

Sicherheit und Entsorgung im Chemieunterricht anhand von ausgewählten Experimenten

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades
einer Magistra der Naturwissenschaften (MAG.^ARER. NAT.)

an der Karl-Franzens-Universität Graz

vorgelegt von

Angelika BÖHM

am Institut für Chemie

Begutachter: AO. UNIV.-PROF. MAG. RER. NAT. DR. PHIL. MARTIN MITTELBACH

Mitbetreuerin: MAG.^AJOSEFINE JARITZ

Graz, 2018

Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Stellen die direkt oder indirekt aus Quellen übernommen sind, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt oder veröffentlicht.“

Graz, am

.....

(Unterschrift)

Danksagung

Zuallererst bedanke ich mich herzlich bei UNIV.-PROF.MAG. RER. NAT. DR. PHIL. MARTIN MITTELBACH für die Bereitschaft zur Betreuung dieser Arbeit.

Ebenfalls bedanke ich mich sehr herzlich bei MAG.^A JOSEFINE JARITZ, vor allem für die Richtungsweisung bei der Entwicklung meiner Arbeit. Ohne ihre Anregungen und ihr Know-How hätte ich den roten Faden nicht so zielstrebig verfolgen können.

Weiters danke ich meinen Studienkollegen und –kolleginnen, die mich über Höhen und Tiefen des Studiums begleiteten und immer einen guten Rat oder „schlechten“ Scherz auf Lager hatten. Danke Sabrina, Lisa, Ute, Olivia, Yael, Anna und Sebastian für eure Unterstützung und die schöne gemeinsame Studienzeit.

An dieser Stelle danke ich auch meiner Familie, insbesondere meinen Eltern und Großeltern, die mir stets Rückhalt im Leben geben und mir das Studium ermöglichten. Ich könnte mir keine bessere Familie wünschen und bin dankbar euch alle zu haben. Es ist immer wieder schön nach Hause zu kommen.

Schließlich bedanke ich mich bei meinem Partner Bernhard, der meine Launen in der Zeit der Fertigstellung dieser Arbeit ausgehalten und mich immer wieder zum Weitermachen ermutigt hat. Vielen Dank dafür.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	vii
ABSTRACT	viii
1. EINLEITUNG	1
2. Kennzeichnung und Aufbewahrung von Chemikalien vor und nach dem Gebrauch	3
2.1 Richtlinien zur Kennzeichnung von Chemikalien	3
2.1.1 Das GHS-System	3
2.1.2 Etikettierung.....	3
2.1.3 Gefahrenpiktogramme und Signalwörter	5
2.1.4 Gefahren- und Sicherheitshinweise	6
2.1.5 Gefahrenklassen.....	7
2.2 Lagerung von Chemikalien zur Verwendung	7
2.2.1 Gifte.....	7
2.2.2 Säuren und Basen.....	8
2.2.3 Brandgefährliche Stoffe	9
2.2.4 Gase.....	11
2.2.5 Zusammenlagerungsverbot	11
2.3 Sammlung und Lagerung von Chemikalien zur Entsorgung.....	14
2.3.1 Behälter für organische Abfälle, die Halogene oder Schwefel enthalten.....	15
2.3.2 Behälter für organische Abfälle, die KEINE Halogene oder Schwefel enthalten	16
2.3.3 Behälter für Schwermetallsalze	17
2.3.4 Behälter für feste Laborabfälle	18
2.3.5 Behälter für Glasbruch	18
2.3.6 Entsorgung der gesammelten Chemikalien	19
2.4 Verwendung von Chemikalien im Chemieunterricht.....	19
3. Sicherheit im Chemieunterricht	22
3.1 Ausstattung sicherer Chemieräume.....	22

3.1.1 Der Chemiesaal.....	23
3.1.1.1 Brandschutz.....	23
3.1.1.2 Erste Hilfe	24
3.1.1.3 Gasanlagen	26
3.1.1.4 Der Abzug	28
3.1.1.5 Der Demonstrationstisch	28
3.1.1.6 Arbeitsplätze für Lernende.....	30
3.1.1.7 Lagerung von Geräten und Materialien	31
3.1.2 Das Chemiekabinett	32
3.2 Sicherheitserziehung im Chemieunterricht	33
3.2.1 Sicherheitsvorschriften und Verhaltensregeln	33
3.2.1.1 Allgemeine Verhaltensregeln.....	34
3.2.1.2 Verhalten im Notfall.....	35
3.2.1.3 Verhalten beim Experimentieren.....	37
3.2.1.4 Richtiger Umgang mit Gefahrensymbolen.....	41
3.2.2 Die Laborordnung.....	45
3.2.3 Alternative Methoden zum Lernen und Wiederholen von Laborregeln	47
3.2.3.1 Das Sicherheitsplakat	48
3.2.3.2 Labor-Memory.....	48
3.2.3.3 „Tabu“ im Labor	49
3.2.3.4 Laborordnung – Suchpuzzle	50
3.3 Organisation und Strukturierung des Experimentalunterrichts	50
3.3.1 Unterrichtsvorbereitung	51
3.3.1.1 Bereitstellung von Chemikalien für Lernende.....	51
3.3.1.2 Beobachtung von Demonstrationsexperimenten.....	52
3.3.1.3 Gestaltung von Stationenbetrieben	53

3.3.2 Strukturierung des Experimentalunterrichts	54
3.3.2.1 Gruppeneinteilung	54
3.3.2.2 Aufgabenverteilung.....	54
4. Experimenteller Teil	56
4.1 „Untersuchung einer Brausetablette“	58
4.2 „Wasser entzündet Feuer“	63
4.3 „Herstellung von Schwefeleisen“	70
4.4 „Oxidationsstufen des Mangans“	76
4.5 „Blue Bottle“	82
4.6 „Herstellung eines Fruchtesters“	87
5. Verzeichnis	94
5.1 Abbildungsverzeichnis.....	94
5.2 Tabellenverzeichnis	95
5.3Literaturverzeichnis.....	97
6. Anhang.....	105
Anhang 1: Umfrage	105
Anhang 2: Karzinogene und umweltschädliche Stoffe im Chemieunterricht, nach den Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht (RiSU) – Deutschland [31]	106
Anhang 3: Laborordnung.....	108
Anhang 4: Laborordnung.....	111
Anhang 5: Memory 1 – Kopiervorlage	112
Anhang 6: Memory 2 – Kopiervorlage	114
Anhang 7: Tabu im Labor – Kopiervorlage	115
Anhang 8: Laborordnung – Suchpuzzle – Kopiervorlage	117
Anhang 9: Herstellung von Schwefeleisen – Sekundarstufe (I + II)	120
Anhang 10: Herstellung von Eisen(II)sulfid	121
Anhang 11: Zucker ist nicht gleich Zucker	122

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit zwei Fragen. Zum einem, „Welche Bereiche rund um den Chemieunterricht hängen mit der Sicherheit der Lernenden zusammen?“ und zum anderen, „Wie kann diese Sicherheit gewährleistet werden?“

Im Einführungskapitel werden Richtlinien zur Etikettierung und Lagerung von Chemikalien zum Gebrauch und zur Entsorgung behandelt. Die Einhaltung dieser Richtlinien bei der Führung des Kustodiats ist eine präventive Maßnahme gegen chemische Unfälle. In diesem Kapitel wird auch erläutert, welche Chemikalien zur Verwendung im Chemieunterricht in Österreich zugelassen sind. Gegebenenfalls sind Ersatzstoffe angeführt.

Im Anschluss daran wird erläutert, worauf bei der Einrichtung von Chemieräumen Wertgelegt werden muss, um größtmögliche Sicherheit zu gewährleisten. Dabei ist neben der Auswahl der richtigen Lagerschränke und Arbeitsoberflächen vor allem die Anschaffung von Sicherheitsvorrichtungen wie einem Abzug, einer Schutzscheibe sowie Erste-Hilfe-Kästen und Feuerlöschgeräten von Bedeutung.

Die Bearbeitung der Wichtigkeit von Sicherheitserziehung für den Chemieunterricht führte zu der Erkenntnis, dass das Erlernen von Laborregeln für Lernende eine weniger erfreuliche Aufgabe darstellen kann. Um dem Spieltrieb jugendlicher Geister entgegenzukommen wurden mehrere Lernspiele erstellt, die das Wiederholen und Behalten der Regeln erleichtern sollen.

Auch die Organisation und Strukturierung des Unterrichts spielen eine Rolle. Immer wiederkehrende Strukturen im Unterricht dienen den Lernenden als Orientierungshilfe und können mehr Ruhe und Ordnung in den Experimentalunterricht bringen.

Für den experimentellen Teil der Arbeit wurden Versuche ausgewählt, die vermehrtes Gefahrenpotenzial und Probleme bei der Entsorgung mit sich bringen. Der Protokollierung der Experimente folgt jeweils eine Diskussion der Sicherheitsaspekte und Entsorgungshinweise mithilfe derer der Einsatz der Experimente im Chemieunterricht einfacher und sicherer gestaltet werden kann.

ABSTRACT

This Diploma thesis aims to answer two pending questions. The first being, “Which aspects concerning the teaching of chemistry are connected to the safety of students?” and the second question “How can the students’ safety be ensured?”.

The introductory chapter refers to the guidelines for labelling and storage of chemicals, for usage and disposal. The upholding of these guidelines while being the leading custodian is a preventive measure for avoiding chemical accidents. This chapter outlines the chemicals allowed for usage in chemistry teaching in Austria. Where applicable, substitutes are given.

In the following, the required safety measures which have to be taken into consideration when furnishing and installing a chemistry room are explicated to ensure the greatest possible safety. Apart from choosing the appropriate storage locker and work surface, the acquisition of safety devices like outlet, safety pane as well as first aid kit and fire extinguisher are of utmost importance.

The dealing with the significance attributed to the teaching of safety measures in chemistry teaching led to the conclusion that the learning of laboratory rules might be an unpleasant task for students. To adhere to the play instinct of youthful spirits several learning games were developed to facilitate the repetition and memorization of these rules.

Other than the teaching of safety measures, the organization and structuring of teaching plays an important role. Re-occurring structures in chemistry teaching serve as a point of orientation for the students. Whereby a routine can be developed in experiment-centered lessons to avoid chaos.

For the experimental part of this thesis, experiments were chosen which encompass increased risk potential and problems with disposal. Following the written record of the experiments, a discussion of required safety aspects and disposal notes is included; with the assistance of which the application of the experiments is rendered safer in chemistry teaching.

1. EINLEITUNG

Das Experiment wird sowohl von Lernenden als auch von deren Eltern und Lehrpersonen als zentrales Element des Chemieunterrichts angesehen. Schüler und Schülerinnen freuen sich auf Explosionen, Stichflammen und lautes Knallen. So sehr das Experimentieren im Chemieunterricht auch von der Gesellschaft erwartet wird, weckt es in den Hinterköpfen vieler Menschen jedoch Gedanken an Gefahren, die die Experimente mit sich bringen.

In meiner Diplomarbeit *Sicherheit und Entsorgung im Chemieunterricht anhand von ausgewählten Experimenten* beschäftige ich mich mit der Minimierung der Gefahren beim Experimentieren, durch die Schaffung eines sicheren Arbeitsumfeldes und die Erziehung der Lernenden zur Sicherheit.

Im ersten Teil der Arbeit werden die Richtlinien zur Kennzeichnung und Aufbewahrung von Chemikalien vor und nach dem Experimentieren erörtert, da eine gut geführte Chemikaliensammlung und ein strukturiertes Entsorgungssystem bereits als erster Schritt zu einer sicheren Umgebung für den Experimentalunterricht angesehen werden können. Weiters wird diskutiert welche Chemikalien im Unterricht von Lehrenden und Lernenden verwendet werden dürfen.

Der zweite Teil der Arbeit ist der Gefahrenminimierung durch die Einrichtung des Chemiesaals, Sicherheitserziehung und die Organisation des Experimentalunterrichts gewidmet. Neben gesetzlichen Richtlinien werden hier Methoden zur Strukturierung des Unterrichts diskutiert, mithilfe derer das Experimentieren sowohl für Lernende als auch für Lehrende erleichtert werden kann. Die Sicherheitserziehung wird als didaktischer Grundsatz vorgestellt und deren Wichtigkeit im Experimentalunterricht erläutert. Je besser Lernende über Sicherheitsvorschriften und Verhaltensregeln Bescheid wissen und nur, wenn sie diese auch einhalten, können Versuche im Unterricht erfolgreich durchgeführt und beibehalten werden. In diesem Teil der Arbeit sind einige Herangehensweisen beschrieben, mit denen Lernende in das Thema Sicherheit eingeführt werden können. Bei den behandelten Methoden stehen die Akzeptanz der Regeln und die Vermeidung von Furcht beim Experimentieren im Vordergrund.

Der letzte Teil der Arbeit enthält eine Sammlung von Experimenten, welche praktisch von mir durchgeführt wurden um die Aspekte der Sicherheit und Abfalllagerung besser

darstellen zu können. Anhand einer Umfrage¹ und mehrerer Gespräche mit berufserfahrenen Chemie-Lehrenden und der Recherche in Schulbüchern wurden einige Experimente ausgewählt, bei denen Sicherheit und Entsorgung immer wieder Fragen aufwerfen. Um dadurch entstehenden Problemen entgegenzuwirken, wurden praktische Tipps erarbeitet und experimentell ausprobiert. Diese sind den Bearbeitungen der einzelnen Versuche zu entnehmen.

¹ Siehe Anhang 1

2. Kennzeichnung und Aufbewahrung von Chemikalien vor und nach dem Gebrauch

Wie in allen anderen Einrichtungen, in denen mit Chemikalien gearbeitet wird, ist es auch in der Schule von großer Wichtigkeit, dass die verwendeten Stoffe korrekt beschriftet und gelagert werden. Ohne klar ersichtliche und eindeutige Beschriftung ist es nicht möglich eine sichere Lagerung und Handhabung zu gewährleisten. In diesem Kapitel werden allgemeine Richtlinien zur korrekten Beschriftung und Lagerung von Chemikalien, auf die Anwendung in der Schule zugeschnitten, dargestellt, um diese praktisch für Chemie-Lehrende anwendbar zu machen. Die Lagerung bezieht sich hier sowohl auf Chemikalien vor der Verwendung in Experimenten, als auch auf Chemikalien, welche schon verwendet wurden und zur Entsorgung bereitstehen. Auch wenn die Überwachung einer ordnungsgemäß geführten Chemikaliensammlung und die Überprüfung der Sicherheitseinrichtungen, neben vielen anderen, zu den Aufgaben der jeweils amtierenden Kustoden zählt, ist es notwendig, dass auch alle anderen Chemie-Lehrenden über diese Bescheid wissen. [1]

2.1 Richtlinien zur Kennzeichnung von Chemikalien

2.1.1 Das GHS-System

Um die Verwendung und den Handel von Chemikalien einfacher und sicherer zu gestalten, wurde ein global geltendes System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien erstellt. Dieses „Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals“, kurz GHS, wurde auf UN-Ebene festgelegt und muss somit nicht von allen Staaten in der bestehenden Form umgesetzt werden. In der EU wurde jedoch die zweite Überarbeitung des ursprünglichen GHS-Systems übernommen und in Form der CLP-Verordnung eingeführt, welche seit dem 01. Juni 2015 ausnahmslos gültig ist. Die Abkürzung CLP steht für Classification, Labelling and Packaging, zu Deutsch Einteilung, Kennzeichnung und Verpackung. [2]

2.1.2 Etikettierung

Wie bereits unter Punkt 2.1.1 beschrieben, haben Chemie-Lehrende die Pflicht, Stoffe oder Gemische selbstverantwortlich korrekt einzustufen und zu kennzeichnen. Sind auf der Verpackung einer Chemikalie bereits alle Sicherheitshinweise deutlich sichtbar abgebildet, ist es nicht notwendig selbst zu etikettieren. [2] Wenn im Zuge des Unterrichts jedoch Gemische hergestellt oder Stoffe in andere Lagerbehälter umgefüllt werden, muss darauf

geachtet werden, dass der Inhalt fachgerecht eingestuft und das Vorratsgefäß, sowie alle anderen Behälter, die das Gemisch beinhalten, korrekt beschriftet werden.

Um Verschütten des Verpackungsinhalts zu vermeiden müssen Etiketten so angebracht werden, dass deren Aufschrift waagrecht lesbar ist, wenn der Behälter abgestellt ist. [2] Eine Beschädigung des Etiketts kann vermieden werden, indem man dieses mit beständiger, selbstklebender Folie schützt. [3]

Auf Etiketten zur Beschriftung von Chemikalien müssen alle Informationen enthalten sein, die für einen sicheren Umgang mit den betreffenden Stoffen notwendig sind. Dazu gehören Produktidentifikatoren wie der Name, die Bezeichnung nach IUPAC (Internationale Union für reine und angewandte Chemie) und die CAS-Nummer einer Chemikalie. Die CAS-Nummer ist eine Registrierungsnummer und gilt als internationaler Bezeichnungsgrad. Sie wird einer Chemikalie vom Chemical Abstracts Service, einer Institution, die weltweit Publikationen über Chemikalien sammelt und zusammenfasst, zugeordnet. [4] Bei Gemischen sollen neben dem Namen des Gemisches auch die Namen aller darin enthaltenen Bestandteile am Etikett angeführt werden, die für eine Gefahreneinstufung von Bedeutung sind. Weiters müssen auf allen Etiketten die Gefahrenpiktogramme, Signalwörter, Gefahrenhinweise und Sicherheitshinweise vermerkt werden, die der betreffenden Chemikalie zugeordnet sind. Dabei ist darauf zu achten, dass ein Etikett nicht mehr als sechs Sicherheitshinweise enthalten soll. [2]

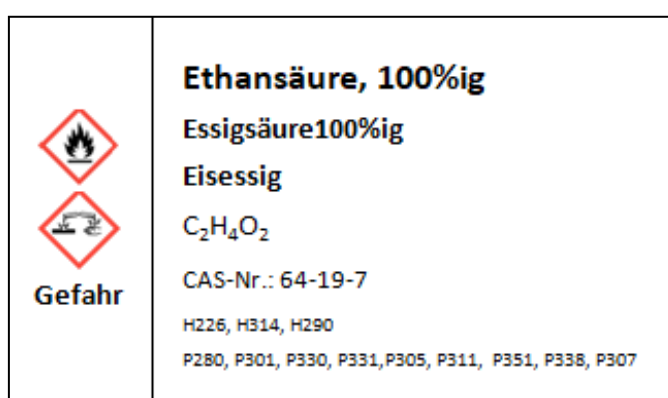


Abbildung 1 - Etikett für 100%-ige Ethansäure nach den Vorgaben der CLP- Verordnung

Abbildung 1 zeigt eines von vielen Etiketten, welche meine Mitstudierenden und ich im Rahmen des Seminars *Anorganisch chemische Schulversuche* unter der Leitung von Frau Mag. Josefine Jaritz an der Karl-Franzens Universität Graz gestaltet haben. Auf diesem sind nicht nur sechs, sondern alle Sicherheitshinweise angeführt, die dem Stoff zugeordnet sind.

Wir haben uns in dem Seminar kollektiv dazu entschieden, dass Nutzern keine Sicherheitshinweise vorenthalten werden sollten.

2.1.3 Gefahrenpiktogramme und Signalwörter

Im Rahmen der Umstellung auf das GHS-System wurden die Gefahrenpiktogramme neu gestaltet. Es handelt sich bei den neuen Piktogrammen um Quadrate mit rotem Rand, welche auf der Spitze stehen und ein schwarzes Symbol auf weißem Hintergrund enthalten. Zusätzlich zu den neuen Gefahrenpiktogrammen wurden zwei sogenannte Signalwörter eingeführt. Einerseits wird das Wort „Achtung“ verwendet, welches für kleine bis mittelschwere Gefahren steht. Andererseits findet das Signalwort „Gefahr“ Anwendung, wenn auf schwerwiegende Gefahren hingewiesen werden soll. Mit der Einführung der Signalwörter fielen die bisherigen Gefahrenbezeichnungen auf den Piktogrammen weg. [2]

GHS01	GHS02	GHS03	GHS04	GHS05
				
Explodierende Bombe	Flamme	Flamme über Kreis	Gasflasche	Ätzwirkung
GHS06	GHS07	GHS08	GHS09	
				
Totenkopf mit Knochen	Ausrufezeichen	Gesundheitsgefahr	Umwelt	

Abbildung 2 – Auflistung der Gefahrenpiktogramme und deren Bezeichnungen [2] [5]

Bei der Planung von Versuchen für den Experimentalunterricht ist stets darauf zu achten, das Gefahrenpotenzial für die Lernenden gering zu halten. Es sollte daher nach Möglichkeit auf Stoffe verzichtet werden, welche explosionsgefährlich (GHS01), gesundheitsschädlich (GHS08) oder gar giftig (GHS06) sind. Lässt sich der Einsatz von Chemikalien, die diese Symbole tragen, nicht vermeiden, ist es besonders wichtig, den Kontakt der Lernenden mit jenen Stoffen möglichst gering zu halten. Weiters ist es sehr wichtig, die Lernenden über die

bestehenden Gefahren aufzuklären, damit mit entsprechender Vorsicht experimentiert werden kann. Bei der Arbeit mit Giften sind eine solche Aufklärung und deren Nachweis auch gesetzlich vorgeschrieben. Im Erlass *Gifte im Chemieunterricht an allgemeinbildenden höheren Schulen* ist dazu folgender Absatz verzeichnet: [6]

Wenn im Unterricht Gifte zur Verwendung kommen, so hat der jeweilige Lehrer die Schüler im erforderlichen Ausmaß über die gebotenen Sicherheits- und Vorsichtsmaßnahmen nachweislich zu informieren. (Bundesministerium für Bildung, 2017)

Meiner Meinung nach ist das Wissen um die Gefahrensymbole und deren Bedeutung nicht nur in Bezug auf Gifte wichtig für Schüler und Schülerinnen. Diese müssen mit allen Gefahrensymbolen umgehen können, da die Lehrperson, besonders bei der Arbeit in Kleingruppen, ihre Aufmerksamkeit nicht auf alle Lernenden gleichzeitig richten kann. In Kapitel 3.2.1.4 werden die Gefahrenpiktogramme mit Augenmerk auf Aspekte der Sicherheitserziehung aufgelistet.

2.1.4 Gefahren- und Sicherheitshinweise

Die Gefahren- und Sicherheitshinweise werden gemeinhin auch als H- und P-Sätze bezeichnet. Hierbei steht das H für das englische „hazard“, was so viel bedeutet wie Gefahr oder Risiko. Das P steht für das englische „precautionary“, welches sich mit dem deutschen Wort vorbeugend übersetzen lässt. Die neuen Hinweise wurden auch mit einem neuen System codiert. Der Code enthält einen Buchstaben und eine dreistellige Ziffernfolge. Hierbei definiert der Buchstabe ob es sich um einen Gefahren- oder Sicherheitshinweis handelt. Die erste Ziffer der Ziffernfolge ordnet den Satz einer Gefahrenklasse zu. Die beiden anderen Ziffern dienen der Nummerierung der Hinweissätze. [2] Abbildung 3 zeigt je ein Beispiel für einen Gefahren- und einen Sicherheitshinweis.

