Press, 1996

[82] Blaseio, B ; Kahlert, J. (Hrsg.) ; Fölling-Albers, M. (Hrsg.) ; Götz, M. (Hrsg.) ; Hartinger, A. (Hrsg.) ; Miller, S. (Hrsg.) ; Wittkowske, S. (Hrsg.): *Sachunterricht in Schweden*. Bad Heilbrunn : Julius Klinkhardt, 2015

[83] Bildung Bern, Ministerium für: *Natur-Mensch-Mitwelt*. Bern: Lehrplan für die Volksschule des Kantons, 1995

[84] Freienberg, J. ; Krüger, W. ; Lange, G. ; Flint, A.: Chemie fürs Leben auch schon in der Sekunderstufe I - geht das? In: *Chemkon* (2001), Nr. 2, S. 67–75

[85] Tempel, R. ; Kloos, C.: *Praxisratgeber Schulgarten*. Bad Kreuznach: Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz, November 2013

[86] Lippe, Biologische S.: *Ein Garten macht Schule - Buddeln für den Burger*. Schieder- Schwalenberg: Biologische Station Lippe, 2005

[87] Goebel, S.: *Schulgärten - Die Bedeutung von Naturerfahrungen. Der tsellenwert von Schulgärten in den Lehrplänen der einzelnen Bundesländer.* Alfter, Alanus Hochschule, Fachbereich Bildungswissenschaft, Diplomarbeit, 2012

[88] Walder, F.: *Der Schulgarten in seiner Bedeutung für Unterricht und Erziehung*. Bad Heilbrunn : Klinkhardt, 2002

[89] DPA: Nur in Thüringen steht der Schulgarten auf dem Lehrplan. In: *Thüringer Allgemeine* (2014)

[90] akademie nua: natur-und u.: *NUAncen - Forum der Natur und Umweltschutz-Akademie NRW*. https://www.nua.nrw.de/publikationen/nuancen/, Abruf: 26.04.2018

[91] Nordrhein-Westfalen, NABU: *Schmetterlingsfreundliche Gärten gesucht*. https://nrw.nabu.de/tiere-und-pflanzen/aktionen-und-projekte/zeit-der-schmetterlinge/schulgarten/, Abruf: 26.04.2018

[92] Birkenbeil, H. ; Ehrentreich, M. ; Molitor, W. ; Bisinger, I. ; Laumanns, H. ; Herrn, C.-P.: *Gärtnern macht Schule*. Stauttgart: Ministerium für Ernährung and Ländlichen Raum Baden Württemberg and Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden Württemberg, Februar 2003

[93] Benkowitz, D.: *Bundesarbeitsgemeinschaft Schulgarten e.V.* https://www.bag-schulgarten.de/index.php?id=21, Abruf: 27.03.2018

[94] Schulgarten, Bundesarbeitsgemeinschaft: *Cottbuser Appell*. Cottbus: Bundesarbeitsgemeinschaft Schulgarten e.V., September 2015

[95] e.V., Deutsche UNESCO-Kommison: *Bildung für nachhaltige Entwicklung*. https://www.unesco.de/bildung/bne.html, Abruf: 26.04.2018

[96] e.V., Deutsche UNESCO-Kommison: *Jahresbericht 2010*. Bonn: Organsiation der Vereinten Nationen für Bildung, Wissenschaftt und Kommunikation, März 2011

[97] Benkowitz, D. ; Goldschmidt, B: Heute für morgen säen - Schulgarten als Perspektive. In: *Tagungsband Bundesschulgartentag* (2017), S. 17–21

[98] Walter, D.: Zahlen alamierend: Schüler meiden Chmeie und Physik. In: *Merkur-Zeitung* (2014)

[99] Wilbrand-Donzelli, N.: So viel sollten Schüler von Biolgie, Chemie und Pyhsik verstehen. In: *t-online* (2015)

[100] Olefins, S: Sudie: Chemie und Physik sind die unbeliebtesten Schulfächer. In: *Analytik News* (2005)

[101] Giest, H.: *Zur Didaktik des Sachunterrichts*. Potsdam: Universität Potsdam, 2009

[102] Hoff, M. ; Niemeyer-Lüllwitz, A. ; Rfflenbeul, B. ; Henning, M.: *Naturnahes Schulgelände*. 3. Essen: natur- und umweltschutz-akademie nrw, 2004

[103] Kultus, Sächsisches S.: *Aus Grau macht Grün!* https://www.schulgarten.sachsen.de/download/schulgarten/2016-06-13_Flyer-10.Schulgartenwettbewerb-web.pdf, Abruf: 30.06.2018