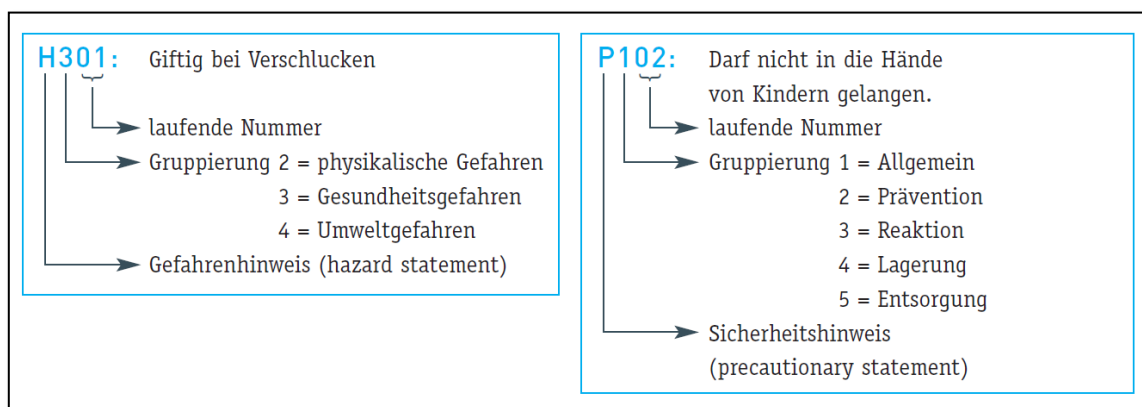


Abbildung 3 – Interpretationsbeispiel für die Bezeichnung eines H- und eines P-Satzes [2]

2.1.5 Gefahrenklassen

Die Gefahrenklassen, welche in der CLP-Verordnung festgeschrieben sind, beschreiben die Art der Gefahr, welche von einem Stoff ausgehen kann. Dabei wird zwischen physikalischen Gefahren, Gefahren für die menschliche Gesundheit und Umweltgefahren unterschieden. [7] Innerhalb dieser drei Arten wird zwischen 28 Gefahrenklassen unterschieden. 16 dieser Klassen sind den physikalischen Gefahren zugeordnet, 10 den Gesundheitsgefahren und 2 den Umweltgefahren. Die einzelnen Gefahrenklassen können, je nach Gefährdungsgrad, weiter in Gefahrenkategorien, Unterkategorien, Differenzierungen und Unterklassen unterteilt werden. [4] In der Bezeichnung von Gefahrensätzen steht, wie in Abbildung 3 ersichtlich, die erste Ziffer für die Art der Gefahr. [2]

2.2 Lagerung von Chemikalien zur Verwendung

Ebenso wie die Geräte und Materialien, welche für den Experimentalunterricht benötigt werden, müssen auch die Chemikalien sachgerecht verwahrt werden. Dabei sind sowohl bauliche, als auch logistische Maßnahmen zu berücksichtigen. Laut der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt (AUVA) und dem Land Steiermark ist es zwar erlaubt Chemikalien im Chemiesaal aufzubewahren, es wird jedoch empfohlen, dies in einem Nebenraum zu tun. Dabei ist darauf zu achten, dass dieser Raum zwei Ausgänge hat und ebenso wie der Chemiesaal selbst, bei Nichtbenützung versperrt ist. [8] [9] Weiters muss darauf geachtet werden, dass die Chemikalien gemäß ihrer Eigenschaften, getrennt aufbewahrt werden. Je nach physikalischen und chemischen Eigenschaften, sowie Gefährlichkeit der zu lagernden Stoffe, müssen unterschiedliche Lagerbedingungen eingehalten werden. Diese werden in den Kapiteln 2.2.1 bis 2.2.4 näher erläutert. Die Zusammenlagerung einiger Stoffe ist sogar verboten (siehe 2.2.5). [9]

2.2.1 Gifte

Alle Chemikalien, welche das Gefahrensymbol GHS06 (Totenkopf) tragen gelten als Gifte und müssen gesondert von allen anderen Stoffen gelagert werden. Der Schrank, der dafür benötigt wird, muss versperrbar sein, darf keine Glastüren besitzen und sollte an ein Absaugsystem angeschlossen sein, um den Austritt giftiger Dämpfe zu verhindern. [6] [8] An der Außenseite des sogenannten Giftschranks muss das dreieckige Symbol für Gifte (Abbildung 4) angebracht werden, sodass auf den ersten Blick ersichtlich ist, dass der Schrank giftige Substanzen enthält.



Abbildung 4 – Warnung vor giftigen Stoffen. [10]

Die Gebinde, in denen die Gifte enthalten sind, müssen deren Eigenschaften entsprechend aus Glas, Kunststoff oder Metall bestehen. Es dürfen keinesfalls Papier- und Kunststoffsäckchen oder gar Lebensmittelverpackungen verwendet werden. [6] [8] Weiters wird empfohlen, dass Gifte in möglichst kleinen Mengen gelagert werden. [9] Da diese ohnehin nicht so häufig und nur in kleinen Mengen im Unterricht eingesetzt werden, können die Dimensionen des benötigten Giftschranks, durch die Lagerung kleinerer Gebinde, gering gehalten werden.

An den Schlüssel, welcher zum Versperren des Giftschranks verwendet wird, werden präzise Anforderungen gestellt. Dieser darf ausschließlich das Schloss des Giftschranks sperren und es darf keinen anderen Schlüssel geben, der das kann. Weiters dürfen den Schlüssel zum Giftschrank nur Personen besitzen und verwenden, welche eine Giftbezugsberechtigung besitzen. Dennoch muss in der Direktion der Schule ein Ersatzschlüssel deponiert werden. [6] [8]

Über den Erwerb und die Entnahme von Giften aus dem Giftschrank muss ein Protokoll geführt werden. Dieses soll helfen einen Überblick über die Verwendung von Giften im Unterricht zu behalten und muss sieben Jahre lang aufbewahrt werden. Bezogen werden dürfen Gifte nur von Personen, denen vom Landesschulrat eine Giftbezugsbestätigung übermittelt wurde, auf der sie namentlich erwähnt sind. Diese Personen sind im Regelfall Kustoden des Chemiekustodiats. [6]

2.2.2 Säuren und Basen

Säuren und Basen dürfen im selben Schrank gelagert werden. Die Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA) empfiehlt jedoch, diese auf verschiedene Ebenen aufzuteilen und die Gebinde für Säuren und jene für Basen in getrennten Auffangwannen zu platzieren. Der verwendete Schrank sollte auch eine Absaugung ins Freie besitzen, wenn darin flüchtige Säuren und Basen gelagert werden. [8] Die Aufbewahrungsbehälter, in denen

ätzende Stoffe gelagert werden, sollen im Kasten nicht über Kopfhöhe stehen, um Verätzungen durch Verschütten zu vermeiden. An der Schrankaußenseite muss das Warnsymbol für ätzende Substanzen (Abbildung 5) angebracht werden. [11]

ACHTUNG: Konzentrierte Ethansäure muss als brennbare Flüssigkeit angesehen und daher bei den brandgefährlichen Stoffen gelagert werden. [11]



Abbildung 5 - Warnung vor ätzenden Stoffen. [10]

2.2.3 Brandgefährliche Stoffe

Bei der Lagerung brennbarer Flüssigkeiten, wie z.B. Ethansäure und Pentanol, ist die maximal zulässige Lagermenge in Sicherheitsschränken oder Lagerräumen zu beachten. In Sicherheitsschränken mit Auffangwannen dürfen maximal 100 Liter in einem Schrank enthalten sein. In normalen Schränken beträgt die erlaubte Menge nur 10 Liter. [8] [11] Der Schrank, in dem brandgefährliche Stoffe aufbewahrt werden, sollte Auffangwannen und selbstschließende Türen aufweisen. Weiters muss durch die Belüftung dieses Schrankes ein zehnfacher Luftwechsel pro Stunde gewährleistet sein. [8] Am besten eignen sich dafür Schränke nach der europäischen Norm EN 14470-1, welche die Norm DIN 12925-1 im Jahr 2004 abgelöst hat. [9] [12] Es handelt sich dabei um Sicherheitsschränke für brennbare Flüssigkeiten. In Österreich dürfen nur Schränke zur Lagerung von brandgefährlichen Stoffen benützt werden, welche laut EN14470-1 dem Typ 90 (Abbildungen 6 und 7) entsprechen. [12] Diese halten einem Brand 90 Minuten lang stand. In dieser Zeit sind die Umgebung sowie Personen im Umfeld des Schrankes vor schlimmeren Gefahren geschützt, welche von den Stoffen im Schrankinneren ausgehen. [13]



Abbildung 6 - Sicherheitsschrank Typ 90 geschlossen.
Foto: Böhm



**Abbildung 7 – Sicherheitsschrank Typ 90 geöffnet,
mit Auffangwannen für Flüssigkeiten.**
Foto: Böhm

An der Schrankaußenseite muss ein Schild (Abbildung 8) angebracht werden, dass auf feuergefährliche Stoffe hinweist. [11] Brandgefährliche und entzündbare Stoffe können auch in einem Kühlschrank gelagert werden, um diese vor Erwärmung zu schützen. Ist dies der Fall, muss der Innenraum des Kühlschranks explosionsgeschützt sein. [8]



Abbildung 8 - Warnung vor feuergefährlichen Stoffen. [10]

Brandfördernde Stoffe, wie Ammoniumnitrat oder Kaliumpermanganat, müssen getrennt von brandgefährlichen Stoffen gelagert werden. An der Außenseite eines Schrankes, in dem brandfördernde Stoffe gelagert werden, muss ein Warnschild (Abbildung 9) für solche angebracht werden. [11]



Abbildung 9 - Warnung vor brandfördernden Stoffen. [10]

2.2.4 Gase

Für die Lagerung von Gasflaschen gilt grundsätzlich, dass diese vor dem Umfallen geschützt werden müssen, und keinesfalls gemeinsam mit brandgefährlichen Stoffen oder im Bereich von Fluchtwegen gelagert werden dürfen. Ventile sind mit Schutzkappen zu versehen, die deren Abbrechen verhindern, falls, trotz entsprechenden Vorkehrungen, Gasflaschen umstürzen sollten. [14] Wichtig ist ebenfalls, dass die ortsbeweglichen Gasflaschen keinen Wärmequellen, wie der Sonne oder Heizkörpern ausgesetzt sind. [8] Um Gasflaschen vor dem Umfallen zu schützen, können diese entweder in einem Kasten oder einem geeigneten Wagen fixiert werden. Zur Fixation eignen sich besonders Ketten oder Gurte, welche mithilfe von Haken um die Flaschen gespannt werden können.

Da in der Schule keine besonders großen Gasmengen zum Experimentieren benötigt werden, ist es nicht notwendig einen eigenen Raum als Gaslager einzurichten. Auch wenn die maximal erlaubte Lagermenge an Flüssiggas in geschlossenen Räumen 15 kg Füllgewicht beträgt, ist es empfehlenswert Gase nur in den Mengen zu lagern, welche innerhalb eines Schuljahres verbraucht werden können. [9] Kleinere Gasflaschen sind aufgrund ihres geringeren Gewichts einfacher zu handhaben und stellen bei Unfällen aufgrund der kleineren Füllmenge eine weniger große Gefahr dar als große Flaschen. Bei verschiedenen Firmen ist es auch möglich Gasflaschen unterschiedlicher Größe zu mieten. Damit ist die Anschaffung eigener Gasflaschen hinfällig.

Gaskartuschen zum Einsatz in Kartuschenbrennern sollen nur in Räumen über Erdniveau gelagert werden. [15]

2.2.5 Zusammenlagerungsverbot

Noch wichtiger als die Beachtung der Regeln zur Lagerung einzelner Chemikalienklassen ist die Einhaltung von Zusammenlagerungsverboten. Werden diese nicht beachtet, kann es schnell zu Unfällen kommen. Abbildung 10 stellt eine Tabelle dar, die zeigt, welche Chemikalien problemlos gemeinsam aufbewahrt werden können, für welche es besondere Auflagen gibt und welche keinesfalls zusammen gelagert werden dürfen. Diese Tabelle wurde nach den in Deutschland geltenden technischen Regeln für Gefahrenstoffe (TRGS 510) erstellt und mithilfe verschiedener österreichischer Gesetze für die Anwendung in Österreich adaptiert. [16]

Lagerklasse	LGK	10-13	13	12	11	10	8B	8A	7	6.2	6.1D	6.1C	6.1B	6.1A	5.2	5.1C	5.1B	5.1A	4.3	4.2	4.1B	4.1A	3	2B	2A	1
Explosive Stoffe	1																									A
Gase	2A	D			D			D								A									B, D	C
Aerosole	2B	B	B	B	B	B	B	B			B, G	B, G	B, G	B, G									B			
Entzündbare flüssige Stoffe	3	F, X	F	F	F, X	E	F	F			F, G	F, G		F, G			F, Y						E			
Sonstige explosionsgefährliche Stoffe	4.1A	A	A	A	A	A	A	A							A						A	A				
Entzündbare feste oder desensibilisierte Stoffe	4.1B					F					G, Z	G		G, Y	A		Y		Z	Z						
Selbstentzündliche Stoffe	4.2	Z			Z	F, Z	Z	Z			G, Z	G, Z							Z							
Stoffe, die in Berührung mit Wasser entzündliche Gase bilden	4.3	Z		Z	Z	F, Z	Z	Z			G, Z	G, Z														
Stark oxidierend wirkende Stoffe	5.1A																									
Oxidierend wirkende Stoffe	5.1B	H			H	F, H		H			G, Z	G, Z	G, Y	G, Y		A										
Ammoniumnitrat und ammoniumnitratthaltige Stoffe	5.1C	A	A	A	A	A, F	A	A								A										
Organische Peroxide und selbstzersetzliche Stoffe	5.2	A			A	A, F																				
Brennbare akut giftige Stoffe	6.1A	G, X	G	G	G, X	F, G	G	G																		
Nichtbrennbare akut giftige Stoffe	6.1B	G, X	G	G	G, X	F, G	G	G																		
Brennbare giftige oder chronisch wirkende Stoffe	6.1C	G	G	G	G	F, G	G	G																		
Nichtbrennbare giftige oder chronisch wirkende Stoffe	6.1D	G	G	G	G	F, G	G	G																		
Ansteckungsgefährliche Stoffe	6.2																									
Radioaktive Stoffe	7								A																	
Brennbare ätzende Stoffe	8A					F	K	F, K																		
Nichtbrennbare ätzende Stoffe	8B					F	K																			
Brennbare Flüssigkeiten, soweit nicht LGK 3	10	F	F	F	F	E																				
Brennbare Feststoffe	11																									
Nichtbrennbare Flüssigkeiten	12																									
Nichtbrennbare Feststoffe	13																									
Sonstige brennbare und nichtbrennbare Stoffe	10-13																									

Separatlagerung erforderlich

Zusammenlagerung mit Einschränkung möglich, Anmerkung unter entsprechender Ziffer

Zusammenlagerung erlaubt

Abbildung 10 - Für Österreich adaptierte Version des Zusammenlagerungskonzeptes nach VCI/TRGS 510 [16]

Die Buchstaben in den gelben Feldern in Abbildung 8 stehen für die Auflagen, welche bei der Zusammenlagerung der entsprechenden Stoffe erfüllt werden müssen. Diese sind in der Broschüre *TRGS 510 Nummer 7: Zusammenlagerung* der Firma Denios nachzulesen. [16]

Für Chemikalien im Schulgebrauch sind die folgenden Verbote zur Zusammenlagerung besonders wichtig:

Selbstentzündliche sowie selbsterhitzende Stoffe müssen getrennt von entzündbaren Stoffen gelagert werden um Brände zu vermeiden. [8]

Chlorkohlenwasserstoffe dürfen nicht gemeinsam mit Säuren oder brennbaren Flüssigkeiten gelagert werden. [9]

Formaldehyd darf nicht gemeinsam mit Salzsäure gelagert werden. [9] Die Dämpfe der Salzsäure können gemeinsam mit Formaldehyd zur Bildung von Bischlormethylether (1,1'-Dichlormethylether) führen. Dieses gilt als stark toxisch und ist einer der stärksten bekannten krebserzeugenden Stoffe. Das Einatmen dieser Verbindung kann zu lebensgefährlichen Lungenschäden führen. Es besteht jedoch auch beim Verschlucken und bei Hautkontakt Gesundheitsgefahr. [17] [18]

Stoffe wie Natrium, welche mit Wasser gefährlich reagieren, müssen gesondert gelagert werden. [9] Bei Natrium ist die Lagerung unter Paraffinöl oder Petroleum notwendig, da dieses bei Berührung mit Wasser sehr heftig exotherm reagiert. Ein weiterer Grund, aus dem Natrium unter Paraffinöl oder Petroleum gelagert wird, ist dessen Unbeständigkeit an der Luft. Natrium bindet Sauerstoff, Wasser und Kohlenstoffdioxid, wodurch sich ein Gemisch von Natriumhydroxid, Natriumcarbonat und Natriumhydrogencarbonat bildet. [19] Es wird empfohlen, das Aufbewahrungsgefäß mit einem Verbotssymbol (Abbildung 11) zu versehen, welches darauf hindeutet, dass der Stoff nicht mit Wasser überschüttet werden darf. [11]



Abbildung 11 - Verbot mit Wasser zu löschen. [10]

2.3 Sammlung und Lagerung von Chemikalien zur Entsorgung

Natürlich gilt es zuallererst, nach dem Prinzip der Abfallvermeidung, darauf zu achten, möglichst kleine Mengen an Chemikalien zu verwenden [20], sofern Experimente damit nicht an lehrreichem Inhalt verlieren. Vor allem, wenn Schüler und Schülerinnen selbst experimentieren dürfen, kann die Chemikalienmenge, aufgrund zahlreicher Versuchsansätze, schnell wieder steigen. Es gilt in der Schule also sowohl große als auch kleine Chemikalienmengen korrekt zu sammeln und zu entsorgen. Dafür muss zunächst zwischen Stoffen unterschieden werden, welche vor Ort in wasserunschädliche Verbindungen umgewandelt werden können und jenen, bei denen dies nicht möglich ist.

Können die Produkte, welche beim Experimentieren entstehen, beispielsweise durch Umsetzung mit anderen Stoffen, Neutralisation, Reduktion oder Oxidation, in wasserunschädliche Verbindungen überführt werden, so ist es in Österreich erlaubt, diese über den Abfluss zu entsorgen. Dabei sind die Richtwerte zu beachten, welche in der Verordnung *Allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen* und der Verordnung *Begrenzung von Abwasseremissionen aus Laboratorien* des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft festgeschrieben sind. [20]

Eine detaillierte Auflistung von Umwandlungsmöglichkeiten zahlreicher Chemikalien ist in der Diplomarbeit von Eva-Maria Schuchlenz zu finden. Diese trägt den Titel „*Sicherer und Bewusster Umgang mit Gefahrenstoffen im Chemieunterricht*“. [21]

Die tatsächliche Entsorgung von Chemikalien, welche nicht in wasserunschädliche Verbindungen überführt werden können, muss laut Gesetz von dazu befugten Entsorgungsfirmen durchgeführt werden. [20] Bevor dies jedoch passiert, müssen die Chemikalien, welche bei Experimenten im Unterricht verwendet werden oder als Produkte solcher Experimente entstehen, in der Schule gesammelt und gelagert werden. Die Richtlinien, welche für die Sammlung und Lagerung von Chemikalien zur Entsorgung zu beachten sind, entspringen dem Bundesministerium für Bildung und wurden 2017 in dem Erlass *Entsorgung von Chemikalien aus den Bereichen Chemie an allgemein bildenden Schulen* neu aufgelegt. [20] In dem entsprechenden Erlass werden drei Abfallbehälter beschrieben, welche dauerhaft beschriftet und mit dem Inhalt entsprechenden Gefahrenhinweisen gekennzeichnet werden müssen. Auch die Beschaffenheit der verschiedenen Abfallbehälter wird in besagtem Dokument empfohlen.

Alle Sammelbehälter für Abfälle müssen im Bereich des Kustodiats für Chemie aufbewahrt werden. Die beiden Behälter für organische Abfälle, welche unter anderem im Folgenden beschrieben werden, müssen unter einem Abzug oder in einem absaugbaren Schrank gelagert werden. [20] Um eine Verstreuerung der verschiedenen Abfallbehälter in den Chemieräumen zu vermeiden, ist es empfehlenswert auch den unten genannten Behälter für Schwermetallkationen zu den anderen Kanistern in den Abzug oder absaugbaren Schrank zu stellen. In Abzügen, welche für Experimente herangezogen werden, sollten aus Sicherheitsgründen nur die Geräte und Chemikalien stehen, welche für das jeweilige Experiment benötigt werden. [22] Es erscheint daher vorteilhafter für Entsorgungsbehälter ein eigenes Fach in einem absaugbaren Schrank zu etablieren.

2.3.1 Behälter für organische Abfälle, die Halogene oder Schwefel enthalten

In diesem Behälter dürfen nur organische Verbindungen gelagert werden, deren Struktur Halogene oder Schwefel enthält. Diese Stoffe müssen einer gesonderten Entsorgung zugeführt werden, da es bei deren Verbrennung zur Bildung von Dioxinen kommt, welche sehr schädlich für die Umwelt sind. Erst bei Temperaturen ab 900°C kommt es zur Zerstörung der Dioxine. [23] Da die Entsorgung von halogen- oder schwefelhaltigen organischen Verbindungen wesentlich höhere Temperaturen benötigt, ist diese kostspieliger als die Entsorgung anderer organischer Verbindungen. Bei der Verbrennung schwefelhaltiger Verbindungen ist weiters die Bildung von Schwefeldioxid problematisch, da dieses der Umwelt schadet. [24] Der Behälter und dessen Verschluss dürfen nur aus nicht quellenden Kunststoffen bestehen und sollten innen mit chemikalienbeständigem Kunststoff beschichtet sein. Beschriftet werden muss der Behälter mit der Kennzeichnung „Cl“ sowie dem Signalwort „Achtung“. Weiters müssen die Gefahrenpiktogramme GHS02 (Flamme), welches für brennbare Substanzen steht, und GHS07 (Ausrufungszeichen) auf dem Gefäß abgebildet sein. [20]

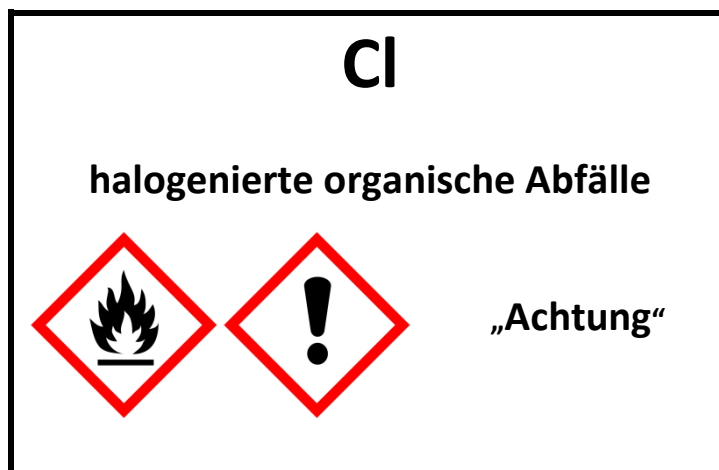


Abbildung 12 - Etikett für den Abfallbehälter für halogenierte organische Stoffe.

Reiner Schwefel, wie er zum Beispiel bei dem Versuch „Herstellung von Schwefeleisen“ (siehe 4.3) zurückbleiben könnte, sowie die Lugol'sche Lösung (Iod-Kaliumiodid), welche für den Nachweis von Stärke verwendet wird, dürfen nicht in diesem Behälter gesammelt werden, da es sich bei beiden nicht um organische Verbindungen handelt.

Da viele organische Halogenverbindungen stark toxisch wirken, die Leber schädigen oder Krebs erzeugen können, ist der Einsatz solcher Stoffe im Unterricht stark eingeschränkt. [25] An vielen Schulen wird gar nicht mehr mit halogenierten organischen Verbindungen experimentiert. Wenn es im Chemiekustodiat einer Schule keine halogenierten Kohlenwasserstoffverbindungen gibt, muss der entsprechende Abfallbehälter nicht bereitgestellt werden. [20]

2.3.2 Behälter für organische Abfälle, die KEINE Halogene oder Schwefel enthalten

Für organische Verbindungen, welche nicht halogeniert und nicht schwefelhaltig sind, muss ein separater Behälter zur Verfügung gestellt werden. Dieser wird mit dem Buchstaben „O“ gekennzeichnet. Auf dem Etikett für diesen Behälter müssen die Symbole GHS02 und GHS07 sowie das Signalwort „Achtung“ abgebildet sein. Der Behälter selbst muss innen mit chemikalienbeständigem Kunststoff beschichtet sein und einen Kunststoffdeckel besitzen. Zu den Verbindungen, welche in diesem Behälter gesammelt werden müssen, zählen Methanol, Propanol sowie langkettige Alkohole, Aldehyde und Ketone, aromatische Kohlenwasserstoffe, Benzine, Glykole und Pyridin. An dieser Auflistung ist erkennbar, dass im betreffenden Behälter sowohl wasserlösliche, als auch wasser-unlösliche gesammelt

werden dürfen. Dieser Sammlung dürfen keine stark oxidierenden Substanzen, wie Chlorate, Chromate, Nitrate, Permanganate oder Wasserstoffperoxid, beigefügt werden. [20]

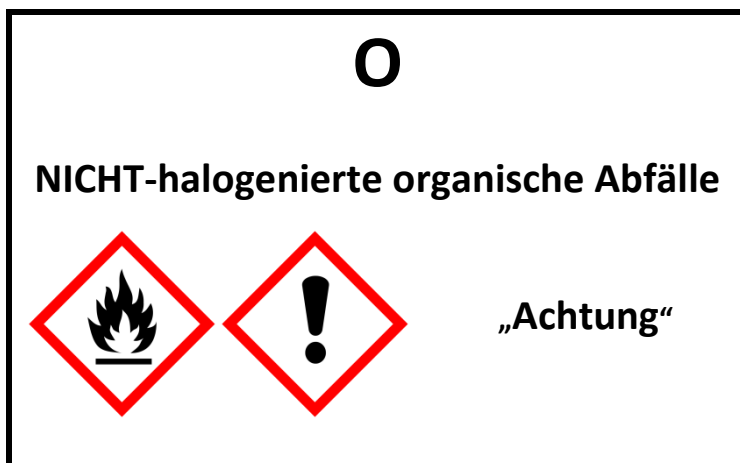


Abbildung 13 - Etikett für den Abfallbehälter für NICHT-halogenierte organische Stoffe.

2.3.3 Behälter für Schwermetallsalze

Der Abfallbehälter für Schwermetallkationen wird mit dem Buchstaben „S“ gekennzeichnet und muss aus Polyethen bestehen, da dieses chemikalienbeständig ist. Das Etikett muss sowohl mit dem Kennbuchstaben, als auch mit dem Gefahrenpiktogramm GHS07 (Ausrufungszeichen) und dem Signalwort „Achtung“ versehen sein. Vor der Verwendung muss der Behälter mit Natriumcarbonat, Natriumsulfit und etwas Wasser beschickt werden. So erhält man schwer lösliche Carbonate und Sulfide. Bei der Entsorgung sollen gelöste Schwermetallkationen möglichst unverdünnt und neutral oder schwach basisch vorliegen. Auch unlöslichen Schwermetallsalze können in diesem Entsorgungsbehälter gelagert werden. Bei zu großem Flüssigkeitsvolumen soll der Überstand dekantiert und eingeeengt werden. [20] Über die Definition eines Schwermetalls sind sich verschiedene Quellen uneinig. Die gängigste Meinung ist, dass es sich bei einem Metall ab einer Dichte von 5 g/cm^3 um ein Schwermetall handelt. [26] Nachdem es jedoch keine einheitliche, wissenschaftlich anerkannte Definition gibt, sind im Entsorgungserlass des Bundesministeriums einige Kationen angeführt, welche in dem Behälter gesammelt werden müssen. Zu diesen Ionen zählen: Ag^+ , Ni^{2+} , Cr^{3+} , Sb^{3+} , Zn^{2+} , Ba^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} und Fe^{3+} . Auch die Quecksilberkationen Hg^{2+} und Hg_2^{2+} zählen zu den Schwermetallkationen. Der Einsatz von Quecksilber im Unterricht sollte jedoch vermieden werden. Die Zugabe von stark oxidierenden Substanzen wie Chloraten, Nitraten und Wasserstoffperoxid darf nur stark verdünnt erfolgen. [20]

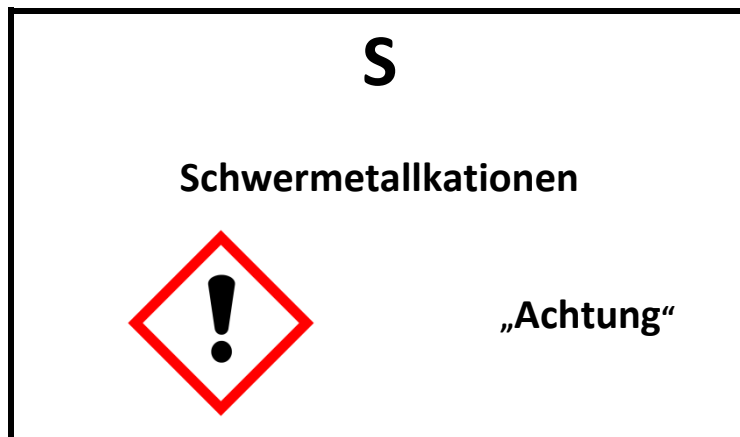


Abbildung 14 - Etikett für den Abfallbehälter für Schwermetallkationen.

2.3.4 Behälter für feste Laborabfälle

Die Aufbewahrung von festen Laborabfällen in einem eigenen Entsorgungsbehälter ist in Schulen gesetzlich nicht vorgeschrieben. Einen solchen Behälter zu etablieren ist dennoch sinnvoll, da immer wieder kleine Reste bei Versuchen übrig bleiben, welche nicht wieder in das Vorratsgefäß zurückgeschüttet werden sollen. Ebenso entstehen bei einigen Experimenten feste Reaktionsprodukte. Entsorgt man diverse Rückstände oder Reaktionsprodukte im Restmüll, so ist es sehr wahrscheinlich, dass diese auf Deponien landen und ein unkontrolliertes Eintreten in die Umwelt nicht vermieden werden kann. Werden die chemischen Feststoffe gesammelt, können sie von der beauftragten Entsorgungsfirma fachgerecht entsorgt werden.

Zu diesen Abfällen kann unter anderem das Eisensulfid gezählt werden, welches bei dem Versuch „Herstellung von Schwefeleisen“ (siehe 4.3) hergestellt wird.

2.3.5 Behälter für Glasbruch

Ein eigener Behälter für die Aufbewahrung von zerbrochenem Laborglas ist gesetzlich ebenso nicht vorgeschrieben, wie jener für feste Laborabfälle. In der Praxis ist es jedoch sinnvoll einen solchen Behälter bereitzustellen. Dafür können konkret zwei Gründe genannt werden. Zum einen darf Laborglas, aufgrund seiner Zusammensetzung, nicht wie gewöhnliches Verpackungsglas entsorgt werden. Laborglas, bei dem es sich meist um Borsilikatglas handelt, erweicht erst bei Temperaturen über 820°C. [27] Es kann daher nicht so leicht recycelt werden wie das Natronglas, welches in der Altglassammlung für Glasverpackungen entsorgt wird. Zum anderen besteht bei der Entsorgung im Restmüll eine erhöhte Verletzungsgefahr.

Im Experimentellen Teil der Arbeit wird unter Punkt 4.3 im Rahmen des Versuchs „Herstellung von Schwefeleisen“ näher auf das Thema Glasbruch und dessen Entsorgung eingegangen.

2.3.6 Entsorgung der gesammelten Chemikalien

Wie zuvor bereits erwähnt, muss die Entsorgung der gesammelten Chemikalien durch eine dazu befugte Abfallsammelfirma erfolgen. Um ihre Abfälle an ein solches Unternehmen weitergeben zu dürfen, braucht eine Schule eine Identifikationsnummer für Abfallbesitzer (GLN-Nummer), die bei der Abholung anzugeben ist. GLN steht als Abkürzung für Global Location Number. Diese Nummer ist international anerkannt und dient der eindeutigen Identifikation von Unternehmen. [28] Nachdem seit 2012 Aufzeichnungspflicht über die Entsorgung gefährlicher Stoffe besteht, muss eine Durchschrift oder Kopie des Begleitscheines, welcher bei der Abholung der Abfälle ausgefüllt wird, 7 Jahre lang aufbewahrt werden. [20]

Der Transport der gesammelten Abfälle zur Entsorgungsfirma im eigenen PKW ist, nach den internationalen Transportvorschriften, nicht erlaubt. Dies ist im europäischen Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße – *Accordeuropéen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route* – kurz ADR, festgeschrieben. Chemikalien dürfen nur im PKW transportiert werden, wenn gewisse Rahmenbedingungen eingehalten werden. Im Abschnitt 1.1.3.1 a) der ADR wird angeführt, dass gefährliche Güter nur dann von Privatpersonen transportiert werden dürfen, wenn diese Güter einzelhandelsgerecht verpackt sind und für den persönlichen oder häuslichen Gebrauch beziehungsweise Freizeit und Sport vorgesehen sind. [29] [30] Dies trifft auf Chemikalien, die entsorgt werden müssen, nicht zu.

2.4 Verwendung von Chemikalien im Chemieunterricht

Da das Experiment ein zentrales Element in vielen Chemiestunden darstellt, ist auch die Verwendung von Chemikalien im Unterricht nicht wegzudenken. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welche Chemikalien im Unterricht Verwendung finden dürfen und welche nicht.

In Deutschland gibt es diesbezüglich sehr genaue Richtlinien. In der *Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht* (RiSU) sind ausführliche Listen von Stoffen zu finden, die im Unterricht nicht verwendet werden dürfen. Dabei wird zwischen allgemeinen Verwendungsverböten und Tätigkeitsbeschränkungen für Schüler und Schülerinnen unterschieden. Die allgemeinen Verwendungsverböte beinhalten eine umfangreiche Liste karzinogener Stoffe und Versuche, bei denen karzinogene Stoffe entstehen können, welche unter bestimmten Umständen von Lehrpersonen eingesetzt werden dürfen (Anhang 2). Weiters sind einige umweltgefährliche Stoffe und sonstige Stoffe angeführt, deren Verwendung im Unterricht nicht zulässig ist (Anhang 2). Die Tätigkeitsbeschränkungen für Schüler und Schülerinnen sind weiter unterteilt in allgemeine und jahrgangsbezogene Beschränkungen. Erstellt wurde die Erstfassung dieses Dokuments 1994 bei der Kultusministerkonferenz. Zuletzt wurde das Dokument 2016, in Bezug auf Gefahrenstoffe, auf den gesetzlich neuesten Stand gebracht. [31] Die Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht wurde von den meisten deutschen Bundesländern bereits erlassen. In einigen Bundesländern gibt es zusätzlich verschiedene weitere Erlässe, die den naturwissenschaftlichen Unterricht regeln. [32]

Für Österreich gibt es ebenfalls eine Auflistung von Stoffen, welche im Unterricht nicht verwendet werden dürfen (Tabelle 1). Diese sogenannte *Exemplarische Ersatzstoffliste* fällt jedoch wesentlich weniger genau aus als in Deutschland und ist im Erlass *Entsorgung von Chemikalien aus den Bereichen Chemie an allgemein bildenden Schulen* festgeschrieben. Dieses Dokument enthält auch eine Liste von Stoffen, deren Verwendung zwar nicht verboten ist, die dennoch nicht im Unterricht verwendet werden sollten (Tabelle 2). [20]

Nicht zulässiger Gefahrenstoff (Verwendung im Unterricht verboten!)	Ersatzstoff mit geringerem Gefahrenpotential
Benzen	Toluen, Xylen, Mesitylen, Ethylbenzen
Tetrachlormethan; 1,2-Dichlorethan	derzeit keine Empfehlung möglich
Kohlenstoffdisulfid	Toluen
Cadmiumchlorid, Cadmiumsulfat	Cadmiumnitrat
Quecksilberoxid	Silberoxid

Tabelle 1 – Auflistung von Gefahrenstoffen, deren Verwendung im Unterricht nicht zulässig ist sowie möglicher Ersatzstoffe mit geringerem Gefahrenpotential. [20]

Zu vermeidender Gefahrenstoff	Ersatzstoff
n-Hexan	n-Pentan, n-Heptan
Trichlormethan, Trichlorethen	derzeit keine Empfehlung möglich
Tetrachlorethen, Dichlormethan	derzeit keine Empfehlung möglich
Methanol	Ethanol
Methanal	Furfural
Diethylether	Disopropylether
Dioxan	Tetrahydrofuran
Hydrochinon	Brenzcatechin, Resorcin
Kaliumchlorat	Kaliumnitrat
Kaliumchromat, Kaliumdichromat	Kaliumpermanganat
Kongorot	Methylrot
Kupfer(II)-chlorid	Kupfer(II)-sulfat
Nickel(II)-chlorid	Nickel(II)-sulfat
Methylorange	Methylrot
Quecksilber(II)-nitrat	Quecksilber(II)-chlorid

Tabelle 2 – Auflistung zu vermeidender Gefahrenstoffe sowie möglicher Ersatzstoffe. [20]

3. Sicherheit im Chemieunterricht

Eine Voraussetzung für die Durchführung zahlreicher spannender Experimente im Chemieunterricht ist ein sicheres Umfeld. Die Schaffung eines solchen Umfeldes wird von zwei Faktoren maßgeblich beeinflusst. Einerseits müssen die Räumlichkeiten gesetzlich vorgegebenen Sicherheitsstandards entsprechen, andererseits muss ein gewisses Maß an Ordnung im Unterrichtsgeschehen hergestellt werden. In diesem Kapitel werden sowohl die gesetzlichen Grundlagen, als auch praktische Tipps zur Einrichtung eines sicheren Chemiesaals erörtert. Weiters werden einige Methoden beschrieben, mithilfe derer der Chemieunterricht gut strukturiert werden kann. Diese Methoden beziehen sich auf die Unterrichtsvorbereitung, die Gruppeneinteilung und die Verteilung von Aufgaben unter den Lernenden.

Als weitere Voraussetzung für den Experimentalunterricht ist der Beitrag anzusehen, den die Lernenden zu ihrer eigenen Sicherheit leisten können. Selbst das Schneiden mit einer Schere kann gefährlich sein, wenn dieses nicht zuvor erlernt wurde. Ebenso verhält es sich mit dem Experimentieren. Die Lernenden haben dabei eine Vielzahl an Vorschriften und Regeln zu beachten, welche eingehalten werden müssen, um Verletzungen und andere Zwischenfälle zu vermeiden. Da die Sicherheitserziehung zu den didaktischen Grundsätzen des Chemieunterrichts zählt, wird in diesem Kapitel auch erörtert, wie Lernenden sicheres Arbeiten nähergebracht werden kann, ohne ihnen die Freude am Experimentieren zu nehmen. Dabei ist es wichtig auf mögliche Gefahren aufmerksam zu machen, diese jedoch nicht zu weit in den Vordergrund zu stellen. [33]

3.1 Ausstattung sicherer Chemieräume

Sowohl beim Chemiesaal, als auch bei etwaigen Nebenräumen, die für das Unterrichtsfach Chemie genutzt werden, müssen einige bauliche Richtlinien und Sicherheitsmaßnahmen beachtet werden. Türen, welche in den Chemiesaal oder Nebenräume führen, müssen versperrbar sein, sodass diese bei Nichtbenützung nicht von Unbefugten betreten werden können. [34] Die Türe, welche als Fluchtweg dient, muss über einen Weg in der Klasse erreichbar sein, der nicht am Vorführtsch vorbei führt. Es wird empfohlen, dass der Chemiesaal über zwei Türen verlassen werden kann. [8] [34] Bei Chemienebenräumen sollte eine Türe auf den Flur führen und eine zweite direkt in den Chemiesaal. Auch diese Türen müssen versperrbar sein. Um die Sicherheit der Lernenden bei einer Flucht zu gewähren,

müssen die Türen von Chemieräumen nach außen öffnen. [8] Weiters ist es wichtig, dass an der Innenseite der Türen Klinken angebracht sind, damit Chemieräume jederzeit ohne Schlüssel verlassen werden können. Für die Außenseite der Türen werden Knöpfe, anstelle von Türklinken, empfohlen. Diese gewährleisten, dass die Räume nicht von Unbefugten betreten werden können, auch wenn die Türen nicht mit einem Schlüssel versperrt wurden. Der Bodenbelag in Chemieräumen sollte rutschfest, chemikalienfest und antistatisch sein, um Unfällen vorzubeugen. Dabei hilft auch das Einlassen mit rutschhemmenden Mitteln. [9]

Für die Sicherheit der gesamten Schule bei einem Unfall in den Chemieräumen (z.B. Gasaustritt, Brand) ist auch die Lage dieser Räume im Schulgebäude ausschlaggebend. Diese sollte am Ende des obersten Stockwerks des Schulgebäudes eingerichtet werden, sodass im Notfall kein Fluchtweg durch den Unfall in den Chemieräumen blockiert ist. Liegen die Chemieräume an einer anderen Stelle im Gebäude, so ist die maximal erlaubte Lagermenge von Chemikalien reduziert, um die Brandlast zu verringern. [8]

3.1.1 Der Chemiesaal

3.1.1.1 Brandschutz

Im Chemieunterricht wird auf vielerlei Art mit verschiedenen brandgefährlichen Stoffen gearbeitet. Um auf alle Eventualitäten vorbereitet zu sein, müssen sowohl Feuerlöscher, als auch Löschdecken und Löschsand zur Brandbekämpfung unterschiedlicher Brandherde in Chemieräumen vorhanden sein. [9]

Das Land Steiermark und die Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA) empfehlen je einen 10-Liter Schaumlöcher und je zwei 2-kg Kohlenstoffdioxidlöcher für den Chemiesaal und das Chemiekabinett. [9] Schaumlöcher sind für den Einsatz bei Bränden der Klasse A und B vorgesehen. Die Brandklasse A beinhaltet feste, glutbildende Stoffe, wie zum Beispiel Kleidungsstücke. Die Brandklasse B beinhaltet ausschließlich Flüssigkeiten. Brände der Klasse B können auch mit Kohlenstoffdioxidlöschern gelöscht werden. Diese Löcher sind auch für das Löschen von Gasbränden (Brandklasse C) vorgesehen. [9]

Die Löschdecke wird häufig zur Bekämpfung von Personenbränden herangezogen. Diese Maßnahme alleine ist jedoch nicht ausreichend. Der Einsatz von Schaum-, Kohlenstoffdioxid- oder Pulverlöschern ist eine lebensrettende Maßnahme, die bei Personenbränden oft

unumgänglich ist. Vorrangig ist beim Löschen von Personenbränden, dass die betroffene Person beruhigt wird, da Panikreaktionen einen erfolgreichen Löschvorgang behindern. [22]

Löschsand ist für den Einsatz bei Bränden von Metallen, wie zum Beispiel Natrium, vorgesehen. [8]

Neben den eben beschriebenen Löschmitteln wird auch das Anbringen von Brandmeldern und einem Nottelefon empfohlen. [9] Bei den Brandmeldern ist es sinnvoll Temperaturmelder anstelle von Rauchmeldern zu wählen, da im Experimentalunterricht mit Raucherscheinungen zu rechnen ist, die den Brandmelder irrtümlich auslösen könnten. [34] Weiters ist es wichtig den Standort der Löschmittel mit einem Hinweisschild (Abbildung 15) zu kennzeichnen, damit diese im Notfall schnell gefunden werden.



Abbildung 15 - Hinweis auf ein Feuerlöschgerät. [10]

Neben den Brandschutzmitteln ist es auch wichtig, Bindemittel für ausgelaufene Flüssigkeiten bereitzustellen. [8]

3.1.1.2 Erste Hilfe

Im Chemiesaal muss ein Erste-Hilfe-Koffer vorhanden sein, welcher der ÖNORM Z 1020 entspricht. Dessen Inhalt muss halbjährlich kontrolliert und bei Bedarf neu aufgefüllt werden, damit im Notfall alle notwendigen Utensilien darin enthalten sind. [34] [9] Abgelaufenes Verbandsmaterial muss ausgetauscht werden. Zu kennzeichnen ist dieser Koffer mit einem quadratischen, grünen Schild, auf dem ein weißes Kreuz dargestellt ist (Abbildung 16). [35] Mit dem Inhalt des Erste-Hilfe-Koffers können kleine Schnittverletzungen oder Brandbläschen behandelt werden. Im Falle großflächigerer Verletzungen müssen sofort Rettungskräfte alarmiert werden.



Abbildung 16 - Rettungszeichen für Erste Hilfe. [10]

Für den Fall, dass Chemikalienspritzer ins Auge gehen, muss eine Augendusche oder Augenspülflasche am Waschbecken angebracht werden, mit der das betroffene Auge schnellstmöglich ausgespült werden kann. [34] Stehen für Notfälle Augenspülflaschen anstelle von Augenduschen zur Verfügung, so ist zu beachten, dass diese nicht mit Trinkwasser aus der Leitung gefüllt werden dürfen. Um das Wachstum von Keimen in der Flasche zu vermeiden, muss diese mit hitzesterilisiertem Wasser gefüllt werden, welches im Zwei-Wochen-Takt ausgetauscht werden sollte. [34] Auch die Augendusche sollte mit einem Hinweisschild (Abbildung 17) versehen werden. Dieses ist ebenfalls grün und zeigt ein weißes Auge, einen Wasserstrahl und ein Kreuz, welches für die Erste Hilfe steht. [10] Gibt es im Chemiesaal keine Augendusche oder Augenspülflasche, sollte der Wasserhahn so hoch angebracht sein, dass sich die verletzte Person ohne körperliche Anstrengung darunter beugen kann.



Abbildung 17 - Rettungszeichen für Augenspüleinrichtungen. [10]

Die genauen Maßnahmen für die Erste Hilfe sind dem AUVA-Merkblatt 100 zu entnehmen, welches in Kooperation mit dem Roten Kreuz erstellt wurde. [9] Auch die Sicherheitsdatenblätter, welche mit jeder Chemikalie mitgeliefert werden müssen, enthalten Erste Hilfe Maßnahmen, welche bei Kontakt mit dem entsprechenden Stoff empfohlen werden. [36]

Das Absolvieren eines Erste-Hilfe Kurses ist verpflichtend für Personen, welche eine Giftbezugsbestätigung besitzen. [6] Eine regelmäßige Auffrischung dieses Wissens, ist jedoch für alle Chemielehrenden empfehlenswert.

3.1.1.3 Gasanlagen

In Schulen ist meist eine von drei Arten der Gasversorgung anzutreffen, die Erdgasverbrauchsanlage, Flüssiggasverbrauchsanlagen und Kartuschenbrenner. [22]

Gase für den Einsatz bei Experimenten werden in den bereits angesprochenen Flüssiggasflaschen gelagert. Zu diesen Gasen zählen in den meisten Schulen Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid und Stickstoff. Die Gasflaschen sollten nicht zu groß dimensioniert sein, um das Gefahrenpotential zu minimieren, was ebenso wie die korrekte Lagerung von Flüssiggasflaschen unter Punkt 2.2.4 nachzulesen ist.

In der Schweiz ist die Arbeit mit Kartuschenbrennern auf maximal acht Geräte gleichzeitig in einem Raum beschränkt, wenn diese von Lernenden betätigt werden. Begründet wird diese Beschränkung mit den zahlreichen Gefahren, welche Kartuschenbrenner mit sich bringen. Dabei wird bei der Gefahrenereinschätzung deutlich hervorgehoben, dass Druckgaskartuschen Einwegprodukte sind, die oft ohne zusätzliche Halterung mit dem Entnahmeventil verschraubt sind, wodurch die Gefahr besteht, dass sich ein Ventil löst und ungewollt Gas aus der Kartusche austritt. Aus demselben Grund dürfen Kartuschenbrenner weder geschüttelt noch gekippt werden. Die Handhabung der Kartuschenbrenner durch Lernende muss daher von der Lehrperson stets überwacht werden. [15]

Fest montierte Gasverbrauchsanlagen besitzen einen großen Vorrat an Erd- oder Flüssiggas, welches über ein Rohrleitungssystem direkt zu den Arbeitsplätzen der Lernenden geleitet wird. Die Rohre enden dort in Laborarmaturen, an die Gasbrenner angeschlossen werden können. Die Laborarmaturen besitzen entweder Tüllen oder eine Schnellkupplung, an die der Schlauch des Gasbrenners angeschlossen werden kann. [22] Wichtig ist hierbei, dass flüssiggasfeste Schläuche mit Gewebereinlage verwendet werden. Diese sind an ihrer orangen Farbe zu erkennen. [9] Eine fix montierte Gasverbrauchsanlage hat den Vorteil, dass die Gaszufuhr sowohl durch einen Gashahn direkt am Schülerarbeitsplatz als auch mit einem Notaus-Taster vom Lehrertisch aus gesteuert werden kann. [22] Laut der Unfallkasse Nordrhein-Westfalen sind zentrale Gasanlagen, wie die Erdgas- oder Flüssiggasverbrauchsanlage, Kartuschenbrennern aus Sicherheitsgründen vorzuziehen. [22] In der Anschaffung sind Gasanlagen kostenintensiver als Gaskartuschen, zumal Gasanlagen in regelmäßigen Abständen (maximal 5 Jahre) von Fachpersonal auf Mängel überprüft

werden müssen. Über diese Überprüfungen müssen auch Aufzeichnungen geführt werden. [9]

Anstelle von Kartuschenbrennern können auch Mikrobrenner verwendet werden. Ein Vorteil des Mikrobrenners gegenüber dem Kartuschenbrenner ist dessen geringere Füllmenge, welche das Gefahrenpotential schmälert.