[104] Berlin, Lenne A.: *Grün macht Schule*. http://www.lenne-akademie.de/Broschure_SGW_2017, Abruf: 30.06.2018

[105] Capri-Sun: *Der bundesweite Schulgartenwettbewerb 2016*. http://wwv.capri-sun.com/de-de/bio-produkte/schulgartenwettbewerb-2016/, Abruf: 30.06.2018

[106] Jäger, Cornelia: *Schulgärten in Sachsen-Anhalt - eine Erhebung an Grund- und Förderschulen*. Halle: Umweltbildungsprojekt im Lehrgarten der Francheschen Stiftungen, 2014

[107] Staatsregierung, Bayrische: *Schulgärten blühen auf!* 1. München: Bayrisches Staatsminesterium für Bildung und kultus, Wissenschaft und Kunst., März 2015

[108] Alisch, J.: Schulgärten und naturnah gestaltetes Schulgelände in Baden-Würrtemberg - eine empirische Untersuchung. In: *Schulgelände zum Leben und Lernen*. Books on Demand, 24.11.2005 (4), S. 7–37

[109] Benkowitz, D. ; Köhler, K. ; Lehnert, H.-J.: Ein unterschätzer Allrounder mit hohem ENtwicklungspotential: der Schulgarten als Lernort. In: *Zeitschrift für Erziehungswissenscaft und Fachdidaktik* 77 (2011), Nr. 76

[110] Steinberger, R.: Schulgärten in Bayern. In: *Bayerischer Landtag* 339 (2014), Nr. 17

[111] Grabarse, I.: *Stellenwert von Schulgärten und Gartenarbeitsschulen im Rahmen der Bildung für eine Nachhaltige Entwicklung*. Berlin, TU Berlin, Diplomarbeit, 2006

[112] Krüger-Danielson, H. ; Meil-lachmann, N. C.and W. C.and Winkler ; Danielson, U.q: *Bildung für Berlin - Berliner Gartenarbeitsschulen*. 6.000. Berlin: Senatsverwaltungfür Bildung, Wissenschaft und Forschung, Oktober 2010

[113] PZN: *Pädagogisches Zentrum für Natur und Umwelt*. http://www.pznu-cottbus.de, Abruf: 15.05.2019

[114] FlorAtrium: *Landesverband der Gartenfreunde Bremen*. http://www.gartenfreundebremen.de/index.php?id=199, Abruf: 20.04.2018

[115] Schulentwicklung Hamburg, Landesinstitut für Lehrerbildung und: *Schulgarten Hamburg*. http://www.schulgarten-hamburg.de/?q=node/4, Abruf: 20.04.2018

[116] Wittkowske, S. ; Lau, J.: *Schulgärten in Niedersachsen - eine Darstellung der aktuellen Situation an allgemienbildenden Schulen*. Vechta: Universität Vechta, September 2014

[117] Falk, G ; Mülbredt, P.: *Schule als Garten*. http://www.bund-koeln.de/themen_und_projekte/umweltbildung/kompetenznetzwerk_schule_als_garten/, Abruf: 26.04.2018

[118] Mülbredt, P.: *Kompetenzschule macht Garten*. http://www.koeln-agenda.de/archiv_projekte/Schule_als_Garten, Abruf: 25.04.2019

[119] Tschiedel, V.: *Rahmenlehrplan Naturwissenschaften für die weiterführenden Schulen in Rheinland-Pfalz*. Mainz: Ministerium für Bildung, Wissenshaft, Jugend und Kultur, 2010

[120] Goldschmidt, B ; Schiwek, O.: *Schulgärten in Rheinland Pfalz*. https://nachhaltigkeit.bildung-rp.de/schulische-netzwerke/schulgartennetzwerk/uebersicht.html, Abruf: 18.04.2016

[121] Verbraucherschutz, Ministerium für Umwelt und: Umweltministerium unterstützt Schulgarten in Merchweiler - Minister Jost bei Eröffnung. In: *Saarland - Netzwerke* (05.2015)

[122] Kultus Freistaat Sachsen staatsministerium f.: *Portal für Schulgarten- und Schulgeländegestaltung*. https://www.schulgarten.sachsen.de, Abruf: 27.04.2019