Ein noch weitaus geringeres Gefahrenpotential bringen Gas-Sicherheitsbrenner (Abbildung 18) mit sich. Diese werden häufig in der Mikrobiologie zur Sterilisation von Instrumenten oder in der Zahnmedizin zum Erwärmen von dentalmedizinischen Geräten verwendet. Sie können jedoch auch zum Erhitzen von Reagenzgläsern und Porzellantiegeln im Experimentalunterricht eingesetzt werden. Ihren Namen verdienen sich diese Brenner durch technische Sicherheitsvorrichtungen, wie einen Infrarot-Sensor, der erkennt ob die Hand der arbeitenden Person sich in der Nähe befindet. Tut sie das nicht, erlischt die Flamme umgehend. Weiters können Gas-Sicherheitsbrenner mit einer Verunreinigungsüberwachung und einem Flammen- und Überhitzungsschutz ausgestattet sein. Die Art der Sicherheitsvorrichtungen unterscheidet sich je nach Hersteller und Gerät geringfügig. Betrieben werden können Gas-Sicherheitsbrenner sowohl mit Gaskartuschen, als auch über einen Anschluss an Gasanlagen (Abbildung 19). Die Zündung kann jedoch nicht erfolgen, solange der Brenner nicht an Strom angeschlossen ist. Wird der Stecker aus der Steckdose gezogen, erlischt die Brennerflamme sofort. Auch das ist eine Sicherheitseinrichtung, über die Sicherheitsbrenner verfügen. Erhältlich sind diese Geräte bei unterschiedlichen Laborbedarfs-Handlungen. Preislich bewegen sich Gas-Sicherheitsbrenner in einem Bereich zwischen 200€ und 500€. [37] [38]

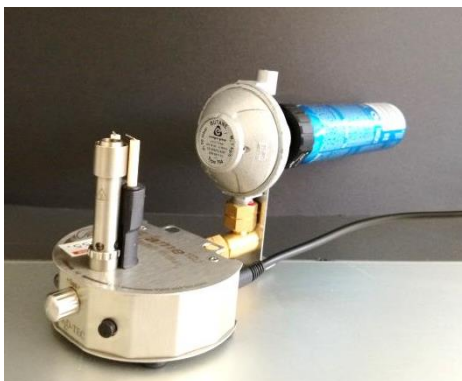


Abbildung 18 - Gas-Sicherheitsbrenner: an eine Gaskartusche angeschlossen.
Foto: Böhm



Abbildung 19 - Anschlussstück für einen Gas-Sicherheitsbrenner an eine Gasanlage.
Foto: Böhm

3.1.1.4 Der Abzug

Versuche, bei denen gesundheitsgefährdende Dämpfe und Gase oder entzündbare Dampf-Luftgemische entstehen, dürfen nur in einem geeigneten Abzug durchgeführt werden. [9] Es reicht keinesfalls am offenen Fenster zu experimentieren. Der verwendete Abzug muss explosionsgeschützt sein und die Absauganlage bedarf einer jährlichen Funktionsüberprüfung durch eine dazu befugte Fachkraft. [9] Nur durch eine einwandfrei funktionierende Absaugung kann verhindert werden, dass sich im Abzug explosionsfähige Mischungen bilden oder, dass gesundheitsgefährdende Gase, Dämpfe und Stäube in den Arbeitsraum entweichen. [22] Etwaige elektrische Anschlüsse dürfen sich nur außerhalb des Abzugs befinden. Wenn dies nicht der Fall ist, ist das Experimentieren mit brand- und explosionsgefährlichen Stoffen im Abzug untersagt. [8] Weiters ist wichtig, dass in Abzügen, welche für Experimente herangezogen werden, nur die Geräte und Chemikalien stehen, welche für das jeweilige Experiment benötigt werden. [22]

3.1.1.5 Der Demonstrationstisch

Der Arbeitstisch der Lehrperson ist in vielen Chemiesälen zum Vorführen von Experimenten gedacht. Aus diesem Grund muss dessen Oberfläche beständig gegen Hitze, Kälte, Chemikalien und mechanische Reize, wie zum Beispiel Schläge, sein. Es ist ebenfalls notwendig, dass die Tischplatte hochgezogene Ränder besitzt, um dem Abfließen von verschütteten Flüssigkeiten entgegenzuwirken. [34] Um eine rückstandsfreie Reinigung zu ermöglichen, sollte für die Tischplatte ein ebenes, glattes Material verwendet werden.



Abbildung 20 - Demonstrationstisch mit Gas- und Wasseranschluss.
Foto: Böhm

Eine wichtige Sicherheitsvorrichtung, welche der Demonstrationstisch aufweisen muss, ist eine stabile, säure- und splitterfeste Schutzscheibe. [9] Diese kann entweder fix am Tisch oder auf einem freistehenden Gestell montiert werden. Eine freistehende Scheibe hat dabei den Vorteil, dass sie bei Nichtbenützung weggestellt werden kann, und so eine bessere Sicht auf verwendete Medien und die Lehrperson gewährt. Eine fix montierte Scheibe bietet hingegen besseren Schutz, da es keinen Abstand zwischen Scheibe und Tisch gibt. Ein weiterer Vorteil der fix montierten Scheibe, ist deren Stabilität. Am besten wäre also eine

Scheibe, welche in eine fix montierte Verankerung am Tisch eingehängt wird. Diese kann bei Bedarf einfach auf- oder abgebaut werden und kann nicht so leicht umfallen, wie eine freistehende Scheibe. Eine optimale Lösung stellen auch Schutzscheiben dar, die aus einer Absenkung im Demonstrationstisch hochgezogen und wieder abgesenkt werden können. Diese benötigen kaum Platz und lassen sich leicht bedienen.

Zwischen dem Vorföhrtisch und den Arbeitsplätzen der Lernenden soll ein Abstand von zwei Metern eingehalten werden. [34] Einerseits dient dies der Sicherheit der Schüler und Schülerinnen während des Experiments, andererseits ist dadurch genügend Platz geschaffen, dass die Lernenden sich frei zwischen den beiden Bereichen bewegen oder bei Bedarf vor dem Tisch versammeln können.

Eine Sicherung der Stromversorgung durch einen Fehler-Stromschutzschalter (FI-Schalter) ist, wie in jedem Gebäude, notwendig. [9] Zusätzlich sollten im Bereich des Vorföhrtisches unbedingt Notaus-Taster angebracht sein, welche zum Abschalten von Strom und Gas im gesamten Chemiesaal dienen. Das Anbringen eines Schlüsselschalters am Vorföhrtisch zur Kontrolle über das Gas im Bereich der Arbeitsplätze für Lernende ist ebenfalls vorgeschrieben (Abbildung 22). [34] Diese drei Schalter sind notwendig, damit die Lehrperson jederzeit die Kontrolle über die Strom- und Gasversorgung im Laborbereich hat. Ein Schlüsselschalter für die Gasversorgung ist unbedingt notwendig um zu verhindern, dass diese von Unbefugten bedient werden kann. [8] Mit dem Schlüsselschalter ist es Lernenden nicht möglich ohne Erlaubnis Gas zu benutzen. Sollte unbeabsichtigt Gas ausströmen oder gar entzündet werden, können durch das Betätigen der Notaus-Taster größere Schäden und Unfälle vermieden werden. Neben dem Notaus-Taster für Gas und Strom wird auch ein solcher zum Abschalten des Wassers im Bereich der Schülerarbeitsplätze empfohlen, falls diese Wasserleitungen aufweisen. [9]



Abbildung 21 - Schaltpult für Strom und Gas am Arbeitsplatz des/ der Chemie-Lehrenden.
Foto: Böhm

Es ist empfehlenswert neben dem Vorführtisch einen weiteren Tisch zur Verfügung zu stellen, auf dem die Lehrperson Arbeitsmaterialien wie Bücher oder elektronische Geräte ablegen kann, damit diese Materialien vor dem Kontakt mit Chemikalien geschützt sind.

3.1.1.6 Arbeitsplätze für Lernende

Ebenso wie der Lehrertisch, müssen Tische, auf denen Lernende Experimente durchführen, hitze- und kältebeständig, sowie stabil gegenüber Chemikalien und Schlägen sein. [34] Es sollte auch hier eine glatte Oberfläche gewählt werden, damit die Tische einfach zu reinigen sind. Da die Lernenden auf ihren Arbeitsplätzen auch Schreibtätigkeiten ausführen müssen, ist ein hochgezogener Tischrand hier nicht allzu bequem. Für die Sicherheit der Lernenden sowie deren Kleidung und Schultensilien beim Experimentieren, ist eine solche Vorkehrung dennoch notwendig. Die Bankreihen müssen zu allen Seiten mindestens 80cm Freiraum aufweisen. [34] Dies gewährleistet nicht nur mehr Sicherheit bei einer Flucht aus dem Chemiesaal, sondern beugt auch dem unabsichtlichen Umwerfen von Chemikalienfläschchen und Laborgeräten vor. Werden die Arbeitsplätze der Lernenden über eine zentrale Gasleitung mit Gas versorgt, ist es sinnvoll auch an diesen Plätzen einen Notaus-Taster für die Gasversorgung (Abbildungen 22 und 23) zu installieren. Optimal ausgestattete Arbeitsplätze für den Experimentalunterricht verfügen weiters über Anschlüsse für Gleich- und Wechselstrom, sowie eine direkte Wasserversorgung (Abbildungen 22 und 23). So können Geräte aller Art direkt an den Arbeitsplätzen angeschlossen werden.



Abbildung 22 – Armatur eines Arbeitsplatzes für Lernende von Vorne, mit Waschbecken und Gasanschluss.
Foto: Böhm



Abbildung 23 – Armatur eines Arbeitsplatzes für Lernende von der Seite, mit Anschlüssen für Gleich- und Wechselstrom.
Foto: Böhm

3.1.1.7 Lagerung von Geräten und Materialien

Geräte und Materialien, welche für den Experimentalunterricht vorgesehen sind, werden meist im Chemiesaal gelagert, um diese auch für Lernende zugänglich zu machen. Damit die Geräte möglichst sicher verwahrt werden können, werden zu diesem Zweck Einbauschränke empfohlen, da diese stabiler sind, als freistehende Schränke. [8] Die Unfallkasse Nordrhein-Westfalen empfiehlt, dass Schranktüren keine Glasflächen aufweisen sollen um optimalen Schutz für die Geräte und deren Benutzer zu bieten. Wenn Schränke Glastüren besitzen, so muss es sich dabei um Sicherheitsglas handeln, da die Fluchtwege in Chemiesälen zumeist an Schrankfronten vorbeiführen. [22]



Abbildung 24 - Schrank mit deutlicher Sortierung und Beschriftung.
Foto: Böhm

An der Außenseite der Schränke sollten Etiketten angebracht werden, welche den Schrankinhalt preisgeben. So kann Unterrichtszeit durch verkürzte Suchvorgänge gespart werden. Auch die Sortierung der Geräte und Materialien im Schrankinneren ist dabei sehr hilfreich. Ob nach dem Alphabet, der Häufigkeit der Verwendung oder Art des Materials sortiert wird, ist für die Lernenden unerheblich. Wichtig ist, dass eindeutig kenntlich

gemacht wird, wo die benötigten Hilfsmittel zu finden sind und wohin sie wieder zurückgeräumt werden müssen. Um die Ordnung auch beim Aufräumen erhalten zu können, ist es empfehlenswert für Objekte wie Schutzbrillen, Spatel oder auch Laborbrenner Boxen oder seichte Wannen zu etablieren, sodass diese nicht kreuz und quer im Kasten zu liegen kommen (Abbildung 24). Die verwendeten Behälter können direkt beschriftet werden, um Irrtümer beim Aufräumen zu vermeiden.

Zur Aufbewahrung von Lebensmitteln, welche für Experimente vorgesehen sind, sollte aus Hygienegründen ein eigener Schrank verwendet werden. Wichtig ist, dass darin nur Lebensmittel, wie Zucker, Essig, Öl, Zitronensäure, Backpulver oder Brausetabletten (siehe 4.1 „Untersuchung einer Brausetablette“) gelagert werden, welche nicht leicht verderblich sind. Verderbliche Lebensmittel sollten immer frisch mitgebracht werden, wenn diese für Experimente benötigt werden.

3.1.2 Das Chemiekabinett

In vielen Schulen gibt es auch für den Bereich Chemie ein Lehrmittelzimmer, welches gerne als Chemiekabinett bezeichnet wird. Wie bereits in der Einleitung zu diesem Kapitel erwähnt, muss der Chemienebenraum sowohl vom Chemiesaal als auch vom Gang aus betretbar sein. Dadurch kann er auch als Fluchtweg aus dem Chemiesaal dienen. Wenn dies der Fall ist, sollten darin stehende Schränke keine Glasflächen aufweisen, wenn diese nicht aus Sicherheitsglas bestehen. Führt durch das Chemiekabinett kein Fluchtweg, so ist laut der Unfallkasse Nordrhein-Westfalen kein Sicherheitsglas notwendig. [22]

Um die Sicherheit für die Lernenden im Chemiesaal zu erhöhen, wird die Lagerung von Chemikalien im Chemiekabinett empfohlen. [9] [34] Genaue Richtlinien und Hinweise zur Lagerung von Chemikalien zum Gebrauch sind unter dem Punkt 2.2 zu finden. Diese Richtlinien sind für die Lagerung von Chemikalien im Chemiesaal sowie im Chemiekabinett anwendbar.

Da viele Lehrende ihren Unterricht im Chemiekabinett vorbereiten, wird dort auch mit Chemikalien gearbeitet. Es sollten daher auch in diesem Raum ein funktionierender Abzug und eine dem Vorfuhr Tisch entsprechende Arbeitsfläche eingebaut werden (Abbildung 25). Ist dies nicht der Fall, können Chemikalien im Chemiekabinett zwar gelagert werden, es ist jedoch nicht sinnvoll dort mit diesen zu arbeiten.



Abbildung 25 - Arbeitsplatz im Chemiekabinett.
Foto: Böhm

3.2 Sicherheitserziehung im Chemieunterricht

Um das Experimentieren für Schüler und Schülerinnen sicher gestalten zu können, reicht es nicht aus diesen ein sicheres Umfeld zur Verfügung zu stellen. Sie müssen zudem mit Sicherheitsvorschriften und Verhaltensregeln vertraut sein, sowie den Umgang mit Laborgeräten und Gefahrensymbolen erlernen. Werden ihnen diese Punkte nicht beigebracht, muss man von Fahrlässigkeit seitens der Lehrperson sprechen. [39] Je verantwortungsvoller die Lernenden mit Chemikalien und Geräten im Labor umgehen können, und je mehr diese über sicheres Experimentieren wissen, desto mehr spannende Experimente können mit ihnen durchgeführt werden. Bei der Sicherheitserziehung sollte, wie schon zuvor erwähnt, jedoch darauf geachtet werden, dass die Fülle an Gefahrenquellen nicht zu weit in den Vordergrund gestellt wird, um keine Furcht vor dem Experimentieren oder gar der Chemie zu erzeugen. Um dies zu vermeiden sind im Folgenden unterschiedliche Methoden beschrieben, wie Lernende mit einem positiven Gefühl an das Thema Sicherheit herangeführt werden können. Der Spieltrieb im Unterricht, von dem Rossa und seine Kollegen in ihrem Buch *Chemie-Didaktik – Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* scheiben, sollte dabei erhalten bleiben. [40] Zunächst werden jedoch grundlegende Sicherheitsvorschriften und Verhaltensregeln, welche für Lernende besonders relevant sind, vorgestellt.

3.2.1 Sicherheitsvorschriften und Verhaltensregeln

Egal ob Sicherheitsvorschriften und Verhaltensregeln mithilfe einer Laborordnung oder anderer Methoden an die Schüler und Schülerinnen herangetragen werden, die Vorschriften sind immer dieselben. Aus diesem Grund werden im Folgenden zahlreiche Punkte

zusammengefasst und erläutert, welche bei der Sicherheitserziehung von Chemielernenden keinesfalls fehlen dürfen.

3.2.1.1 Allgemeine Verhaltensregeln

Im Chemiesaal sind einige allgemeine Verhaltensregeln zu beachten, deren Einhaltung die eigene Sicherheit, sowie die Sicherheit anderer gewährleistet. Die Regeln können in zwei Gruppen eingeteilt werden – Verbote und Gebote. In Tabelle 3 sind für den Chemieunterricht essentielle Verhaltensregeln und deren Begründung aufgelistet und in die Kategorien Verbote und Gebote unterteilt. Verbote sind mit einem roten Kreuz gekennzeichnet, Gebote mit einem Grünen Häkchen.

Verhalten	Kategorie	Begründung
Betreten des Chemiesaals ohne Erlaubnis		Der Chemiesaal darf nur mit Erlaubnis und unter Aufsicht einer Lehrperson betreten werden, da sich darin zahlreiche Stoffe und Geräte mit erhöhtem Gefahrenpotential befinden.
Schulutensilien unter den Tischen verstauen		Die Schultasche sowie alle anderen Taschen, Mappen, etc., die in den Unterricht mitgebracht werden, müssen so verstaut werden, dass niemand darüber stolpern kann. So kann auch das ungewollte Verschütten von Chemikalien vermieden werden.
Essen /Trinken		Im Chemiesaal darf nicht gegessen oder getrunken werden, weil nie sicher ist, dass er Arbeitsplatz zuvor gründlich gereinigt wurde. Es besteht stets die Gefahr, dass mit den Nahrungsmitteln Reste von Chemikalien konsumiert werden.
Rauchen		Im Chemiesaal darf nicht geraucht werden, da unter anderem mit brandgefährlichen Stoffen gearbeitet wird und das Rauchen zu Bränden führen kann.
Laufen		Im Chemiesaal darf nicht gelaufen werden, um Zusammenstöße mit anderen Lernenden zu vermeiden, welche Laborgeräte oder gar Chemikalien in Händen halten.

Feste Schuhe tragen	✓	Im Chemiesaal sollten immer Schuhe mit fester Sohle getragen werden, da häufig mit Glasgeräten, Wasser und Chemikalien gearbeitet wird, wodurch am Boden Pfützen oder Scherben entstehen können.
Arbeitsanweisungen beachten	✓	Auch wenn das Beachten der Arbeitsanweisungen in jedem Unterrichtsfach wichtig ist, ist es im Chemieunterricht von besonderer Bedeutung. Nichtbeachtung von Arbeitsanweisungen kann im Experimentalunterricht die eigene Sicherheit, sowie die Sicherheit anderer gefährden.
Hände waschen	✓	Beim Verlassen des Chemiesaals nach dem Experimentieren müssen die Hände gewaschen werden, um das Verschleppen von Chemikalienresten im Schulgebäude zu vermeiden.

Tabelle 3 – Auflistung allgemeiner Verhaltensregeln für den Chemieunterricht mit Begründung und Einteilung in Verbote und Gebote. [41] [42]

Diese Regeln sind für Lernende leicht verständlich, weil sie mit Gegenständen verbunden sind, welche sie aus dem Alltag kennen. Das Rauchen ist meist im ganzen Schulgebäude verboten, wodurch es sehr logisch erscheint, dass dieses Verbot auch im Chemiesaal eingehalten werden muss. Das Essen und Trinken im Chemiesaal ist vielen Lernenden aus hygienischen Gründen ohnehin zuwider. Diejenigen, welche nicht aus eigener Überlegung auf das Essen und Trinken im Chemiesaal verzichten, sind mit der oben angeführten Begründung meist leicht davon zu überzeugen.

3.2.1.2 Verhalten im Notfall

Das erste, was Lernende zum Thema Notfälle lernen sollten, ist, dass sie zuallererst immer die Lehrperson über den Vorfall informieren müssen, egal ob es sich um einen Brandfall oder eine Verletzung handelt. Die Lehrperson leitet anschließend alle weiteren Schritte ein.

Verhalten im Brandfall

Im Brandfall gilt es stets Ruhe zu bewahren und drei Schritte einzuhalten, welche in Abbildung 26 aufgelistet sind.



Abbildung 26 - Verhalten im Brandfall [43]

Über diese Schritte müssen die Lernenden am Beginn eines Schuljahres aufgeklärt werden. Die Abbildung 26 ist auch im Chemiesaal, vorzugsweise neben dem Feuerlöscher, aufzuhängen. [43] Damit Lernende sich den Ablauf besser merken, der im Brandfall eingehalten werden muss, kann ihnen mit einer Eselsbrücke geholfen werden. Sie sollen, wenn es brennt, immer an „Herrn KARL“ denken. Die Buchstaben seines Namens stehen für die einzelnen Schritte, welche im Brandfall einzuhalten sind – **K**eine Panik, **A**larmieren, **R**etten und **L**öschen. [44]

Alarmiert werden muss zuerst die Lehrperson. Diese entscheidet dann über das weitere Vorgehen. Wenn der Brand beispielsweise nur ein einzelnes Blatt Papier betrifft, welches eigenständig gelöscht werden kann, ist es nicht notwendig die Feuerwehr zu alarmieren. Greift ein Brand jedoch auf Schultensilien, Armaturen oder Ähnliches über, muss die Feuerwehr gerufen werden, auch wenn der Brand mit einem Feuerlöscher erstickt werden könnte. Da der erste Eindruck täuschen kann, besteht immer die Möglichkeit, dass sich ein Brand schneller ausbreitet als erwartet. Erreicht der Brandherd Temperaturen, bei denen der Hitzesensor im Chemiesaal anschlägt, wird die Feuerwehr über ein automatisches System alarmiert. Wichtig ist, dass das Hauptaugenmerk auf der schnellstmöglichen Räumung des Gebäudes liegt. [43] Sobald die Feuerwehr alarmiert wurde, müssen die Schüler und Schülerinnen ihre Schulsachen nehmen und rasch, jedoch in Ruhe, das Gebäude

gemeinsam mit ihrer Lehrperson verlassen. Um dieses Verhalten zu üben, wird einmal pro Schuljahr eine Brandschutzübung durchgeführt. Wichtig ist dabei, dass die Lernenden keine Umwege in andere Klassenräume nehmen dürfen, falls sie dort etwas vergessen haben.

Verhalten bei Verletzungen

Bei Verletzungen muss ebenfalls zuallererst die Lehrperson verständigt werden. Auch wenn die Lernenden die Anweisungen der Lehrperson folgen sollten, ist es wichtig, dass sie über die Erste-Hilfe-Einrichtungen im Chemiesaal Bescheid wissen um bei der Versorgung von anderen helfen zu können. Eine genaue Beschreibung der im Chemiesaal notwendigen Erste-Hilfe-Einrichtungen ist unter Punkt 3.1.1.2 der Arbeit zu finden.

3.2.1.3 Verhalten beim Experimentieren

Auch Experimentieren will gelernt sein. Je besser Lernende die Verhaltensregeln für das Experimentieren kennen und akzeptieren, desto reibungsloser und vor allem sicherer läuft der Experimentalunterricht ab.

Bevor mit dem Experimentalunterricht begonnen wird, müssen die Lernenden über den Versuch aufgeklärt werden, welcher ihnen bevorsteht. Dazu werden zumeist Arbeitsunterlagen ausgeteilt und besprochen. Bei Experimenten mit hohem Schwierigkeitsgrad und Gefahrenpotential ist es wichtig, diese Unterlagen gemeinsam mit den Lernenden durchzugehen, damit keine ungeklärten Fragen im Raum stehen und die Schüler und Schülerinnen genau wissen, welche Aufgaben sie haben. Es ist wichtig die Lernenden über die Sicherheitshinweise auf der Arbeitsanleitung wiederholt aufzuklären und ihnen zu sagen, wie sie einzelne Arbeitsschritte durchführen sollen. So können ihnen mögliche Unsicherheiten von Beginn an genommen werden. Sind Schwierigkeitsgrad und Gefahrenpotential eines Experiments gering, ist es ausreichend, wenn die Lernenden bei etwaigen Fragen auf die Lehrperson zukommen.

In Tabelle 4 sind Regeln aufgelistet und begründet, welche speziell beim Experimentieren eingehalten werden müssen. Es wurde dabei eine Unterteilung in Regeln vorgenommen, die vor, während und nach dem Experiment zu beachten sind.