[123] Bömer, B. ; Fahrenhorst, H. ; Flinkerbusch, H. ; Knopff, H. ; Nötzold, I. ; Rist, U. ; Roer, W. ; Rüland, M. ; Schreiber, E. ; Schuh, W. ; Trendel, G. ; Kasprzak, T. ; Schäpers, B.: *NAWIgator*. Bd. 1. Stuttgart : Klett, 2005

[124] Kastner, R. ; Konopka, H.-P. ; Müller, R.: *Netzwerk-Naturwissenschaften*. Braunschweig : Schroedel, 2011

[125] Bresler, S. ; Heepmann, B. ; Hörter, C. ; Lichtenberger, J. ; Muckenfuß, H. ; Kleesattel, W. ; Lilienthal, M. ; Müller, S ; Schopfer, H. ; Schüler, L. ; Seufert, H. ; Schroeder, W.: *Naturwissenschaften - Natur und Technik*. Bd. 1. Berlin : Cornelsen, 2012

[126] finder focus: *Schrebergarten 84408538, lizenzierte Abbildung*. www.stock.adobe.com/de

[127] Bauhaus: *Gießkannen*. https://www.bauhaus.info/giesskannen-sprueher/c/10001024

[128] Collin, C. ; Flint, A.: *Chemie fürs Leben – neue Unterrichtskonzeption für chemische Aspekte im Naturwissenschaftsunterricht in der Orientierungsstufe und für den Chemieanfangsunterricht*. Rostock, Universität Rostock, Diss., 2016

[129] Lehrmittel: *Würfel zur Dichtebestimmung*. https://meinlehrmittel.de/de/mathematik-naturwissenschaft/physik/3b-scientific-physik/mechanik/dichte-volumen/wuerfel-dichtebestimmung

[130] Duit, R.: Wärmevorstellungen. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie* 13 (1986), S. 30–33

[131] Tiberghien, A.: Modes and conditions of learning – an example: The learning of some aspects of the concept of heat. In: Archenhold, W. F. (Hrsg.) ; Driver, R. (Hrsg.) ; Orton, A. (Hrsg.) ; Wood-Robinson, C. (Hrsg.): *Cognitive development research in science and mathematics. Proceedings of an international seminar*. Leeds, 1980, S. 288–309

[132] Duit, R.: Vorstellungen und Lernen von Physik und Chemie. Zu den Ursachen vieler Lernschwierigkeiten. In: *Plus Lucis* 2 (1995), S. 11–18

[133] Wagner, T.: *Energie im Chemieunterricht. Eien neue experimentelle Unterrichtskonzeption für die Sekundarstufe I und II*. Rostock, Universität Rostock, Diss., 2018

[134] Thalia: *Kids at work: Schrauberzieher magnetische Spitze*. https://www.thalia.de/shop/home/rubrikartikel/ID30501811.html?ProvID=11000526, Abruf: 16.01.2018

[135] Amazon: *Magnetisches Gewürz-Regal*. https://www.amazon.de/GewÃijrzstÃď nder-magnetisch-GewÃijrz-Regal-Edelstahl-MagnetstÃď nder/dp/B00VRNAVQ2?SubscriptionId=AKIAIZF3JPTRLCJOAW4Q&tag=gewurzkarussell-21&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=B00VRNAVQ2

[136] Magna-C: *Magna-C -Shop für Magneten*. https://www.magna-c.de/Magnetische-Halterungen-und-Behaeltnisse/Magnetische-Halterungen/Werkzeughaftpunkt-an-Maschinen.html

[137] Bergstedt, C.: *Boden*. Berlin : Volk und Wissen, 2012 (1. Auflage)

[138] Bablick, D.: *Boden. Schüler-und handlungsorientierte Materialien für den Fächerverbund Pysik, Chemie, Biologie*. Donauwörth : Auer Verlag, 2013

[139] VCÖ: Zauberwerk Boden. In: *molecool. Die Welt der Naturwissenschaften* 39 (2015), Nr. 1

[140] phlora.com: *Mischkultur: Gemüsebeete für die Hauptkultur planen*. http://phlora.de/gemuesebeete-hauptkultur-planen/#lightbox/1/, Abruf: 16.01.2018

[141] Gartenzenter, Dehner: *Pflanzkartoffel Holländischer Erstlinge*. https://www.dehner.de/pflanzen-pflege-saemereien-pflanzkartoffeln/Pflanzkartoffel-Hollaendische-Erstlinge-X002001360/?ac=518401, Abruf: 22.01.2018

[142] Kultus, Jugend und S. f.: *Biologie, Naturphänomene und Technik*. Stuttgart: Ministerium für Kultus, Jugend und Sport, März 2016