Vorbereitung		
Verhalten	Kategorie	Begründung
Arbeitsanleitung vollständig lesen	✓	Nur wer seine Arbeitsanleitung kennt, kann alle notwendigen Vorbereitungsschritte treffen.
Haare zusammenbinden	✓	Auch wenn nicht mit Feuerquellen oder gesundheitsgefährdenden Chemikalien experimentiert wird, sollten lange Haare zusammengebunden werden. So verhindert man nicht nur Verletzungen, sondern auch das Verschleppen von Chemikalienresten in der Schule.
Schutzausrüstung tragen	✓	Wenn von der Lehrperson nichts anderes vorgeschrieben wird, muss die Schutzausrüstung getragen werden. • Labormantel: schützt die Kleidung vor Flecken und Löchern. • Schutzbrille: schützt vor Spritzern und Splittern • Handschuhe: schützen vor ätzenden Substanzen
Materialien vor dem Beginn des Experiments holen	✓	Vor dem Start eines Experiment sollen alle Materialien, Geräte und Chemikalien bereitgestellt und auf Vollständigkeit überprüft werden, damit das laufende Experiment anschließend nicht verlassen werden muss.
Sauber arbeiten	✓	Es darf nicht zur Verunreinigung von Chemikalien durch unsauberes Arbeiten kommen. Für jede Chemikalie muss daher ein eigener Spatel verwendet werden und Bechergläser, etc. müssen vor dem Gebrauch für andere Stoffe gereinigt werden.
Zurückschütten von Chemikalien	✗	Wird bei der Einwaage von Chemikalien zu viel aus dem Vorratsgefäß entnommen, darf der Überschuss nicht mehr in das Gefäß zurückgeschüttet werden, um

		die Verunreinigung des jeweiligen Stoffes zu vermeiden.
Während des Experiments		
Arbeitsplatz verlassen		Hat man ein Experiment begonnen, so muss dieses ständig beobachtet werden, um unerwünschte Effekte (z.B. Anbrennen, Übergehen, Spritzen, etc.) zu vermeiden. Wird in Gruppen gearbeitet, muss zu jeder Zeit zumindest eine Person zur Beobachtung des Experiments bereitstehen.
Reagenzglasöffnung auf andere richten		Beim Arbeiten mit Reagenzgläsern muss darauf geachtet werden, dass deren Öffnung immer von anderen Personen weggerichtet ist. Bei Siedeverzügen würden diese von heißen Spritzern getroffen werden.
Chemikalien/ Reaktionsprodukte kosten		Auch, wenn mit Lebensmitteln experimentiert wird, ist es nicht erlaubt, diese zu kosten, da die verwendeten Geräte, noch Reste anderer Chemikalien aufweisen können. AUSNAHME: Wenn mit Geräten gearbeitet wird, die nur für Versuche mit Lebensmitteln verwendet werden, kann die Lehrperson das Kosten (z.B. Zuckerwatte, Lutscher, etc.) erlauben.
Pipetten mit dem Mund betätigen		Da Chemikalien nicht gekostet werden dürfen, darf auch nicht mit dem Mund pipettiert werden. Wenn man zu stark an der Pipette saugt, kann die Flüssigkeit zu weit in der Pipette ansteigen und in den Mund gelangen. Aus diesem Grund müssen Peleusbälle oder andere Pipettierhilfen benutzt werden.
Chemikalienflaschen immer schließen		Chemikalienflaschen müssen nach der Entnahme der gewünschten Menge sofort geschlossen werden. Geschieht dies nicht, können gefährliche Dämpfe

		entweichen. Weiters besteht die Gefahr, dass die Flasche umfällt und Flüssigkeit, oder Feststoff ausläuft.
Gashähne unerlaubt betätigen		Gashähne dürfen nicht ohne Anweisung der Lehrperson betätigt werden, um unkontrolliertes Austreten von Brennergas zu vermeiden.
Regeln zur Betätigung eines Gasbrenners beachten		Inbetriebnahme: 1. Gasregulierung öffnen 2. Luftzufuhr öffnen Abschalten: 1. Luftzufuhr schließen 2. Gasregulierung schließen HINWEIS: Zuerst den Gashahn schließen, dann die Gaszufuhr am Brenner.
Nach dem Experiment		
Verwendete Geräte abwaschen		Verwendete Geräte wie Bechergläser, Reagenzgläser, etc. müssen gründlich von Chemikalienresten befreit werden. Chemikalienrückstände auf Gefäßen können das nächste darin durchgeführte Experiment stören oder gar zu unerwünschten Nebenreaktionen führen.
Entsorgung nach Arbeitsanleitung		Auch die korrekte Entsorgung von Chemikalien nach dem Experimentieren trägt zur Sicherheit im Chemieunterricht bei. Wird ein Chemikalienrest oder Reaktionsprodukt im falschen Behälter entsorgt, kann es zu unerwünschten Reaktionen kommen, welche die Klassengemeinschaft in Gefahr bringen.
Arbeitsplatz sauber verlassen		Im Chemieunterricht wird bekanntlich nicht nur experimentiert, sondern auch theoretischer Inhalt vermittelt. Beim Niederschreiben von Informationen kommen verschiedene Schultensilien sowie Hände und Kleidung mit der Arbeitsplatte in Berührung, auf

		der auch experimentiert wird. Aus diesem Grund muss der Arbeitsplatz nach dem Experimentieren stets gründlich gereinigt werden, um dem Kontakt der nächsten Person mit Chemikalienresten vorzubeugen.
--	--	---

Tabelle 4 – Auflistung und Begründung von Verhaltensregeln, welche vor, während und nach dem Experimentieren einzuhalten sind, sowie deren Einteilung in Gebote und Verbote mittels Symbolen. [42] [41]

3.2.1.4 Richtiger Umgang mit Gefahrensymbolen

Wie bereits unter Punkt 2.1.3 erwähnt ist es wichtig, dass Lernende über die Bedeutung der Gefahrensymbole aufgeklärt werden. Auch wenn die Symbole für Fachkundige selbsterklärend scheinen, ist dies in den Augen von Schülern und Schülerinnen nicht immer der Fall. Diese müssen lernen was die Symbole bedeuten und wie sie mit Stoffen umgehen müssen, die mit den jeweiligen Symbolen gekennzeichnet sind. Das Wissen um die Gefahrenpiktogramme und deren Bedeutung ist im Experimentalunterricht unter anderem wichtig, als dass die Lehrperson nicht dazu gezwungen ist, alle Sicherheitsvorschriften auf Arbeitsanleitungen auszuschreiben. Es reicht, wenn die Symbole darauf abgebildet sind. Diese Übung ist auch für das Alltagsleben wichtig. Auf Produkten wie chemischen Reinigungsmitteln sind die Symbole zwar abgebildet, meist jedoch nicht in Worten erklärt.

Mit giftigen, gesundheitsschädlichen und explosionsgefährlichen Stoffen soll im Chemieunterricht nicht gearbeitet werden (siehe 2.1.3). Die Lernenden sollten daher nicht mit Behältern in Berührung kommen, die derartige Chemikalien enthalten. Dennoch ist es wichtig, dass Schüler und Schülerinnen die entsprechenden Gefahrenpiktogramme erkennen können, da es auch möglich ist, dass sie im Alltag mit Produkten wie zum Beispiel Feuerwerkskörpern, Kraftstoffen oder Pinselreinigern konfrontiert sind, die besagte Eigenschaften besitzen. [5]

In Tabelle 5 sind alle Gefahrenpiktogramme nach GHS aufgelistet und beschreiben. Weiters sind die Sicherheitsmaßnahmen angeführt, welche wichtig für den Umgang mit Stoffen sind, die mit den Piktogrammen gekennzeichnet sind.

Piktogramm	Bedeutung	Sicherheitsmaßnahmen
	Explosionsgefahr! Stoffe explodieren leicht, zersetzen sich selbst, verpuffen schnell oder reagieren unter Gasentwicklung.	• Von Hitzequellen, Feuer und Funken fernhalten • Nicht reiben, schlagen oder stoßen.
	Vergiftungsgefahr! Schon kleine Mengen wirken bei Hautkontakt, Einatmen oder Verschlucken giftig.	• Hautkontakt, Einatmen und Verschlucken vermeiden. • Schutzkleidung tragen! • Hautkontakt: rasch abwaschen. • Verschlucken: Vergiftungszentrale anrufen. • Einatmen: rasch an die frische Luft gehen; für freie Atmung sorgen.
	Schwere Gesundheitsschäden! z.B. Krebserzeugend, Allergieauslösend, Erbgutschädigend, Fruchtschädigend	• Vor der Arbeit gut informieren. • Verschlucken, Hautkontakt und Einatmen vermeiden. • Bei Verschlucken: Vergiftungszentrale anrufen. • Schutzkleidung tragen!
	Gesundheitsgefahren! z.B. Reizung von Augen und Haut, allergieauslösend	• Kontakt mit Haut und Augen vermeiden. • Sauber arbeiten.
	Brandfördernd! Oxidierende Gase, Flüssigkeiten und Feststoffe.	• Getrennt von entzündlichen Stoffen lagern. • Nicht in der Nähe von Hitze (Flammen, heiße Oberflächen, Funken, etc.) arbeiten. • Schutzausrüstung tragen.

	Entzündbar/Brandgefährlich! Entzündbare Gase, Aerosole, Flüssigkeiten und Feststoffe. Selbsterhitzungsfähige Stoffe und Gemische. Stoffe, die mit Wasser entzündbare Gase bilden. Organische Peroxide.	• Brandsicher und getrennt von brandfördernden Substanzen lagern. • Von Hitzequellen (Funken, Flammen, heißen Oberflächen, Sonnenbestrahlung, etc.) fernhalten. • Schutzausrüstung tragen.
	Ätzend / Korrosiv! Schädigt Haut und Augen. Korrosiv gegenüber Metallen.	• Sauber arbeiten. • Kontakt mit Haut und Augen vermeiden. • Kontakt mit Schleimhäuten (einatmen) vermeiden. • Schutzausrüstung (Brille, Mantel, Handschuhe) benutzen. • Bei Kontakt Haut oder Augen mit viel Wasser spülen.
	Umweltgefährlich! Giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.	• Nicht in den Abfluss oder Hausmüll geben. • Verschüttete Mengen aufnehmen und korrekt entsorgen.
	Gase unter Druck! Gelten als brandfördernd, wenn sie mit entzündlichen Stoffen stark exotherm reagieren.	• Vor Hitzequelle schützen (Sonneneinstrahlung, Heizkörper, etc.) • Bei tiefkalten Gasen Schutzausrüstung tragen.

Tabelle 5 – Auflistung der Gefahrenpiktogramme nach GHS und Beschreibung der Sicherheitshinweise, welche bei der Arbeit mit entsprechenden Stoffen, beachtet werden müssen. [45] [5]

In meiner Schulzeit habe ich im Umgang mit Gefahren drei verschiedene Typen von Lernenden kennengelernt. Zunächst die Personen, welche von Gefahren angezogen werden. Je mehr im Unterricht passieren kann, desto besser gefällt es diesen Schülern und

Schülerinnen. Eine weitere Gruppe begegnet Gefahren vollkommen neutral. Es macht für die Lernenden keinen Unterschied, ob ein Experiment gefährlicher ist als das andere. Sie führen schlicht und einfach ihre Arbeitsanweisungen aus. Die dritte Gruppe reagiert auf Gefahren zaghaft. Die Vielzahl an Gefahrenquellen im Chemieunterricht kann bei dieser Gruppe von Lernenden leicht Angst erzeugen. Besonders für die dritte Gruppe ist es wichtig, dass bei der Sicherheitserziehung die Unfallvermeidung im Vordergrund steht. Je mehr die Lernenden darüber wissen, wie sie sicher experimentieren können, desto leichter wird ihnen der Umgang mit möglichen Gefahren fallen.

Die Punkte, die hierbei meiner Meinung nach am wichtigsten sind, sind sauberes Arbeiten und das Befolgen der Arbeitsanweisungen. Wer sauber arbeitet kann nicht ungewollt mit Chemikalien gefährlicher oder ungefährlicher Art in Berührung kommen. Durch Befolgen der Arbeitsanweisungen werden Unfälle und unerwünschte Nebenreaktionen vermieden, welche zum Beispiel auftreten können, wenn Reagenzien im falschen Verhältnis gemischt werden.

Da es nicht selbstverständlich ist, dass Lernende nach einer einzigen Besprechung den richtigen Umgang mit Gefahrensymbolen beherrschen, ist es wichtig deren Bedeutung und die entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen immer wieder im Unterricht zu wiederholen. Dies kann einerseits mit kleinen Zwischenfragen im regulären Unterrichtsgeschehen passieren, andererseits ist es möglich diese Wiederholungen spielerisch zu gestalten. Da es sich hierbei um Wissen handelt, das verinnerlicht und nicht schnell wieder vergessen werden soll, halte ich Lernzielkontrollen in diesem Zusammenhang für weniger hilfreich.

Eine Methode, die zur Festigung der Gefahrensymbole herangezogen werden kann, ist das Einbeziehen von Alltagsgegenständen in den Unterricht. Jeder und jede Lernende soll drei bis fünf Gegenstände, die mit Gefahrensymbolen gekennzeichnet sind, zu Hause fotografieren. Anhand der Bilder kann diskutiert werden, dass in vielen Produkten unseres Alltags Stoffe enthalten sind, die potentiell gefährlich sind, dass es bei deren tatsächlichen Gefährlichkeit jedoch darauf ankommt, wie stark diese Stoffe konzentriert sind, wofür wir sie verwenden und wie wir mit ihnen umgehen. Barke und Harsch sprechen vom natürlichen Interesse von Jugendlichen für Vorgänge in ihrer unmittelbaren Lebenswelt. Der Alltagsbezug kann daher dazu beitragen, dass die gelernten Inhalte besser verinnerlicht werden, da an dieses natürliche Neugierverhalten angeknüpft wird. [39] Fotos sind der

Mitnahme der Gegenstände vorzuziehen, da diese leichter zu transportieren sind und deren Transport weniger Gefahren birgt.

Um zu verdeutlichen, warum Sicherheitsvorschriften eingehalten werden müssen, können unter anderem Bilder von Unfällen gezeigt werden. Diese Methode würde ich jedoch nur heranziehen, wenn Lernende permanent gegen Verhaltensregeln und Sicherheitsvorschriften verstoßen. Im Regelunterricht halte ich eine solche Maßnahme nicht für notwendig, zumal sie zur Bildung von Ängsten beitragen kann. Weiters kann das dazu führen, dass Lernende die Chemie an sich als gefährlich betrachten.

3.2.2 Die Laborordnung

Eine beliebte Methode, mit der Lernende an Sicherheitsvorschriften herangeführt werden, ist deren Darstellung mittels Laborordnung, zumal diese in keinem Chemiesaal fehlen darf. [1] Im Rahmen zahlreicher Seminare und meiner Schulpraktika habe ich viele Ausfertigungen von Laborordnungen gesehen und auch selbst gestaltet. Ich habe auch mehrere Methoden kennengelernt, mit denen Lernenden die Laborordnung nähergebracht werden kann. Dabei blieben mir zwei sehr konträre Ansätze im Gedächtnis, welche im Folgenden charakterisiert und einander gegenübergestellt werden.

1. Vorgefertigte Laborordnung:

Bei der vorgefertigten Laborordnung handelt es sich um eine Sammlung von Sicherheitshinweisen und Verhaltensregeln, welche die jeweilige Lehrperson oder Fachgruppe für den Chemiesaal erstellt hat. Durchsucht man Medien, wie das Internet oder Bücher nach Laborordnungen, so lassen sich häufig ein- oder mehrseitige Listen finden, auf denen die Sicherheitsvorschriften punktuell angeführt sind. Nur selten befinden sich darauf, unterstützend zum Text, Bilder. Dabei fällt auf, dass in den meisten Fällen die Fülle der Informationen indirekt proportional zur Anzahl der Bilder ist. In Anhang 3 befindet sich eine sehr nüchtern gestaltete Laborordnung. In Anhang 4 ist eine stark bebilderte Laborordnung zu finden.

2. Wachsende Laborordnung:

Die sogenannte wachsende Laborordnung wird von den Lernenden selbst erstellt. Dafür können zum Beispiel die ersten beiden Seiten im Chemieheft reserviert werden. Im Rahmen der ersten Chemiestunden werden zunächst nur die grundlegenden Regeln festgehalten, die auch eingehalten werden müssen, wenn im

Unterricht nicht experimentiert wird. Die weiteren Regeln werden jeweils diskutiert und hinzugefügt, bevor diese zum ersten Mal im Experimentalunterricht zum Tragen kommen.

Diese beiden Ansätze sind grundverschieden und dienen dennoch demselben Zweck. Die Lernenden sollen wissen, wie sie sich im Chemielabor zu verhalten haben. Die bereits fertige Laborordnung hat den Vorteil, dass die Lernenden alle Sicherheitsvorschriften schon zu Beginn des chemischen Anfangsunterrichts kennenlernen. Dabei besteht jedoch, im Gegensatz zur wachsenden Laborordnung, die Gefahr, dass die Fülle der Gefahrenpotentiale die Schüler und Schülerinnen einschüchtert. Daher ist es bei der Verwendung einer fertigen Laborordnung empfehlenswert, diese möglichst ansprechend für die Lernenden zu gestalten. Um zu vermeiden, dass sich die Lernenden von zu viel Text erschlagen fühlen, sollten die Regeln auf die Gefahren reduziert werden, die im Unterricht tatsächlich gegeben sind. Bleibt nach einer Reduktion immer noch dicht gedrängter Text zurück, ist es empfehlenswert, die allgemeinen Regeln und jene bezüglich des Experimentalunterrichts auf unterschiedlichen Listen anzuführen. Stichwortartige Aufzählungen machen die Laborordnung ebenfalls übersichtlicher und können durch Bilder und Symbole veranschaulicht werden. Dadurch kann ein besserer Bezug zu den Sicherheitsvorschriften hergestellt werden. Dieser Bezug wird bei der wachsenden Laborordnung durch zeitnahe Anwendung hergestellt. Die jeweilige Regel wird hierbei direkt vor dem Experiment aufgestellt, begründet, notiert und sofort praktisch angewandt. Der dabei angewandte Prozess der Transparenz soll den Lernenden das Verständnis für die Regel erleichtern und gewährleisten, dass deren Einhaltung akzeptiert wird. [46]

Egal für welche Art der Laborordnung sich Chemie-Lehrende entscheiden, wichtig ist, dass die Schüler und Schülerinnen auch wissen, welche Konsequenzen sie bei Nichteinhaltung der Verhaltensregeln erwarten. Arbeiten Lernende beispielsweise mit offenen Haaren mit Laborbrennern, so könnten diese von dem Experiment ausgeschlossen werden. Solche Konsequenzen müssen vorab geklärt und strikt durchgehalten werden. Egal ob es sich konkret um Verhaltensregeln im Chemiesaal handelt, oder um solche, die die ganze Schule betreffen, wenn diese einheitlich und konsequent angewandt und durchgesetzt werden, wird das Bewusstsein der Lernenden für Regeln gestärkt und erleichtert ihnen den Umgang mit solchen. [46]

Weiters ist es unumgänglich, dass die aufgestellten Regeln auch von der Lehrperson eingehalten werden, da diese als Vorbild für die Lernenden fungiert. Diese Ansicht hatte Albert Bandura, ein kanadischer Psychologe, bereits in den sechziger Jahren. Er veröffentlichte seine Theorie „Lernen am Modell“ in welcher er beschreibt, dass Kinder am besten durch Beobachtung lernen. Durch die Entdeckung der Spiegelneuronen in den neunziger Jahren wurde seine Theorie sehr stark untermauert. Diese sind dafür verantwortlich, dass Menschen das Verhalten anderer wahrnehmen und nachahmen. Es werden dabei sowohl Gesamteindrücke als auch dazugehörige Handlungen, Gefühle und Motivationen gespeichert. Das macht das Auftreten und Handeln von Lehrpersonen zu einem entscheidenden Faktor in der Entwicklung von Jugendlichen. [47] Bezogen auf Sicherheitsvorschriften und Verhaltensregeln im Chemieunterricht bedeutet das, dass Chemie-Lehrende den Lernenden die Einhaltung der aufgestellten Regeln vorleben müssen. Verstößt die Lehrperson gegen die Regeln, werden diese von den Lernenden auch nicht mehr ernst genommen und ebenso wenig eingehalten. Die Konsequenzen bei Nichteinhaltung der Regeln werden dann nicht mehr akzeptiert.

3.2.3 Alternative Methoden zum Lernen und Wiederholen von Laborregeln

Auch wenn die Laborordnung sicher die am häufigsten verwendete Methode ist, über die Schüler und Schülerinnen mit Verhaltensregeln im Labor kennenlernen, ist sie nicht die einzige. Um die zumeist etwas trockene Sicherheitserziehung spannender und lockerer zu gestalten, ist der Einsatz von Spielen eine gute Möglichkeit. In ihrem Werk *Chemiedidaktik Heute – Lernprozesse in Theorie und Praxis* beschreiben H.-D Barke und G. Harsch die Bedeutung des Spieltriebs und des Neugierverhaltens junger Lernender im Experimentalunterricht. [39] Warum sollte dieser Spieltrieb nicht auch im theoretischen Unterricht als Motivationskraft Einsatz finden? Es ist durchaus vorstellbar, dass Lernenden die Furcht, welche bei der Konfrontation mit den zahlreichen Sicherheitsvorschriften und möglichen Gefahren entstehen kann, durch den Einsatz spielerischer Methoden genommen werden kann. Obwohl es zum Einsatz von Spielen einige Anregungen in der Literatur gibt, setzten sich diese in der Praxis bisher kaum durch. [40] Im Folgenden werden einige selbst entwickelte Methoden, zum spielerischen Erlernen von Sicherheitsvorschriften und Verhaltensregeln im Labor vorgestellt.

3.2.3.1 Das Sicherheitsplakat

Wie auch bei den Konsequenzen kann ich mir vorstellen, dass es den Schülern und Schülerinnen helfen kann, wenn sie an der Formulierung von Sicherheitsvorschriften und Verhaltensregeln mitarbeiten dürfen. Dabei würde das Prinzip der Partizipation zum Tragen kommen, mithilfe dessen das Verständnis und die Akzeptanz der Regeln gefördert werden kann. [46] Die gemeinsame Erstellung eines Laborordnungs-Plakats bietet sich beispielsweise als Projekt in einer einführenden Chemiestunde an. Dazu sollen anhand von Leitfragen, welche an die Tafel geschrieben oder die Wand projiziert werden, Ideen entwickelt werden. Als Hilfestellung können auch Bilder als Input dienen. Die Einfälle der Lernenden werden anschließend diskutiert, geordnet und auf einem Plakat notiert, welches nach Belieben der Künstler und Künstlerinnen gestaltet werden kann. Die Notation könnte dabei Stichwortartig, in Gedichtform oder in Form von Zeichnungen oder Comics ausgeführt werden.

3.2.3.2 Labor-Memory

Das „Memory“, auch Pairs-Puzzle genannt, ist ein allseits bekanntes Spiel, bei dem Kartenpaare richtig zugeordnet werden müssen. Diese Aufgabe wird dadurch erschwert, dass die Karten gut vermischt und verdeckt auf den Tisch gelegt werden. Eingesetzt wird dieses Spiel unter anderem im Lern- und Gedächtnistraining, da es die Merkfähigkeit deutlich verbessert. [48]

Für das Erlernen oder Wiederholen von Sicherheitsvorschriften und Laborregeln kann das Spiel auf die folgenden beiden Arten adaptiert werden:

1. Die Hälfte der Kärtchen wird mit einem Bild versehen, welches eine Laborregel darstellt. Auf die andere Hälfte wird der dazu passende Text gedruckt. Die Lernenden müssen den passenden Text zum jeweiligen Bild finden, damit sie das Kartenpaar behalten dürfen. (Anhang 5)
2. Es werden immer zwei Abbildungen gedruckt (wie bei der ursprünglichen Version von Memory). Nachdem eine Person ein Kärtchen aufgedeckt hat, muss sie die, zur Abbildung passende, Regel nennen. Wenn sie das kann, darf sie ein zweites Bild aufdecken. Passen die Bilder zueinander, dürfen sie behalten werden. Kann die Regel

nicht genannt werden, muss die Karte wieder umgedreht werden und der/die Nächste ist an der Reihe. (Anhang 6)

Bei beiden Varianten empfehle ich, dass jeder/jede Lernende nur einen Versuch hat, bevor das Spiel reihum weitergeht. So haben alle die gleiche Anzahl von Chancen. Darf die Person, welche ein passendes Paar gefunden hat, weitersuchen, bis sie keinen Erfolg mehr hat, kann das zur Frustration der Mitspielenden führen.

3.2.3.3 „Tabu“ im Labor

Bei dem Gesellschaftspiel „Tabu“ muss eine Person einen Begriff erklären, ohne gewisse Schlüsselwörter zu verwenden. Diese Schlüsselwörter sind auf der Spielkarte angegeben. Derjenige aus der Gruppe der Mitspieler, der den Begriff zuerst nennen kann, erhält die Karte als Trophäe. Die Person, die die meisten Begriffe errät, gewinnt.

Zur Anwendung als Lernhilfe für Sicherheitsvorschriften und Verhaltensregeln, müssen die Begriffe des Spiels lediglich durch die zu wiederholenden Laborregeln ersetzt werden. Einige Musterkarten, mit den grundlegenden Laborregeln befinden sich in Anhang 7.

Das Spiel kann im Unterricht sowohl zur Wiederholung in Kleingruppen, als auch in der ganzen Klasse eingesetzt werden.

1. Einsatz in Kleingruppen:

Die Lernenden werden in Gruppen zu drei bis fünf Personen eingeteilt. Für jede Gruppe muss ein Satz Karten vorhanden sein, der alle Laborregeln enthält. Eine Person hebt eine Karte vom Stapel. Sie muss die darauf angeführte Regel umschreiben. Wenn die Regel von einem Mitglied der Gruppe erraten wird, darf dieses die Karte behalten. Wird eine Regel nicht erraten, so wird die Karte wieder unter den Stapel gelegt. Das Spiel geht reihum weiter.

2. Einsatz in der ganzen Klasse:

- a) Die Klasse wird in zwei Gruppen geteilt, welche gegeneinander spielen. Eine Person der ersten Gruppe muss eine Regel, laut der gezogenen Spielkarte, beschreiben. Diese Person leitet in dieser Runde das Spiel. Alle Lernenden, die die Regel erkennen, müssen aufstehen. Der Spielleiter oder die Spielleiterin wählt zuerst eine stehende Person aus dem eigenen Team. Liegt diese richtig, erhält das

Team einen Punkt. Liegt sie falsch, wird eine stehende Person aus dem anderen Team gewählt, um eine Antwort abzugeben. Auf diese Weise wird zwischen den stehenden Personen der beiden Gruppen gewechselt, bis der Punkt vergeben ist. Die nächste Regel darf von einer Person aus dem Gewinnerteam der Vorrunde vorgebracht werden.

- b) Alle Schüler und Schülerinnen stehen auf. Eine Person beschreibt eine Laborregel. Wer die Regel zuerst nennen kann, darf sich setzen. Diese Person darf nicht mehr mitraten und muss die nächste Regel beschreiben. Das wird so lange fortgesetzt, bis alle Karten verspielt sind.

Diese Herangehensweise gewährleistet, dass sich alle Mitglieder der Klasse zu Wort melden müssen. Diejenigen, die sich nicht so gerne anstrengen, können dazu motiviert werden, sich gut vorzubereiten, damit sie bereits zu Beginn eine Antwort wissen und sich die restliche Zeit zurücklehnen können.

3.2.3.4 Laborordnung – Suchpuzzle

Das Puzzle ist ein Spiel, das viele Menschen, besonders in ihrer Kindheit gerne zum Zeitvertreib heranziehen. Mit diesem Spiel kann eine, den Lernenden bekannte, Struktur genutzt werden, um bereits besprochene Laborregeln zu wiederholen. Nachdem es sich hierbei um eine sehr bildhafte Darstellung der Regeln handelt, kann das Puzzle auch dazu herangezogen werden, die Laborordnung anhand der Darstellungen von den Lernenden ausarbeiten zu lassen und diese erst anschließend zu besprechen.

Zur Erstellung eines Laborordnung-Puzzles werden verschiedene Symbole, die für die gelernten Vorschriften und Regeln stehen, in einer Collage zusammengestellt. Diese wird anschließend gedruckt, zerschnitten und foliiert. Gemeinsam mit dem Puzzle kann eine Liste ausgeteilt werden, auf der die, im Puzzle dargestellten, Laborregeln – geteilt in Gebote (Do's) und Verbote (Dont's) – notiert werden müssen. (Anhang 8)

3.3 Organisation und Strukturierung des Experimentalunterrichts

Laut der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt (AUVA) werden die meisten Unfälle bei Jugendlichen von Stürzen, mangelnder Schutzausrüstung, unordentlichen Arbeitsplätzen

oder mangelnder Konzentration verursacht. [49] Im Chemieunterricht kann Unfällen mit Sicherheitserziehung, guter Organisation und klarer Struktur vorgebeugt werden.

Sprechen Deutsch- oder Mathematik-Lehrende von ihrer Unterrichtsvorbereitung, so geht es zumeist um theoretische Inhalte, das Auswählen und Kopieren von Arbeitsblättern oder Hausübungen. Bei Chemie-Lehrenden ist die Liste der Vorbereitungsschritte, besonders für den Experimentalunterricht, etwas länger. Experimente müssen nicht nur, passend zum Thema, dem Alter und dem Wissensstand der Lernenden, ausgewählt werden. Es ist auch bei einfachen Experimenten unumgänglich, dass diese vorab ausprobiert werden, um der Enttäuschung der Lernenden vorzubeugen, sollte ein unerprobtes Experiment nicht funktionieren. [40] Während des Unterrichtsgeschehens muss das gewählte und erprobte Experiment schließlich von der Lehrperson oder den Lernenden durchgeführt werden. In beiden Fällen ist es die Aufgabe von Chemie-Lehrenden, die Reaktion der Lernenden auf das Experiment zu beobachten und etwaiges Fehlverhalten zu korrigieren. Führt die Lehrperson das Experiment selbst durch, muss dabei jeder Handgriff sitzen, damit die gleichzeitige Beobachtung der Lernenden möglich ist. [40] Wird das Experiment von den Lernenden durchgeführt, sollten die Arbeitsanleitungen so klar formuliert und besprochen werden und die Materialien so gut vorbereitet sein, dass die Sicherheit der Lernenden auch bei selbständigem Experimentieren gegeben ist. So kann die Lehrperson ihr Hauptaugenmerk auf die Beobachtung der Lernenden und die Beantwortung fachlicher Fragen legen.

Im Folgenden werden einige Methoden, Tipps und Tricks vorgestellt, mithilfe derer die Unterrichtsvorbereitung zu gut organisiertem, klar strukturiertem und sicherem Chemieunterricht führt.

3.3.1 Unterrichtsvorbereitung

3.3.1.1 Bereitstellung von Chemikalien für Lernende

Werden die für den Unterricht benötigten Chemikalien in den Vorratsflaschen bereitgestellt, so besteht die Gefahr, dass die Lernenden diese bei der Entnahme verunreinigen oder wesentlich zu große Mengen entnehmen. Um zu verhindern, dass Chemikalien verschwendet werden, ist es empfehlenswert eine kleinere Menge in einem anderen Gefäß (z.B. Becherglas) bereitzustellen. Handelt es sich um Chemikalien, die mit besonderer Vorsicht behandelt werden müssen, oder besonders kostspielig sind, ist es sinnvoll diese vorab in der benötigten Menge zu portionieren. Je nachdem wie viel des Stoffes pro

Laborgruppe benötigt wird, kann die Portionierung in kleine Bechergläsern oder gar Eppendorfgefäßen erfolgen. Dies beugt auch der Bildung von Schülertrauben vor dem Lehrertisch vor, da die Lernenden ihre Chemikalien nur abholen und nicht erst einwiegen oder abmessen müssen.

Natürlich will auch das Einwiegen von festen Chemikalien und die Abmessung des Volumens von Flüssigkeiten gelernt sein. Es ist empfehlenswert derartige Übungen in Experimente des Anfangsunterrichts zu integrieren, die wenig Zeit brauchen. Den Lernenden kann dann genug Zeit gegeben werden, um den Umgang mit den ungewohnten Messinstrumenten zu üben.

3.3.1.2 Beobachtung von Demonstrationsexperimenten

Da der Demonstrationstisch in mindestens zwei Metern Abstand zu den Arbeitsplätzen der Lernenden stehen muss (siehe 3.1.1.5), ist es oft schwierig die chemischen Phänomene zu beobachten, welche die Lehrperson anhand von Experimenten vorführt. Vor allem, wenn es sich um Experimente handelt, die aus Sicherheitsgründen hinter der Schutzscheibe durchgeführt werden müssen, ist die Beobachtung schwierig, da die Lernenden in diesem Fall nicht näher an den Tisch herantreten dürfen. Ebenso verhält es sich mit Experimenten, wie „Wasser entzündet Feuer“, die im Abzug durchgeführt werden (siehe 4.2). Aus sicherer Entfernung ist die Beobachtung dessen, was sich hinter Glas abspielt, nicht einfach. Eine Möglichkeit, Lernenden die Beobachtung zu erleichtern, ist die Übertragung der Geschehnisse auf eine Leinwand. Dafür muss der Versuch entweder bei der Unterrichtsvorbereitung gefilmt oder direkt im Unterricht über eine Live-Kamera übertragen werden. Wenn ein Versuch nicht zu aufwändig oder kostspielig ist um ihn selbst zu machen, kann auch ein bereits vorhandenes Video gezeigt werden.

Bereits 1979 wurde der Einsatz von Filmen im Chemieunterricht für möglich gehalten und sogar empfohlen. Damals war jedoch noch die Rede von S-8-Filmen. Die Art des Mediums, auf dem Filme präsentiert werden, hat sich seither stark gewandelt. Dennoch bin ich der Meinung von Hans-Jürgen Becker und seinen Kollegen, welche 1992 schrieben, dass sich Filme vor allem für die Veranschaulichung von sehr langsamen im Zeitraffer sowie schnellverlaufenden Reaktionen in Zeitlupe eignen. Einfache Reaktionen sollten hingegen direkt experimentell erlebt werden. [50] Da Videos heutzutage allgegenwärtig sind, glaube ich, dass möglichst viele Experimente direkt gezeigt oder live übertragen werden sollen. Jugendliche sind so sehr an das Medium Video gewöhnt, dass sie dazu tendieren,

währenddessen abzuschalten und ihren eigenen Gedanken zu folgen. Videos, die selbst aufgenommen wurden, enthalten häufig eine bekannte Umgebung oder Person, wodurch die Aufmerksamkeit der Schüler und Schülerinnen tendenziell besser auf den Film gelenkt werden kann.

3.3.1.3 Gestaltung von Stationenbetrieben

Wenn gruppenweise an verschiedenen Experimenten gearbeitet werden soll, die Gruppen gar mehrere Experimente in einer Einheit durchführen sollen, ist es empfehlenswert einen Stationenbetrieb zu etablieren. Selbst wenn es sich nur um zwei verschiedene Experimente handelt, ist es besser die Lernenden einen örtlichen Wechsel durchführen zu lassen, da das Aufbauen und Wegräumen von zwei Experimenten pro Gruppe wesentlich mehr Zeit in Anspruch nehmen würde. Da die Durchführung mehrerer Experimente in einer Chemiestunde relativ viel Zeit in Anspruch nimmt, ist es sinnvoll möglichst viel vor dem Unterricht vorzubereiten. So kann den Lernenden Zeitstress genommen werden, wodurch diese konzentrierter arbeiten können. Mehr Konzentration bedeutet im Chemielabor gleichzeitig mehr Sicherheit.

Eine Methode, die hierfür sehr empfehlenswert ist, ist die Verwendung von Boxen, in die die Geräte, Materialien und Chemikalien einsortiert werden, die für das jeweilige Experiment benötigt werden. Dazu eignen sich besonders Kunststoffboxen mit Deckel, wie sie im Alltag gerne für Spielsachen oder anstelle kleiner Umzugskartons verwendet werden. Die Lernenden können nach dem Besprechen des Ablaufes der Unterrichtseinheit einfach die ganzen Boxen vom Lehrertisch abholen und direkt mit dem Experimentieren beginnen. Jeder Box sollte auch ein foliertes Blatt beigelegt werden, auf dem der Inhalt der Box dokumentiert ist, sodass die Lernenden nach dem Experiment überprüfen können, ob sie alles wieder richtig verstaut haben.

Diese Methode ist besonders dann hilfreich, wenn die Experimente von mehreren Klassen durchgeführt werden sollen, da es dann nicht notwendig ist die Utensilien immer wieder aufs Neue vorzubereiten. Die Boxen können so lange eingeräumt bleiben, bis die Versuche von allen Klassen durchgeführt wurden. Wenn an der Schule genügend Geräte und Materialien zur Verfügung stehen, können die Utensilien für Experimente, die häufig im Unterricht gemacht werden, dauerhaft in Boxen gelagert werden.

3.3.2 Strukturierung des Experimentalunterrichts

3.3.2.1 Gruppeneinteilung

Mag der Unterricht auch noch so gut vorbereitet und strukturiert sein, wenn die Struktur nicht klar für die Schüler und Schülerinnen ist, hat sie für den praktischen Unterricht keine Relevanz. Es ist daher vorteilhaft neue Strukturen zu verbalisieren und immer wieder gleiche oder ähnliche Strukturelemente in den Unterricht einzubauen, sodass die Lernenden diese, wie die Regeln eines Gesellschaftsspiels, verinnerlichen.

Ein Thema, welches in diversen Lehrveranstaltungen des Lehramtsstudiums angesprochen wurde, ist die Einteilung von Arbeitsgruppen. Bei der Gruppeneinteilung geht es häufig darum die Konstellation von Kleingruppen neu zusammenzustellen, Zufallsentscheidungen oder die Trennung von Freunden und Sitznachbarn zu akzeptieren. Damit soll verhindert werden, dass immer die gleiche Person in einer Gruppe die Arbeit macht. Natürlich ist die leichteste Methode, die Sitznachbarn miteinander arbeiten zu lassen. Dabei besteht jedoch die Gefahr, dass die Lernenden nicht all ihre Fähigkeiten kennenlernen. [51]

Der Methodenpool, aus dem man zur Gruppeneinteilung schöpfen kann, ist unendlich groß und erstreckt sich vom Internet, über Zeitschriftenartikel, bis hin zu Büchern. Bei der Einteilung für Arbeitsgruppen für den Experimentalunterricht sind zwei Faktoren ausschlaggebend: Zeit und Ruhe. Es sollten also Methoden gewählt werden, die schnell durchgeführt werden können und bei denen sich die Lernenden nicht zu viel durch den Raum bewegen müssen. Weiters sollt die Methode zur Gruppeneinteilung nicht ständig gewechselt werden. Wenn die Lernenden eine Methode bereits kennen, muss diese nicht mehr erklärt werden, was deutlich Zeit sparen kann. Zusätzlich können Diskussionen darüber, wer mit wem nicht arbeiten möchte, vermieden werden, wenn sich die Lernenden an die Struktur einer Methode gewöhnt haben.

3.3.2.2 Aufgabenverteilung

Eine weitere Strukturierung, die im Experimentalunterricht vorgenommen werden kann, ist die Aufgabenverteilung unter den Lernenden innerhalb der Arbeitsgruppen. Diese ist wichtig, damit nicht alle Lernenden gleichzeitig losstürmen um sich ihre Arbeitsmaterialien und Chemikalien zu holen.

Gruppenweise Einteilung:

Es kann pro Laborgruppe eine Person bestimmt werden, die für das Holen der Reagenzien zuständig ist. Eine andere soll die Geräte und Materialien zum Arbeitsplatz bringen. Die übrigen Mitglieder der Laborgruppen werden mit dem Versuchsaufbau beauftragt. So laufen nicht alle Lernenden in eine Richtung. Die Einteilung kann zum Beispiel über die Anordnung der Plätze im Raum – fensterseitig, türseitig, Mittelgang – getroffen werden. Wichtig ist dabei, dass nicht immer die gleichen Personen mit den gleichen Aufgaben betraut werden, damit jeder / jede Lernende alle Tätigkeiten (kennen)lernt.

Eine weitere Einteilung kann reihenweise erfolgen. Es dürfen zum Beispiel die Lernenden, welche in den vorderen Reihen sitzen, zuerst die Chemikalien holen und jene aus den hinteren Reihen, die Materialien und Geräte. So kann mehr Ruhe in den Saal gebracht und die Bildung von Menschentrauben vor den Kästen und dem Lehrertisch verhindert werden.

Einer für alle:

Eine weitere Möglichkeit ist, die Geräte und Materialien jeweils von einzelnen Personen an alle Gruppen verteilen zu lassen. Diese können zufällig gewählt oder gezogen werden. Sind Chemikalien schon fertig eingewogen und vorbereitet, kann auch mit diesen so verfahren werden. Ist dies nicht der Fall, muss von jeder Gruppe eine Person dafür eingeteilt werden. Mit dieser Methode wird den Lernenden die eigene Verantwortung für Vorbereitung ihres Experiments abgenommen. Dies kann sowohl ein Vorteil, als auch ein Nachteil sein.

In Klassen, in denen die Lernenden nicht sonderlich eigenverantwortlich arbeiten können, ist diese Methode einerseits nachteilig, weil den einzelnen Gruppen die Verantwortung dafür, dass sie alle benötigten Arbeitsmaterialien beisammen haben, aus der Hand genommen wird. Andererseits kann es einzelnen Schülern und Schülerinnen ein Gefühl der Verantwortung vermitteln, wenn sie nicht nur für die eigenen, sondern auch die Utensilien anderer verantwortlich sind.

In Klassen, in denen die Schüler und Schülerinnen eigenständig und verantwortungsvoll arbeiten, muss dieses Verhalten nicht erlernt werden. Diese Methode kann also eingesetzt werden um Unterrichtszeit zu sparen.

4. Experimenteller Teil

Dieses Kapitel stellt eine Sammlung von Experimenten dar, welche mittels praktischer Durchführung besonders auf Sicherheits- und Entsorgungsaspekte untersucht wurden. Die Auswahl der Versuche erfolgte im ersten Schritt durch eine Umfrage, welche an Chemie-Lehrende in der Steiermark und dem Burgenland versandt wurde.² Da ich kaum Rückmeldung zur Umfrage bekommen habe, wandte ich mich im zweiten Schritt persönlich an einige berufserfahrene Chemie-Lehrende. Diese nannten mir Experimente, bei denen sie selbst schon Fragen zu Entsorgung und Sicherheit hatten. In der Versuchsliste, welche aus diesen Gesprächen und der Recherche in unterschiedlichen Schulbüchern entstand, sind Versuche aus unterschiedlichen Themenbereichen enthalten, welche größtenteils für die Sekundarstufe I und die Sekundarstufe II geeignet sind. Anhand der durchgeführten Experimente werden praktische Tipps gegeben und einfache Methoden vorgestellt, wie Sicherheitsrisiken und Entsorgungszweifel gebannt werden können. Die im Folgenden beschriebenen Versuche sind in Tabelle 6 aufgelistet.

Nr.	Versuch	Thema	Gefahren
4.1	„Untersuchung einer Brausetablette“	Gase, Luft, Oxidation, Einteilung und Eigenschaften von Stoffen, Säuren und Basen	
4.2	„Wasser entzündet Feuer“	Energetische Veränderungen, Redoxchemie (Komproportionierung),	
4.3	„Herstellung von Schwefeleisen“	Grundmuster chemischer Reaktionen, Chemische Bindung, Redoxreaktionen	
4.4	„Oxidationsstufen des Mangans“	Oxidationszahlen, Redoxreaktionen, pH-Abhängigkeit des Redoxpotentials	

² siehe Anhang 1

4.5	„Blue Bottle“	Redoxreaktionen, Reversible Reaktionen, Reaktionsgeschwindigkeit	
4.6	„Herstellung eines Fruchtesters“	Grundmuster organischer Reaktionen, Esterbildung, Gleichgewicht	

Tabelle 6 – Auflistung der Experimente, welche in Kapitel 4 behandelt werden.

Da in Tabelle 6 sowohl Schülerversuche als auch Lehrerversuche zu finden sind, wurden zwei Symbole gestaltet, welche der Versuchsbeschreibung vorangehen. Es handelt sich dabei um Erlenmeyerkolben, welche sich einerseits farblich, andererseits durch ihre Aufschrift unterscheiden. Die Graphik, welche Experimente für Schüler und Schülerinnen kennzeichnet, ist in grün gehalten und trägt die Aufschrift „S“ (Abbildung 27). Für Lehrerversuche steht der Buchstabe „L“, welcher auf orangem Hintergrund zu finden ist (Abbildung 28). Diese Symbole machen eine Unterscheidung zwischen Schüler- und Lehrerversuchen auf den ersten Blick möglich.



Abbildung 27 - Symbol zur Kennzeichnung von Schülerversuchen
Graphik: Böhm



Abbildung 28 - Symbol zur Kennzeichnung von Lehrerversuchen
Graphik: Böhm

Der Versuch 4.1 „Untersuchung einer Brausetablette“ birgt, im Gegensatz zu den anderen Versuchen keine Gefahren. Er wurde exemplarisch in die Arbeit aufgenommen, um zu zeigen, dass auch Experimente im Unterricht durchgeführt werden können, welche keine Sicherheitsrisiken mit sich bringen und wenig materiellen Aufwand bedeuten.

Die Gestaltung der Arbeitsanleitungen wurde so gewählt, dass die Versuche von Schülern und Schülerinnen einfach durchgeführt werden können. Um den Lernenden die Arbeit zu erleichtern, werden sie bei den Arbeitsanweisungen direkt angesprochen. Bei Versuchen, welche nicht von Lernenden durchgeführt werden sollen, wurde eine direkte Ansprache ausgelassen.

Die Aufzählung der Beobachtungen bei den einzelnen Versuchen wurde nach dem System gestaltet, welches Fabian Wild in seiner Diplomarbeit „*Sprachsensibler Chemieunterricht mit besonderem Fokus auf das Experimentieren*“ erarbeitete. Es geht der Beschreibung dessen, was beobachtet wird, jeweils eine Abbildung des angesprochenen Sinnes voraus. Auch die dafür verwendeten Bilder wurden dieser Arbeit entnommen. [52]

Wird im Chemieunterricht, wie bei Experiment 4.1 „Untersuchung einer Brausetablette“, mit alltagsgebräuchlichen Substanzen gearbeitet, kann auf das Tragen von Labormantel und Schutzbrille unter Umständen auch verzichtet werden. Da das Tragen von Labormantel und Schutzbrille bei allen anderen Versuchen, die im experimentellen Teil dieser Arbeit behandelt werden, jedoch notwendig ist, wird diese Notwendigkeit bei den einzelnen Versuchen nicht mehr zusätzlich erwähnt. Es sind nur die entsprechenden Gebotsschilder (Abbildungen 29 bis 31) angeführt.



Abbildung 29 - Gebotszeichen:
Schutzkleidung tragen. [10]



Abbildung 30 - Gebotszeichen:
Schutzbrille tragen. [10]



Abbildung 31 - Gebotszeichen:
Schutzhandschuhe tragen. [10]

4.1 „Untersuchung einer Brausetablette“

Nicht alle Experimente im Chemieunterricht sind risikoreich und arbeitsintensiv. Exemplarisch für diesen Sachverhalt wird im Folgenden die „Untersuchung einer Brausetablette“ vorgestellt. Diese wird als Schülerversuch zur Untersuchung von Gasen im Schulbuch *Stoffe* für die Sekundarstufe I herangezogen. [45] Der Versuch ist auch von Lernenden einfach durchführbar und birgt kein Gefahrenpotential, welchem die Schüler und Schülerinnen nicht auch im Alltag ausgesetzt wären.



benötigte Materialien	Benötigte Chemikalien
3 Reagenzgläser	Brausetabletten (sollen Citronensäure und Natriumhydrogencarbonat enthalten)
2 Stopfen	
1 Reagenzglasständer	
1 Wanne (ca. 15 cm tief und lang)	
1 Pinzette	
1 Glimmspan	
1 Feuerzeug	

Tabelle 7 - Auflistung der Chemikalien und Materialien, welche für den Versuch „Untersuchung einer Brausetablette“ benötigt werden.



Abbildung 32 – Materialien für "Untersuchung einer Brausetablette"
Foto: Böhm

Durchführung: [45]

- Teile 2 Brausetabletten in je 4 – 5 Bruchstücke (halte diese trocken).
- Fülle die Wanne mit Wasser (10 cm hoch).
- Halte das Reagenzglas unter Wasser bis es keine Luftblasen mehr enthält.
- Stelle das Reagenzglas in der Wanne auf, sodass die Öffnung unter Wasser ist.
- Halte mit der Pinzette ein Stück Brausetablette unter die Öffnung des Reagenzglases.
- Wiederhole den Vorgang bis das Reagenzglas kein Wasser mehr enthält.
- Verschließe das Reagenzglas unter Wasser mit einem Stopfen.
- Beschrifte das mit Gas gefüllte Reagenzglas mit der Nummer 1.
- Wiederhole den Versuch mit einem zweiten Reagenzglas.
- Beschrifte das zweite Reagenzglas ebenfalls mit der Nummer 1.

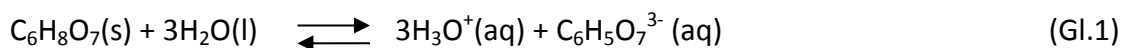
- Beschrifte ein leeres Reagenzglas mit der Nummer 2. Dieses Reagenzglas musst du nicht verschließen.
- Zünde einen Glimmspan an und halte ihn in das Reagenzglas mit der Nummer 2.
- Wiederhole den Versuch mit einem Reagenzglas mit der Nummer 1.
- Schütte den Inhalt von Reagenzglas 1 in Reagenzglas 2 und führe erneut die Glimmspanprobe durch.
- Beschreibe den Inhalt von Reagenzglas 1. Worum könnte es sich handeln?