[143] Kickuth, R. ; Stephani, R.: *Viktor Obendraufs schöne Experimente*. 69251 Gaiberg : Rubikon, 2016 (1. Auflage 2016)

[144] Buchleither, Y. ; Reske-Hendler, D.: *Unterrichtsmaterialien zum Thema Boden*. Karlsruhe : Regierungspräsidium Karlsruhe, 2003

[145] Michaelis, J. ; Flint, A.: *Chemie fürs Leben am Beispiel von Zitronesaft und "Rohrfrei"*. Rostock, Universität Rostock, Diss., 2016

[146] Blume, H-P. ; Brümmer, G. ; Horn, R. ; Kandeler, E. ; Kögel-Knabner, I. ; Kretzschmar, R. ; Stahr, K. ; Wilke, B.-M.: *Lehrbuch der Bodenkunde*. Heidelberg : Spektrum Verlag, 2010 (16)

[147] Verlag, Spektrum A.: *humides Klima*. https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/humides-klima/7143, Abruf: 11.06.2018

[148] Verlag, Spektrum A.: *Trockenstress*. https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/trockenstress/8287, Abruf: 11.06.2018

[149] VCÖ: Chemie im Garten. In: *molecool. Die Welt der Naturwissenschaften* 35 (2014), Nr. 1

[150] Spektrum: *Lexikon der Geowissenschaft. Huminstoffe*. http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/huminstoffe/7151, Abruf: 28.02.2017

[151] Hellberg-Rode, G.: *Ich und der Boden. Themenmappe für die Jahrgangsstufe 5/6*. Schleswig-Holstein: PING, 2004

[152] Groteklaes, M. ; Römpp-Redaktion: *Calciumcarbonat*. https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-03-00121, Abruf: 27.03.2017

[153] Eleveld, M.: *Die lebende Welt der Weichtiere*. http://www.weichtiere.at/Muscheln/index.html?/Muscheln/einleitung.html, Abruf: 13.02.2017

[154] Amelingmeier, E. ; Römpp-Redaktion: *Aragonit*. https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-01-03118, Abruf: 27.03.2017

[155] Martin, U. ; Kasang, D. ; Marek, R. ; Sucher, J.: *Bodenwerkstatt. Kompetenzerwerb durch Experimentieren*. Hamburg : Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung, 2009

[156] Augner, D.: *Laborversuche an Bodenproben - Ermittlung von Bodenkenngrößen*. Hamburg: Deutsche Brunnenbauertage und BAW-Baugrundkolloquium, 2014

[157] Foth, H.-J. ; Bockhorn, H.: *Römmp - Dichte*. Thieme, 2014

[158] Meier, C.: *Brücken, die Sand verbinden*. Göttingen: Max-Planck-Institut

[159] Lenz, B. ; Schwilgnin, A. ; Jessen, C. ; Topf, H. ; Bendixen, M: *Boden. Eine kontextorientierte Unterrichtseinheit für den NaWi-Unterricht in den Klassenstufen 5 und 6*

[160] Hülsenberg, D.: *Römmp - Ton*. Thieme, 2012

[161] Bacher, C.: *Lehmbau in Europa*. http://www.lehmhaus.net/lehmbau-europa.html, Abruf: 29.03.2017

[162] Steinbach, E.: Vor- und Nachteile der Dämmstoffe. In: *Merkur-Zeitung* (2016)

[163] Brück, D.: *Wohnen wie im Märchenbuch*. http://www.stern.de/wirtschaft/news/oeko-lehmhaeuser--wohnen-wie-im-maerchen-6346760.html. Version: 2015, Abruf: 20.02.2017

[164] Bacher, C.: *Nachteile der Lehmbauweise*. http://www.lehmhaus.net/nachteile-lehmbau.html, Abruf: 20.02.2017

[165] Bacher, C.: *Bekannte Lehmbauten*. http://www.lehmhaus.net/bekannte-lehmbauten.html, Abruf: 20.02.2017

[166] Bartels, A. ; Fallert-Müller, A. ; Greulich, W. ; Kilian, U. ; Kretschmar, K. ; Strehl, L. ; Weller-Essers, A.: *Lernhelfer. Bodenarten*. https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/biologie-abitur/artikel/bodenarten, Abruf: 19.02.2017

[167] Moll, S.: *Wissen macht Ah - Vermarium*. http://www.wdr.de/tv/wissenmachtah/bibliothek/vermarium.php5, Abruf: 14.03.2017