Beobachtungen:

	Farblose Gasblasen steigen auf. Der Span glimmt in der Luft weiter. Der Span erlischt im gebildeten Gas. Das Gas lässt sich umfüllen.
---	---

Erkenntnisse:

Bei dem gebildeten Gas kann es sich nicht um Luft handeln, da der Span darin nicht weiterglimmt. Das Gas entsteht bei der Reaktion des, in der Tablette enthaltenen, Natriumhydrogencarbonats mit Wasser und Citronensäure. Es handelt sich um Kohlenstoffdioxid, welches auch als Löschmittel in speziellen Feuerlöschern enthalten ist. Natriumhydrogencarbonat ist neben Citronensäure der Hauptbestandteil von Brausetabletten. Weitere Inhaltstoffe der Brausetablette sind Magnesiumcarbonat, Natriumcyclamat (Süßungsmittel), Apfelsäure (Säuerungsmittel) natürliches Zitrusaroma, Vitamin E, Natriumsaccharin (Süßungsmittel) und der Farbstoff Riboflavin-5-phosphat. Im Wasser deprotoniert die Citronensäure, wodurch ein saures Milieu entsteht. (Gl.1; Abbildung 33) Im nächsten Schritt findet eine Verdrängungsreaktion statt. [53] Die schwache Kohlensäure wird durch die stärkere Citronensäure aus ihrem Salz verdrängt. In der Lösung liegen danach Natriumionen, Citrationen und Kohlensäure vor. (Gl.2; Abbildung 34) Die Kohlensäure zerfällt anschließend zu Wasser und Kohlenstoffdioxid. (Gl.3) [54]



Bei Citronensäure handelt es sich um eine schwache Säure ($\text{pK}_{\text{s}1}=3,13$; $\text{pK}_{\text{s}2}=4,76$; $\text{pK}_{\text{s}3}=6,4$), welche in wässriger Lösung nicht vollständig dissoziiert. [55]



Abbildung 33 -Deprotonierung von Citronensäure in Wasser.
Graphik: Böhm

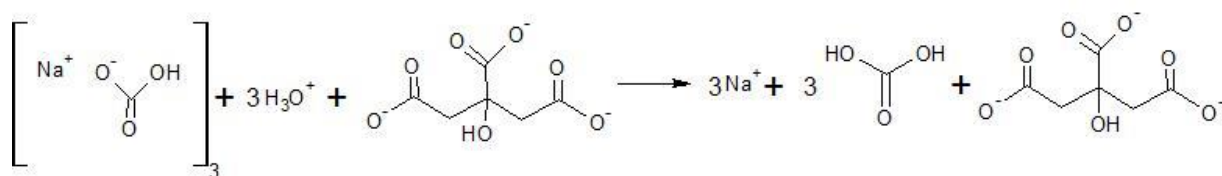
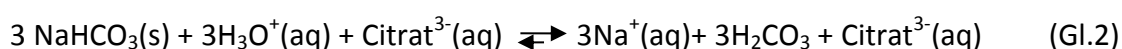


Abbildung 34 - Zerfall von Natriumhydrogencarbonat zu Kohlensäure und Natriumionen.
Graphik: Böhm



Da das flüchtige Kohlenstoffdioxid kontinuierlich aus der Lösung entweicht, verlagert sich das Gleichgewicht der in Gleichung 3 dargestellten Reaktion stark auf die Seite der Produkte. Dasselbe gilt für die Reaktion aus Gleichung 2, da das Entweichen von Kohlenstoffdioxid auch den Abzug von Kohlensäure aus diesem Gleichgewicht zur Folge hat.

Sicherheitsaspekte

Es ist darauf zu achten, dass keine Reagenzgläser zu Bruch gehen, um Schnittverletzungen zu vermeiden. Ansonsten sind hier keine besonderen Vorkehrungen zu treffen.

Entsorgungshinweise

Dieser Versuch steht ganz unter dem Motto der Abfallvermeidung. Solange es nicht zum Glasbruch kommt, fallen hier keine Abfallstoffe an, die einer besonderen Entsorgung bedürfen. Das Kohlenstoffdioxid entweicht in die Luft. Das Wasser, welches die restlichen Inhaltstoffe der Brausetablette enthält, kann gefahrlos über den Abfluss entsorgt werden.

Didaktischer Hintergrund

Im Schulbuch *Stoffe*, welchem der Versuch entnommen wurde, ist dieser im ersten Kapitel zu finden. In dem hier beschriebenen Versuch „Untersuchung einer Brausetablette“ sollen die Lernenden Gasentwicklung beobachten sowie die Farbe und den Geruch bestimmen. Weiters soll die Glimmspanprobe in Luft und Kohlenstoffdioxid durchgeführt werden. [45]

Nachdem dieses Buch für die 4. Klasse der Sekundarstufe I (8. Schulstufe) geschrieben wurde, muss davon ausgegangen werden, dass die Schüler und Schülerinnen kaum spezifisches chemisches Vorwissen besitzen, sofern diese keine vertiefende Schulform besuchen. In diesem Fall würde dieser Versuch bereits in der 3. Klasse (7. Schulstufe) gut zum Themenbereich *Einteilung und Eigenschaften der Stoffe* des Lehrplans passen. [33] Den Lernenden kann anhand des Versuchs nähergebracht werden, dass unterschiedliche Gase verschiedene Eigenschaften haben oder dass es sich bei der Brausetablette nicht um einen Reinstoff handelt.

Was die Schüler und Schülerinnen empirisch aus diesem Versuch erfahren können, ist die Entwicklung eines Gases, welches keine Farbe und keinen Geruch besitzt. Mithilfe der Glimmspanprobe kann darauf hingeführt werden, dass zwischen dem gebildeten Gas und Luft ein Unterschied besteht. Nach der Frage nach den Versuchsergebnissen sind im Buch zwei Fragen zum Versuch angeführt, welche die Lernenden dazu anregen sollen, darüber nachzudenken, dass das im Versuch verwendete „leere“ Reagenzglas gar nicht leer, sondern mit Luft gefüllt war. Wie Annette Marohn und Rebekka Schillmüller in ihrem Artikel *Luft ist nicht Nichts – Schlüsselexperimente zu Gasen* in der Zeitschrift *Chemie und Schule* beschreiben, ist diese Vorstellung für viele Lernende durchaus problematisch. [56]

Ein Themenkomplex, zu welchem der Versuch ebenfalls gut passt, ist der Zusammenhang von Säuren, Basen und Salzen. Wie bereits oben erläutert, findet hier eine Verdrängungsreaktion statt, bei der eine schwache Säure durch eine stärkere Säure aus ihrem Salz verdrängt wird. Genauer könnte man auch sagen, eine flüchtige Säure wird von einer weniger flüchtigen Säure verdrängt. [53]

Schaltet man dem Experiment anstelle der Glimmspanprobe einen weiteren Versuch nach, bei dem das aufgefangene Gas über die Flamme eines Teelichts geschüttet wird, so kann die „Untersuchung einer Brausetablette“ als Vorbereitung für einen Versuch zum Thema

Oxidation angesehen werden. Dieses Thema ist im Lehrplan der Sekundarstufe I unter dem Punkt *Grundmuster chemischer Reaktionen* zu finden. [33] Anhand des nachgeschalteten Versuchs kann gezeigt werden, dass es sich bei dem gebildeten Gas nicht um Sauerstoff handeln kann, welcher für das Brennen der Flamme notwendig ist. Die Durchführung dieses Versuchs ist dem bereits genannten Artikel *Luft ist nicht Nichts – Schlüsselexperimente zu Gasen* angehängt. [56]

4.2 „Wasser entzündet Feuer“

Vielen Schülern und Schülerinnen ist aus dem Alltag bekannt, dass unter anderem Wasser dazu verwendet wird um Feuer zu löschen. Es ist jedoch für die meisten überraschend, dass Wasser auch zum Entzünden von Feuer herangezogen werden kann. Das hier beschriebene Experiment kann daher Erstaunen oder Verwirrung bei Lernenden hervorrufen, wodurch diese zum Nachdenken angeregt werden und deren Wissbegier geweckt wird. Die Entsorgung des Produktgemisches erscheint bei diesem Versuch zunächst kompliziert, da es sich dabei um ein scheinbar undefinierbares Gemisch aus flüssigen und festen Bestandteilen handelt. Aus diesem Grund wurde der Versuch in die Arbeit aufgenommen. Nach genauerer Betrachtung wird schnell klar, dass die Zugabe eines Überschusses an Wasser und anschließendes Abfiltrieren ausreichen um alle Bestandteile sachgerecht entsorgen zu können.



Benötigte Materialien	Benötigte Chemikalien
3 Bechergläser	3,3g Zinkstaub (Zn)
1 Analysewaage (bis 0,01g)	4g Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) wasserfrei!
1 Spatel	0,5g Ammoniumchlorid (NH_4Cl)
1 Filterpapier	1 Tropfen Wasser (H_2O dest.)
1 Feder	
1 Backblech (feuerfeste Unterlage)	
1 Porzellanschale (Durchmesser etwa 10 cm)	
1 Einwegpipette	

Tabelle 8 - Auflistung der Chemikalien und Materialien für den Versuch „Wasser entzündet Feuer“.



Abbildung 35 - Materialien für "Wasser entzündet Feuer"
Foto: Böhm

Durchführung: [57] [58]

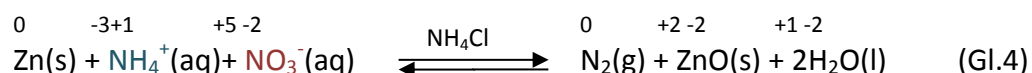
- Das Backblech wird als feuerfeste Unterlage im Abzug platziert.
- Die Porzellanschale wird in die Mitte des Blechs gestellt.
- Die Chemikalien werden in je ein Becherglas eingewogen. (Die Bechergläser müssen beschriftet werden)
- Das Ammoniumnitrat und das Ammoniumchlorid werden auf das Filterpapier geleert und behutsam mit der Feder gemischt. (keine Reibung!)
- Das Zinkpulver wird hinzu gegeben und die Mischung erneut vermengt.
- Die Mischung wird in die Porzellanschale überführt. Dabei muss darauf geachtet werden, dass das Gemisch kegelförmig angehäuft ist!
- 1 – 2 Tropfen Wasser werden mit der Einwegpipette auf die Spitze des Kegels getropft.
- Der Abzug wird schnell geschlossen und die Reaktion beobachtet.

Beobachtungen:

	Das Gemisch fängt an zu rauchen und zu brennen, wenn es mit Wasser in Berührung kommt.
---	---

Erkenntnisse:

Bei diesem Versuch reihen sich sehr rasch mehrere Ereignisse aneinander. Zunächst löst sich das Ammoniumnitrat in Wasser. Die dadurch entstandene Ammoniumnitrat-Lösung reagiert mit dem Zink, welches in Pulverform eine sehr große Oberfläche aufweist, wodurch die ohnehin schon große Reaktionsfreudigkeit des unedlen Metalls nochmals erhöht wird. Das Ammoniumchlorid wird dem Gemisch als Katalysator beigelegt. Es beschleunigt die Reaktion indem es die Bildung einer Oxidschicht am Zink verhindert. Diese würde der Reaktion ein rasches Ende setzen. Die Tatsache, dass bei dieser Reaktion Raucherscheinungen und Flammen zu beobachten sind, lässt darauf schließen, dass es sich um eine exotherme Reaktion handelt. Bei einer solchen Reaktion sinkt die Enthalpie des stofflichen Systems, da Energie in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben wird. [59] Gleichung 4 beschreibt näherungsweise die Bruttogleichung der Reaktion. [58] [60] Nach Erreichung der Aktivierungsenergie läuft die Reaktion freiwillig ab. Das chemische Gleichgewicht liegt dabei sehr stark auf der Seite der Produkte. Diese beiden Punkte lassen auf eine exergonische Reaktion schließen, bei welcher die Reaktionsenthalpie unter Null liegt. [59] Für die Erreichung der Aktivierungsenergie, beziehungsweise die Zündung des Gemisches, ist die Reaktionswärme verantwortlich, welche bei der Oxidation des feuchten Zinkstaubes entsteht. [61]



Betrachtet man Gleichung 4 genauer, ist eine Redoxreaktion zu erkennen. Diese kann in drei Teilreaktionen unterteilt werden, welche in Tabelle 9 aufgeschlüsselt und erklärt sind.

Teilreaktion		Erklärung
$\begin{array}{c} 0 \\ \text{Zn} \end{array} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$		Elementares Zink wird zu Zinkoxid oxidiert.
$\begin{array}{c} +5 \\ \text{N} \end{array} + 5\text{e}^- \longrightarrow \begin{array}{c} 0 \\ \text{N} \end{array}$		Der Stickstoff des Nitrat-Anions wird reduziert.
$\begin{array}{c} -3 \\ \text{N} \end{array} \longrightarrow \begin{array}{c} 0 \\ \text{N} \end{array} + 3\text{e}^-$		Der Stickstoff des Ammonium-Kations wird oxidiert.

Tabelle 9 - Aufschlüsselung und Erklärung der Teilreaktionen von Gl.4.

Beim Stickstoff findet eine Komproportionierung statt. Dabei werden die unterschiedlichen Oxidationszahlen, die die beiden Stickstoffatome des Ammoniumnitrats aufweisen, zu einer Oxidationszahl zusammengeführt. Der Stickstoff des Ammonium-Kations wird oxidiert und der des Nitrat-Anions reduziert. [60]

Sicherheitsaspekte [18]

Chemikalie	Symbol	H- Sätze	P- Sätze
Zink (Zn)	 „Gefahr“	250, 260, 410	222, 210, 231+232, 280, 370+378, 273
Ammoniumnitrat (NH ₄ NO ₃)	 „Achtung“	272, 319	210, 220, 280, 305+351+338, 370+378
Ammoniumchlorid (NH ₄ Cl)	 „Achtung“	302, 319	305+351+338

Tabelle 10 – Auflistung der Sicherheitshinweise der Chemikalien für den Versuch „Wasser entzündet Feuer“.



Aufgrund der zahlreichen Sicherheitsaspekte, die bei diesem Versuch zu beachten sind, ist dieser **NICHT als Experiment für Schüler und Schülerinnen** geeignet! [57]

Bei der Vorbereitung für das Experiment sollte darauf geachtet werden, dass kein Ammoniumnitrat oder Ammoniumchlorid in die Augen gelangt, da diese schwere Augenreizungen verursachen. [18]

Bei der Reaktion kommt es zu Gasentwicklung und zur Bildung einer heftig brennenden, grellen, heißen Flamme. Der Versuch sollte unbedingt auf einer feuerfesten Unterlage durchgeführt werden, um Schäden an der verwendeten Arbeitsfläche zu vermeiden. Dazu eignen sich Backbleche besonders gut. Die Durchführung muss unter einem geschlossenen Abzug geschehen, weil es bei der Reaktion zu starker Rauchbildung kommt. Da die Zündung blitzartig erfolgen kann, ist es auch empfehlenswert bei der Zündung feuerfeste Handschuhe zu tragen. Aufgrund der freiwerdenden Energie spritzt das Reaktionsgemisch häufig aus der

Porzellanschale. Der Abzug sollte so rasch wie möglich nach der Zündung geschlossen werden.

Eine Methode, um die Sicherheitsrisiken für die Lernenden zu minimieren, ist die Übertragung des Versuchs mit einer Videokamera auf eine Leinwand. Dies gibt den Lernenden auch die Möglichkeit genauer zu beobachten, was bei Experimenten, die unter dem geschlossenen Abzug durchgeführt werden, nicht immer möglich ist. (siehe 3.3.1.2)

Bevor das Produktgemisch entsorgt werden kann, muss einige Minuten gewartet werden, bis die heiße Schale abgekühlt ist.

Entsorgungshinweise

In unterschiedlichen Quellen in denen der Versuch zu finden ist, sind auch verschiedene Mengen der Reagenzien angegeben. In der obenstehenden Versuchsanleitung wurden die Mengen so gewählt, dass Zink und Ammoniumnitrat im stöchiometrischen Verhältnis vorhanden sind. Bei vollständiger Umsetzung bleiben so im optimalen Fall keine Edukte zurück.

Da die verwendeten Chemikalien, sowie die Reaktionsprodukte der Umwelt schaden, sollte auf eine korrekte Entsorgung Wert gelegt werden.

Durchführung der Entsorgung:

- Das Produktgemisch wird mit einem Spatel aus der Porzellanschale geschabt und in ein Becherglas (etwa 250 ml) überführt. [TIPP: zwischendurch mit Wasser spülen]
- Das Gemisch wird mit Wasser versetzt und kräftig umgerührt.
- Diese Mischung wird filtriert.
- Das Filtrat wird in den Abfluss geschüttet. (Inhalt: siehe Theoretischer Hintergrund)
- Der Filter und die darin verbliebenen Rückstände werden getrocknet.
- Die Rückstände werden vom Filter in den Behälter für Schwermetalle überführt.
- Der trockene, saubere Filter wird im Restmüll entsorgt.

Theoretischer Hintergrund der Entsorgung:

Das bei der Reaktion gebildete Zinkoxid ist sehr giftig für Wasserorganismen und schädigt diese langfristig. Für Fische können bereits 1,1 mg/l Zinkoxid toxisch wirken, weshalb es

wichtig ist, dieses nicht in die Umwelt abzugeben. Da Zinkoxid mit 1,1 mg/l bei 20°C in Wasser schlecht löslich ist, kann es aus der Abfalllösung durch Filtration abgetrennt werden. Dasselbe gilt für elementares Zink, welches nicht vollständig abreagiert hat. Auch dieses bleibt im Filter zurück und kann nach dem Trocknen im Entsorgungsbehälter für Schwermetalle gelagert werden.

Da Ammoniumchlorid bei der Reaktion nur als Katalysator wirkt, wird dieses nicht umgesetzt. Das Ammoniumchlorid löst sich in Wasser, die Lösung verdampft und wird vom Abzug abgesaugt. Da dieses mit 372g/l bei 20°C sehr gut wasserlöslich ist, ist nicht verdampftes Ammoniumchlorid nach dem Filtrieren vollständig im Filtrat enthalten, welches über den Abfluss entsorgt werden kann. Nicht abreagiertes Ammoniumnitrat ist mit 208g/100g H₂O bei 25°C ebenfalls gut wasserlöslich und bleibt somit auch im Filtrat gelöst.

Als mögliche Nebenprodukte der Reaktion können Zinkchlorid oder Zinknitrat entstehen. Beide Metallsalze sind schädlich für die Umwelt und sehr gut wasserlöslich. Für Wasserorganismen sind Konzentrationen zwischen 0,027mg/l und 2,60 g/l Zinkchlorid toxisch. Zinknitrat wirkt ab 3,2g/l toxisch auf Wasserorganismen. [18] Würde das gesamte Zink zu Zinknitrat reagieren, ergäbe das 0,05mol beziehungsweise 9,47g Zinknitrat. Da dem Reaktionsgemisch nur 0,009 mol Ammoniumchlorid beigemischt werden, wären im Produktgemisch 1,23g Zinkchlorid enthalten, wenn das gesamte Chlorid mit Zink reagieren würde. Das meiste Zink reagiert jedoch zu Zinkoxid, wodurch die Anteile von Zinkchlorid und Zinknitrat mit großer Wahrscheinlichkeit unter den Grenzwerten liegen. Die Mengen der Nebenprodukte der Reaktion wurden nicht quantitativ bestimmt. Es konnten keine Literaturwerte gefunden werden.

Der getrocknete Filter kann nach dem Entfernen der Schwermetallreste im Restmüll entsorgt werden. In diesem blieben bei mehreren Versuchsdurchführungen nie mehr als 0,017g des Gemisches aus abfiltriertem Zinkoxid und elementarem Zink zurück.

Der gebildete Stickstoff wird vom Abzug abgesaugt und muss daher bei der Entsorgung nicht mehr berücksichtigt werden.

Didaktischer Hintergrund

Wie bereits erwähnt, widerspricht die Vorstellung, dass eine Reaktion mit Feuererscheinung durch Zugabe von Wasser ausgelöst wird, dem chemischen Vorwissen vieler Schüler und

Schülerinnen, weshalb das Experiment „Wasser entzündet Feuer“ einen bleibenden Eindruck hinterlässt. Was bei dem Versuch von den Lernenden beobachtet werden kann, sind die Flammen und der Rauch. Es handelt sich also um ein gutes Beispiel zur Veranschaulichung von exothermen Reaktionen. Man kann deutlich sehen, dass das System Energie in Form von Wärme abgibt, was darauf schließen lässt, dass die Enthalpie abnimmt. [59] Da energetische Veränderungen bei chemischen Reaktionen sowohl in der 7. Schulstufe als auch in der 11. Schulstufe (5. Semester) im Lehrplan vermerkt sind, eignet sich das Experiment zum Einsatz in der gesamten Sekundarstufe. [33] [62] Zwei weitere Begriffe, die in diesem Zusammenhang in der Sekundarstufe II eingeführt werden können, sind exergonisch und endergonisch, welche ebenfalls zur Beschreibung des Reaktionsverhaltens herangezogen werden können. Die hier gezeigte Reaktion läuft vollkommen freiwillig beziehungsweise spontan ab. Das Gleichgewicht liegt dabei weit auf der Seite der Produkte. Das lässt darauf schließen, dass die freie Reaktionsenthalpie unter null liegt und die Reaktion als exergonisch beschrieben werden kann. [59]

Ein weiterer Themenbereich, in dem der Versuch gut eingesetzt werden kann, sind die Redox-Reaktionen. Da es sich jedoch um eine sehr komplexe Komproportionierung handelt, eignet sich der Versuch in dem Fall besser für die Sekundarstufe II. Es handelt sich dabei auch nicht mehr um eine Reaktion bei der die Oxidation als Aufnahme von Sauerstoff definiert werden kann, wie es in der Sekundarstufe I meist der Fall ist. Es ist für den oben dargestellten Sachverhalt notwendig, die Oxidation als Elektronenabgabe und die Reduktion als Elektronenaufnahme zu definieren. [55] Für die Sekundarstufe II ist diese Definition durchaus adäquat.

Wie bereits unter dem Punkt „Sicherheitsaspekte“ erwähnt ist es nicht empfehlenswert, das Experiment von den Lernenden selbstständig durchführen zu lassen. Um den Unterricht etwas aufzulockern ist es jedoch möglich, Assistenten zur Durchführung heranzuziehen.

Aufgrund der spektakulären Flammen und der außergewöhnlichen Zündungsmethode wird dieser Versuch von Chemie-Lehrenden auch gerne als Showversuch bei Schulveranstaltungen eingesetzt, weswegen er auch im *Akademiebericht der Universität Dillingen* im Kapitel *Schauversuche* zu finden ist. [57] Da bei Veranstaltungen, wie zum Beispiel dem Tag der offenen Tür, zahlreiche Zuschauergruppen durch die Schule geführt werden, müssen die gewählten Versuche mehrfach durchgeführt werden. Bei dem Versuch

„Wasser entzündet Feuer“ hat das große Mengen an Abfallstoffen zur Folge, die getrennt und entsorgt werden müssen. Neben dem großen Arbeitsaufwand muss dabei auch der finanzielle Aufwand beachtet werden. Ich persönlich rate daher davon ab, den Versuch bei Veranstaltungen durchzuführen, bei denen er mehrfach zum Einsatz kommen muss.

4.3 „Herstellung von Schwefeleisen“

Bei diesem Experiment wird eine einfache chemische Reaktion gezeigt, welche sehr gut für den chemischen Anfangsunterricht geeignet ist. Im Schulbuch *Stoffe* ist die Durchführung schüler- und schülerinnenfreundlich beschrieben, sodass auch Lernende den Versuch problemlos durchführen können. Da bei dem Experiment jedoch zwangsläufig ein Reagenzglas zerbrochen werden muss, ist der Übermut der Lernenden nicht zu unterschätzen, der aufkommen kann, wenn diese selbst experimentieren dürfen. Der Versuch wurde einerseits als Beispiel dafür in die Arbeit aufgenommen, wie wichtig sauberes Arbeiten ist, andererseits, weil die Entsorgung hierbei nicht außer Acht gelassen werden darf, da es sich bei dem zerbrochenen Glas nicht um gewöhnliches Haushaltsglas handelt. Auch der materielle Aufwand ist bei diesem Experiment recht groß. Wenn der Versuch von der Lehrperson durchgeführt wird, können zahlreiche Reagenzgläser gespart werden. Ebenfalls kann die Menge der benötigten Chemikalien stark dezimiert werden, wenn das Experiment als Demonstrationsversuch von der Lehrperson eingesetzt wird. Aus diesen Gründen ist der Versuch in meiner Arbeit als Lehrerversuch beschrieben. Für den Einsatz als Versuch für Lernende wurde die Durchführung abgewandelt, um diesen sicherer zu gestalten (Anhang 9).



Benötigte Materialien	Benötigte Chemikalien
2 Bechergläser (ca. 50 ml)	1,4 g Eisenpulver
2 Spatel	0,8 g Schwefelpulver
1 Reibschale	
1 hitzebeständiges Reagenzglas	
2 herkömmliche Reagenzgläser	
1 Reagenzglasständer	
1 Pulvertrichter	

1 Spritzflasche
1 Tiegelzange
1 Bunsenbrenner
1 Feuerzeug
1 Holzbrett
1 Hammer

Tabelle 11 - Auflistung der Chemikalien und Materialien, welche für den Versuch „Herstellung von Schwefeleisen“ benötigt werden.



Abbildung 36 - Materialien für "Herstellung von Schwefeleisen"
Foto: Böhm

Durchführung: [45]

- Schwefel und Eisen werden in Bechergläser eingewogen.
- Die beiden Chemikalien werden vermischt und auf 2 Reagenzgläser aufgeteilt.
 - ➔ RG1: 2 Spatel des Gemisches werden 3 cm hoch mit Wasser versetzt.
 - ➔ RG2 (hitzebeständig): Der Rest des Gemisches.
- Das RG2 wird über der Brennerflamme erhitzt, bis das Gemisch zu glühen beginnt. Anschließend wird der Brenner ausgeschalten.
 (zum Halten des Glases kann eine Tiegelzange oder Holzklemme verwendet werden)
- Das Glas wird vorsichtig mit dem Hammer zerschlagen.
- Ein Teil des Produkts wird in der Reibschale zerrieben.
- Dieser Teil wird in ein weiteres Reagenzglas (RG3) gefüllt und ebenfalls mit Wasser versetzt.
- Die beiden Proben (RG1 + RG3) werden verglichen.