[168] Wuppertal: *Regenwürmer beobachten*. https://www.wuppertal.de/rathaus-buergerservice/medien/dokumente/Teil3_VE12_Regenwurmkasten.pdf, Abruf: 14.03.2017

[169] Buchmann-Beecken, B.: *Bauanleitung Regenwurmkasten*. http://www.naturerlebnis-grabau.de/assets/Uploads/1-Bauanleitung-Regenwurmkasten-plus-Regenwurminfos.pdf, Abruf: 14.03.2017

[170] Samenhaus: *Sämerei und Zubehör - Bio-Gartenkresse*. https://www.samenhaus.de/kresse-bio-gartenkresse-30-g-von-kiepenkerl/a-3010/, Abruf: 17.01.2018

[171] Smyth, T.: *Ein Kresse-Experiment*. https://www.abc-kinder.de/ein-kleiner-versuch-mit-pflanzen-ein-kresse-experiment/, Abruf: 15.06.2018

[172] comtohelp: *Computerservice*. http://www.com2help.de/technics/led_lamp.htm, Abruf: 17.01.2018

[173] Schmidt, S.: *Experimente mit Aha-Effekt*. Mainz: Zukunftinitiative Rheinland-Pfalz

[174] sunflair: *Schneeglöckchen*. https://pixabay.com/de/frÃijhling-schneeglÃűckchen-blume-1166564/, Abruf: 06.07.2018

[175] Hasenpusch, W.: Schneeglöckchen - die ersten Frühlingsboten. In: *Chemie- Leben-Biotechnik* (2015), 12, Nr. 66, S. 500–504

[176] Stoffdatenbank, Gestis: *Ethylenglykol*. http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates&fn=default.htm&vid=gestisdeu:sdbdeu, Abruf: 15.06.2018

[177] Bayrisches Staatsminesterium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (Hrsg.): *Lernort Boden. Schadstoffe im Boden*. Bayern: Bayrisches Staatsminesterium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

[178] Anscheit, K.: *„Chemie fürs Leben" - Bier, Baby-Öl und Essig-Essenz*. Rostock, Universität Rostock, Diss., 2013

[179] Hagenmüller, K. ; Markic, S.: *Nawi-Forscherheft: Wasser - Stoff und Lebensraum*. AOL Verlag, 2014

[180] Hellberg-Rode, G.: *Ich und das Wasser. Themenmappe für die Jahrgangsstufe 5/6*. Schleswig-Holstein: PING, Juli 2008

[181] Hübinger, R. ; Emden, M. ; Sumfleth, E.: *Wasser - die vielen Gesichter eines Stoffes. Materialien für den naturwissenschaftlichen Unterriht für die Klassen 5/6*. Universität Duisburg-Essen: scheringstiftung, Mai 2009

[182] Bablick, D.: *Wasser. Schüler-und handlungsorientierte Materialien für den Fächerverbund Pysik, Chemie, Biologie*. Doanuwörth : Auer Verlag, 2013

[183] Hellberg-Rode, G.: *Ich und die Luft. Themenmappe für die Jahrgangsstufe 5/6*. Schleswig-Holstein: PING, September 2008

[184] Kiel, IPN: *Luft und Fliegen*. Kiel: IPN

[185] Jannig, L.: *Wasser. Selbstständiges Experimentieren lernen in Klassenstufe 5/6*. Hamburg: Behörde für Schule und Berufsbildung, Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung, Juni 2009

[186] Wagner, W.: *Demonstration der Erstarrungswärme von Wasser*. http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/experimente/chembox/t_erstarr/t_erstarr_h2o.htm, Abruf: 17.03.2014

[187] Collin, C.: *Chemie fürs Leben – neue Unterrichtskonzeptionen für chemische Aspekte im Naturwissenschaftsunterricht in der Orientierungsstufe und für den Chemieanfangsunterricht*. Rostock, Universität Rostock, Diss., 2008

[188] Reinke, A.: *Von der Teilchenvorstellung zum differenzierten Atommodell*. – unveröffentlichte Dissertation

[189] Schwefer, D.: *Nela forscht*. https://www.nela-forscht.de/2012/04/01/luft-sichtbar-machen/, Abruf: 13.05.2016

[190] Luck-Haller, E. ; Bösche-Teuber, R. ; Bargs-Stahl, E. ; Schuster, A.: *Forscher und Forscherin werden*. Hallerstraße 6, Berlin: Verband der Chemischen Industrie e.V., Landesverband Nordost, 2015

[191] Lange, G.: *Chemie fürs Leben, Feuer und Flamme. Experimente und Informationen rund um die Kerze*. Rostock: Universität Rostock

[192] Kremer, A. ; Stäudel, L.: *Fächerübergreifender Unterricht Naturwissenschaften - Baustein Feuer*. Soest: Landesinstitut für Schule und Weiterbildung

[193] Bautz, M. ; Baden-Baden, Pressebuero: *Feuer und Luft - So macht Chemie Spaß - einfache Experimente*. Heidelberg: Chemieverbände Baden Würrtemberg, 2009

[194] k.A.: *Abenteuer Lernen - Feuer und Flamme*. 2009

[195] Stöckl, E. ; Worg, R.: *Lernzirkel zum Thema Feuer*. München: Staatsinsitut für Schulpädagogik und Bildungsforschung München, September 2003

[196] Batz, O. ; Gemmer, B. ; Haxel, M. ; Hechler, M. ; Hengel, C. ; Hörl, A. ; Krönert, R. ; Lehmann, G. ; Leidinger, r. ; Reiche, A. ; Sauer, G. ; Slaby, P.: *Handreichung für den Lernbereich Naturwissenschaften in den Jahrgangstufen 5 und 6*. Wiesbaden: Hessisches Kultusministerium Amt für Lehrerbildung, 2007

[197] Verlag, Spektrum A.: *Lexikon der Chemie*. https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/brennstoffe/1320, Abruf: 03.02.2020

[198] Bauhaus: *Grillanzünder*. https://www.bauhaus.info/grillanzuender-anzuendkamine/c/10001293, Abruf: 28.05.2018

[199] SWR: *Kann man mit Eis Feuer machen?* https://www.planet-schule.de/frage-trifft-antwort/video/detail/kann-man-mit-eis-feuer-machen.html, Abruf: 28.05.2018

[200] Leiber, C.-O.: *Zündhölzer*. https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-26-00619

[201] Rossow, M.: *Chemie fürs Leben – eine neue Unterrichtskonzeption von der Einführung der Oxidationsreaktionen bis zur Erweiterung des Redox-Begriffes und Anknüpfungspunkte für die Sekundarstufe II*. Rostock, Universität Rostock, Diss., 2007

[202] GmbH, Gloria: *Tragbare Feuerlöscher*. http://www.gloria.de/Products/Pages/PortableFireExtinguishers.aspx, Abruf: 29.05.2018

[203] Antranias: *Feuerlöscher*. https://pixabay.com/de/feuerlÃűscher-feuer-feuerlÃűschen-712975/, Abruf: 05.07.2018

[204] Feuerlöschtechnik, Safety: *Brandklassen Feuerlöscher*. https://www.safety-feuerloeschtechnik.de/brandklassen.html, Abruf: 29.05.2018

[205] Feuerwehrschulen, Staatliche: *Löschmittel - Löschverfahren*. Würzbürg: Staatliche Feuerwehrschule Würzburg, Februar 2004

Erklärung der Urheberschaft

„Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Dazu habe ich keine außer den von mir angegebenen Hilfsmitteln und Quellen verwendet und die den benutzten Werken inhaltlich und wörtlich entnommenen Stellen habe ich als solche kenntlich gemacht.“„Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die anderen Werken vom Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, habe ich unter Angabe der Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht. Mir ist bekannt, dass gemäß § 17 der Rechtsverordnung die Prüfung wegen einer Pflichtwidrigkeit für nicht bestanden erklärt werden kann.“

Juliane Wagner

Curriculum Vitae

Geboren	21.09.1988 in Stralsund
Familienstand	verheiratet, 2 Kinder
Staatsangehörigkeit	deutsch

Ausbildung

03|2008	Abitur an der Integrierten Gesamtschule Mainz Bretzenheim
10|2008 - 03|2009	Studium an der Philipps-Universität Marburg Lehramt für Gymnasien in der Fächerkombination Chemie/Geschichte
04|2009 - 10|2014	Studium an der Universität Rostock Lehramt für Gymnasien in der Fächerkombination Chemie/Biologie Abschluss „sehr gut“ (1,3)
08|2014 –07|2018	Promotionsstudium an der Universität Rostock Institut für Chemie/Abteilung Didaktik der Chemie
08|2018 - 07|2019	Elternzeit
08|2019 - 09|2020	Studienreferendarin am Filmgymnasium Babelsberg Abschluss „sehr gut“ (1,4)
seit 09|2020	Lehrerin am Mediencampus Babelsberg