Beobachtungen:

	Glühen beim Erhitzen. Bildung eines festen, schwarzen Produkts. Die Edukte trennen sich im Wasser.
	Das Produkt sinkt im Wasser ab.

Erkenntnisse:

Die Beobachtungen lassen darauf schließen, dass es sich bei dem Inhalt des Reagenzglases nach dem Experiment nicht mehr um die gleichen Stoffe handelt, welche zu Beginn eingefüllt wurden. Es muss eine chemische Reaktion stattgefunden haben. Aus Schwefel und Eisen wurde Eisensulfid. Dieser Vorgang ist vereinfacht in Gleichung 5 dargestellt. Liegt der Schwefel nicht atomar, sondern in Form von S_8 vor, so wird die Reaktion von Gleichung 6 beschrieben.



Thermodynamisch kann diese Reaktion als exergonisch beschrieben werden. Da ihre freie Reaktionsenthalpie mit $-97,9 \text{ kJ/mol}$ unter null liegt, läuft die Reaktion in Richtung der Produkte freiwillig ab. [59] [55] [63] Auf diese Tatsache kann auch daraus geschlossen werden, dass hier Metallbindungen des Eisens und Elektronenpaarbindungen des Schwefels aufgebrochen werden und Ionenbindungen gebildet werden. Die Ionenbindung ist energetisch günstiger, da beide Bindungspartner den Edelgaszustand erlangen. [59] Es muss vor Ablaufen der Reaktion jedoch die Aktivierungsenergie aufgebracht werden, wozu bei dem Versuch die Brennerflamme verwendet wird. [55]

Sicherheitsaspekte [18]

Chemikalie	Symbol	H- Sätze	P- Sätze
Eisen (Fe)	 „Achtung“	228, 251	210, 260, 370+378
Schwefel (S ₈)	 „Achtung“	315	

Tabelle 12 - Übersicht über die Sicherheitshinweise der Chemikalien für den Versuch „Herstellung von Schwefeleisen“.



Wie bereits in der Einführung in diesen Versuch erwähnt, ist dieser meiner Meinung nach besser als Demonstrationsversuch geeignet, da er einerseits eine große Menge an Abfallstoffen und andererseits große Kosten mit sich bringt. Sollte er dennoch von den Lernenden selbst durchgeführt werden, ist es sicherer das Reagenzglas zum Erhitzen des Reaktionsgemisches in einem Stativ über dem Bunsenbrenner einzuspannen, wie es in Anhang 8 beschrieben ist. Diese Methode ist einfacher und sicherer für die Lernenden, da das Reagenzglas dabei nicht so leicht hinunterfallen oder gar mit der Zange zerdrückt werden kann.

Da Schwefel Hautreizungen verursachen kann, sollten die Schüler und Schülerinnen darauf hingewiesen werden, möglichst sauber zu arbeiten und nicht mit den Fingern in das Pulver zu greifen. [18] Da Eisen leicht entzündbar ist, muss auch mit diesem sauber gearbeitet werden. Sollten Pulverreste an der Außenseite des Reagenzglases kleben, entzünden sich diese beim Erhitzen über dem Laborbrenner. Für das Anfüllen der Reagenzgläser kann anstelle eines Pulvertrichters ein selbst gebastelter Papiertrichter herangezogen werden.

Bei diesem Versuch wird vorsätzlich Glasbruch herbeigeführt. Dieser darf ausschließlich von der Lehrperson durchgeführt werden, um Verletzungen zu vermeiden. Schüler und Schülerinnen könnten bei der Zerstörung des Reagenzglases zu viel Kraft aufwenden, was zum Abspringen von Splittern und somit Verletzungen an Haut und Augen führen kann.

Beim Erhitzen des Gemisches muss darauf geachtet werden, dass alle Lernenden ihre Haare zusammengebunden tragen.

Auch wenn dieses anschließend zerbrochen wird, muss das Reagenzglas, in dem die Reaktion stattfindet, hitzebeständig sein, da es ansonsten schon während des Erhitzens zerspringen oder schmelzen könnte.

Um den Glasbruch zu vermeiden, kann der Versuch auch auf einer feuerfesten Unterlage durchgeführt werden. Dabei muss das Gemisch jedoch direkt entzündet werden, was die Wahrscheinlichkeit einer unvollständigen Reaktion, erhöht. Es kann sogar passieren, dass nur der Schwefel verbrennt, wobei Schwefeldioxid entsteht. [64] Dieses ist beim Einatmen giftig und führt zu Verätzungen der Atemwege, da sich mit Wasser schwefelige Säure bildet. [18] Ein solcher Versuchsansatz muss unbedingt im geschlossenen Abzug durchgeführt werden.

Entsorgungshinweise

Das Eisen(II)sulfid könnte durchaus im Restmüll entsorgt werden, da dieses laut der GESTIS-Stoffdatenbank weder Gefahrensymbole trägt, noch mit H- und P- Sätzen versehen ist. [18] Es ist dennoch besser im Chemiesaal einen Behälter zur Lagerung fester, chemischer Abfälle bereitzustellen. (siehe 2.3.4)

Da Laborglas (meist Borsilikatglas) chemisch anders zusammengesetzt ist, als gewöhnliches Haushaltsglas (Natronglas), dürfen diese nicht auf demselben Weg entsorgt werden. Für besondere Hitze- und Chemikalienbeständigkeit bieten unterschiedliche Firmen spezielle Borsilikatgläser, mit Zusatz von Aluminiumtrioxid, an. Die Zusammensetzung der genannten drei Glasarten ist in Tabelle 13 angeführt. [65]

Glasart	Zusammensetzung
Natronglas	73% SiO ₂ / 15% Na ₂ O / 12% CaO
Borsilikatglas	89% SiO ₂ / 7% B ₂ O ₃ / 4% Erdalkalimetalle
Duranglas®/Solidex®/ Pyrex®	81% SiO ₂ / 13% B ₂ O ₃ / 4 % Alkalimetalle / 2% Al ₂ O ₃

Tabelle 13 - Zusammensetzung von Haushaltsglas, Laborglas und gängigem hitzebeständigem Laborglas. [65]

Das Natronglas wird besonders häufig für Glasverpackungen verwendet. Diese müssen in der Altglassammlung entsorgt werden, wobei darauf zu achten ist, Weißglas und Buntglas zu trennen. Im Gegensatz zum Natronglas muss das Borsilikatglas im Restmüll entsorgt, oder zum Recyclinghof gebracht werden. [66]

Um Schnittverletzungen zu vermeiden empfiehlt es sich, zerbrochenes Laborglas in einem gesonderten Behälter zu sammeln. (siehe 2.3.5) Wenn ein weiterer Abfallbehälter zu viel Platz benötigen würde, sollte das Reinigungspersonal angewiesen werden, die ganzen Müllsäcke zu entfernen um Verletzungsgefahr zu vermeiden. Häufig greift Reinigungspersonal in Abfallbehälter hinein um den Müll herauszuholen, da so Müllsäcke eingespart werden können. Befinden sich Glasbruchstücke darin, kann es zu Schnitten an den Händen kommen.

Didaktischer Hintergrund

Dieser Versuch ist unter anderem im bereits zuvor erwähnten Schulbuch *Stoffe* zu finden, welches für die Sekundarstufe I verfasst wurde. Dort ist er meiner Ansicht nach gut platziert, da er sich hervorragend dazu eignet, aus empirischen Erfahrungen zu lernen. Die bereits oben beschriebenen Beobachtungen geben den Lernenden Hinweise auf das, was bei dem Experiment passiert. Schüler und Schülerinnen können daher ohne viel Vorinformation mit diesem, relativ einfachen Versuch und der Aufgabe konfrontiert werden, eine Theorie zu dem Gesehenen aufzustellen. Eine Erkenntnis, zu der die Lernenden gelangen können, ist die Tatsache, dass es hier zu einer chemischen Reaktion gekommen ist. Der Versuch kann also sehr gut dafür herangezogen werden, den Begriff der Bindungsbildung einzuführen. Die Metallbindungen zwischen den Eisenatomen und die Elektronenpaarbindung des molekular vorliegenden Schwefels werden gelöst  kommt zur Bildung einer Ionenbindung zwischen Eisen- und Schwefelatomen. Weiters ist sehr deutlich zu erkennen, dass sich die Eigenschaften der Edukte von denen der Produkte unterscheiden. Diese Erkenntnis entspricht dem Punkt *Aufbauprinzipien der Materie* des Lehrplans für die Sekundarstufe I, welcher auch das Erkennen der chemischen Bindung als Ursache für die Vielfalt der Stoffe beinhaltet. [33]

Der Versuch zeigt auch deutlich, dass eine Reaktion freiwillig ablaufen kann, selbst wenn diese eine große Aktivierungsenergie besitzt. Um die Reaktion zu starten, müssen die Edukte über der Brennerflamme erhitzt werden. Dennoch ist bei genauerer Analyse der Bindungen,

welche aufgebrochen und neugebildet werden, erkennbar, dass der energetische Zustand der Produkte günstiger ist als jener der Edukte. Es handelt sich also um eine exergonische Reaktion, auch wenn das Gemisch zum Starten der Reaktion erhitzt werden muss. [55] Mit dieser Betrachtungsweise kann das Experiment dem Punkt *Substanz und Energie* zugeordnet werden, welcher im Lehrplan für die Sekundarstufe II im 5. Semester (11. Schulstufe) vorgesehen ist. [62]

Thematisch kann die Herstellung von Schwefeleisendem auch Punkt *Grundmuster chemischer Reaktionen* im Lehrplan der Sekundarstufe I zugeordnet werden. Unter diesem Punkt ist auch der Zusammenhang von Oxidation und Reduktion angeführt. [33] Fügt man zu Gleichung 5 die Oxidationszahlen hinzu, erhält man Gleichung 5a. Diese lässt erkennen, dass es sich um eine Redoxreaktion handelt.



An dieser Redoxreaktion sind nur zwei Elemente beteiligt, wodurch die Gleichung für die Einführung in dieses Thema gut geeignet ist.

Der Versuch kann auch so verändert werden, dass es sich dabei um eine Übung zur Verinnerlichung des Molbegriffs handelt. Den Lernenden wird vorgegeben, welche Masse an Eisen(II)sulfid sie herstellen sollen. Ihre Aufgabe ist es, zu berechnen, wie viele Gramm der Edukte sie einwiegen müssen um die gewünschte Masse an Produkt zu erhalten. Eine Ausfertigung besagter Aufgabenstellung befindet sich in Anhang 10.

4.4 „Oxidationsstufen des Mangans“

Bei der Suche nach geeigneten Experimenten für diese Arbeit wurde ich mehrmals darauf angesprochen, dass die Lagerung von Kaliumpermanganat zur Entsorgung immer wieder Probleme bereitete, da dieses oft nicht vollständig abreagiert. Der Versuch „Oxidationsstufen des Mangans“ ist ein farbenfroher Versuch, anhand dessen im Folgenden eine Methode beschrieben wird, wie die Entsorgung von Kaliumpermanganat einfach und sorgenfrei durchgeführt werden kann.



Benötigte Materialien	Benötigte Chemikalien
1 Zellkulturplatte	Kaliumpermanganatlösung 0,01 mol/l
4 Zahnstocher	Natriumsulfitlösung 0,04 mol/l
5 Tropfpipetten	Schwefelsäure 0,02 mol/l
5 Bechergläser (10 ml)	Natronlauge 1 mol/l
	Deionisiertes Wasser

Tabelle 14 -Auflistung der Chemikalien und Materialien für den Versuch „Oxidationsstufen des Mangans“.

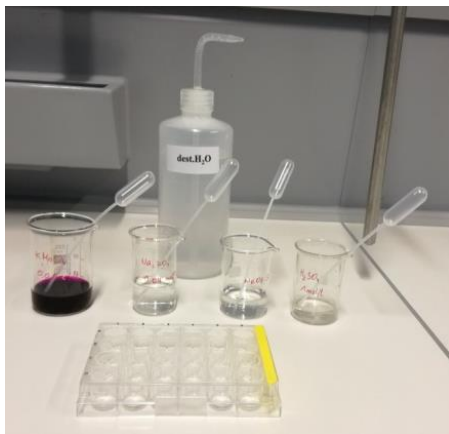


Abbildung 37 - Materialien für "Oxidationsstufen des Mangans"

Foto: Böhm

Durchführung: [57]

- Nummeriere vier Kammern der Zellkulturplatte mit den Zahlen 1 bis 4.
- Tropfe in alle vier Kammern jeweils 10 Tropfen der Kaliumpermanganatlösung.
- Füge in die 1. Kammer 10 Tropfen Schwefelsäure hinzu.
- Gib in die Kammern 2. und 4. jeweils 10 Tropfen deionisiertes Wasser.
- Tropfe in die Kammer 3. 10 Tropfen Natronlauge.
- Tropfe in den Kammern 1. bis 3. Natriumsulfit zu, bis du eine Veränderung beobachten kannst. Rühre währenddessen mit einem Holzstäbchen um.

Beobachtungen:

	Die Flüssigkeit färbt sich in jeder Kammer anders: <table> <tr> <td>1: farblos</td><td>3: bläulich grün</td></tr> <tr> <td>2: gelblich braun</td><td>4: pink</td></tr> </table>	1: farblos	3: bläulich grün	2: gelblich braun	4: pink
1: farblos	3: bläulich grün				
2: gelblich braun	4: pink				

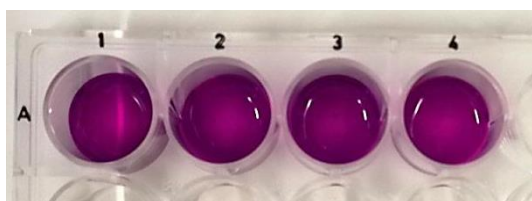


Abbildung 38–Kaliumpermanganatlösung.
Foto: Böhm

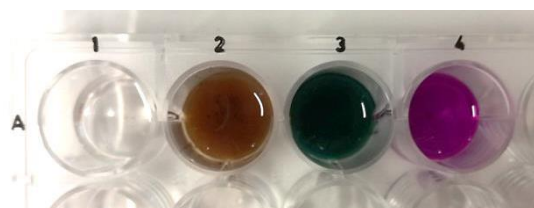


Abbildung 39 - Färbung nach der Zugabe der Reagenzien. Foto: Böhm

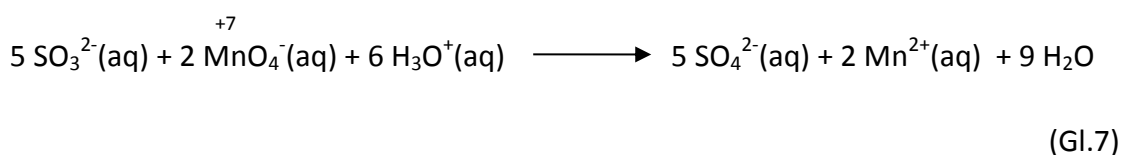
Erkenntnisse:

Die Farbänderung ist darauf zurückzuführen, dass bei den Ansätzen eins bis drei Redoxreaktionen stattfinden. Bei verschiedenen pH-Werten wird das Permanganat-ion zu unterschiedlichen Produkten reduziert, wobei jedes eine andere Farbe aufweist. Dabei sind folgende Zusammenhänge zu vermerken:

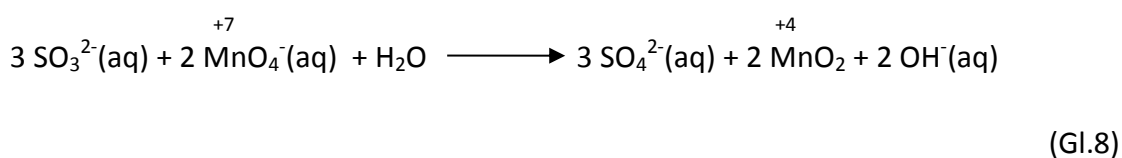
pH-Wert	Produkt	Oxidationsstufe von Mangan	Farbe der Lösung
Sauer	Mn^{2+}	+2	Farblos
Neutral	MnO_2 (Mangan(IV)oxid)	+4	Braun
Basisch	MnO_4^{2-} (Manganat)	+6	Grün

Tabelle 15 – Zusammenhang zwischen dem pH-Wert der Lösung mit der Oxidationsstufe des Mangans, sowie der Farbe der Lösung [57]

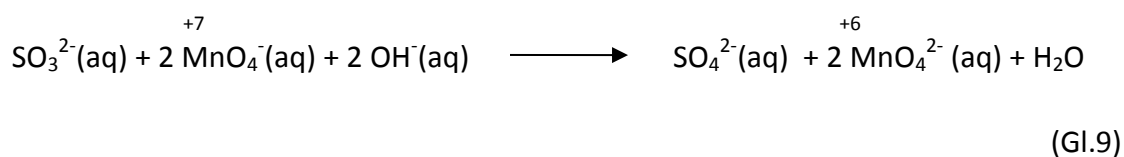
In der ersten Kammer wird Permanganat (MnO_4^-) in saurer Lösung zu Mangan(+2) reduziert. Dabei wird Sulfit zu Sulfat oxidiert. (Gl.7)



In der zweiten Kammer wird Permanganat (MnO_4^-) in neutraler Lösung zu Mangan(+4) reduziert, welches hier in Form von Braunstein vorliegt. Dabei wird ebenfalls Sulfit zu Sulfat oxidiert. (Gl.8)



In der dritten Kammer wird Permanganat (MnO_4^-) in basischer Lösung zu Manganat (MnO_4^{2-}) reduziert, wobei wiederum Sulfid zu Sulfat oxidiert wird. (Gl.9)



Mangan steht im Periodensystem in der siebenten Gruppe und zählt zu den Übergangsmetallen. Die Elektronenkonfiguration von Mangan lautet $[\text{Ar}]3d^54s^2$. Es besitzt also 7 Valenzelektronen, wobei zwei in s-Orbitalen und 5 in d-Orbitalen lokalisiert sind. Insgesamt kann es daher sieben verschiedene Oxidationsstufen einnehmen, wobei es am häufigsten in der Oxidationsstufe +2 auftritt. [67]

Sicherheitsaspekte [18] [57]

Chemikalie	Symbol	H- Sätze	P- Sätze
Kaliumpermanganat (KMnO_4)	 „Gefahr“	272, 302, 314, 410	221, 273, 280, 301+330+331, 305+351+338, 308+310
Schwefelsäure 0,02 mol/l (H_2SO_4)	 „Achtung“	290, 314	280, 301+330+331, 305+351+338, 308+310
Natriumhydroxid (NaOH)	 „Gefahr“	290, 314	280, 301+330+331, 305+351+338, 308+310

Tabelle 16 – Übersicht über die Sicherheitshinweise der Chemikalien für den Versuch „Oxidationsstufen des Mangan“.



Da Kaliumpermanganat zur Oxidation von Haut und Kleidung führt, muss unbedingt sauber gearbeitet werden. Es darf auf Labormantel und Schutzbrille nicht verzichtet werden. Auch

das Tragen von Handschuhen bei der Einwaage ist empfehlenswert. Bei Berührung mit den Händen bleiben auf diesen einige Tage lang braune Flecken zurück. Es ist daher sehr wichtig, sich nach der Arbeit gründlich die Hände zu waschen. Kommt die Kleidung mit Kaliumpermanganat in Kontakt, so entstehen braune Flecken, die sich nicht mehr entfernen lassen. [68]

Nachdem für diesen Versuch eine Kaliumpermanganat-Lösung benötigt wird, ist es sinnvoll diese bereits vor dem Unterricht zuzubereiten und fertig zur Verfügung zu stellen. Dies spart Zeit und Chemikalien und schont die Hände sowie die Kleidung der Lernenden. Dasselbe gilt auch für alle weiteren Lösungen, welche bei dem Versuch gebraucht werden.

Entsorgungshinweise

Da Mangan in verschiedenen Oxidationsstufen leicht reduzierbar und somit reaktiv ist, muss dieses in eine stabile Verbindung überführt werden, bevor es in dem Behälter für Schwermetalle zur Entsorgung gelagert wird. Eine sehr einfache Methode, welche hier Anwendung finden kann, ist die Reaktion mit Glucose zu Manganoxidhydroxid in basischer Lösung. [69] In dieser Verbindung liegt Mangan in der Oxidationsstufe +4 vor. In dieser Form ist Mangan sehr stabil.

Durchführung der Entsorgung:

- Die zu entsorgenden Lösungen aus den Kammern werden in einem Becherglas zusammengeführt.
- Es wird eine Spatelspitze Natriumcarbonat hinzugefügt.
- Es werden stetig kleine Portionen Glucose hinzugegeben, bis sich die Lösung braun färbt oder sich ein brauner Niederschlag bildet.
- Die braune Lösung wird in den Behälter für Schwermetalle geschüttet.

Theoretischer Hintergrund der Entsorgung:

Die Reaktion des Permanganat-ions zum Manganoxidhydroxid verläuft in zwei Schritten, welche in den Abbildungen 40 und 41 beschrieben werden.

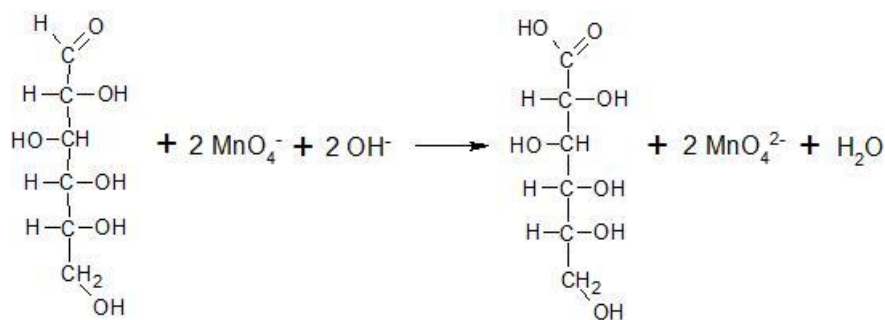


Abbildung 40–Bildung von Manganat-ionen durch Reduktion mittels Glucose.
Graphik: Böhm

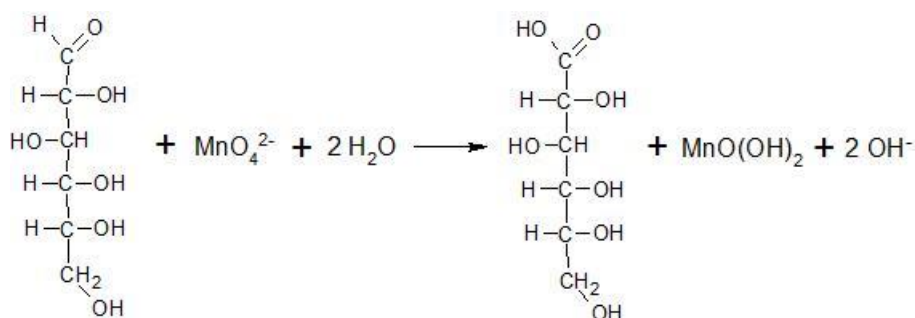


Abbildung 41 - Bildung von Manganoxidhydroxid durch Reduktion mittels Glucose.
Graphik: Böhm

Die basische Lösung, welche durch Zugabe von Natriumcarbonat geschaffen wird, ist hierbei für die Oxidation der Glucose notwendig. [70]

Didaktischer Hintergrund

Bereits dem Titel des Experiments ist zu entnehmen, dass es sich hierbei um eine Demonstration der Tatsache handelt, dass ein Element in unterschiedlichen Oxidationsstufen vorkommen kann. Anhand von Mangan kann dieser Sachverhalt sehr gut veranschaulicht werden, weil sich die verschiedenen Oxidationsstufen in unterschiedlichen Farben präsentieren. Eine derart deutlich beobachtbare Veränderung eignet sich hervorragend dazu, die Lernenden selbst eine Erklärung für das Gesehene finden zu lassen. Es kann auch pH-Papier zur Verfügung gestellt werden um einen Hinweis auf die unterschiedlichen pH-Werte der Lösungen zu geben, falls den Lernenden der Zusammenhang nicht anhand der verwendeten Chemikalien auffällt. Dieser Arbeitsansatz ist jedoch nur für die Sekundarstufe II zwei geeignet, da hierbei sehr komplexe Zusammenhänge verknüpft werden müssen. Im Lehrplan der Sekundarstufe I ist nur die *Kopplung von Oxidation und Reduktion anhand einfacher Beispiele* vermerkt. [33] Das

Vorkommen eines Elements in verschiedenen Oxidationsstufen, vor allem im Zusammenhang mit dem pH-Wert, geht weit über diesen Punkt hinaus.

Da die Lösungen problemlos vor dem Unterricht bereitgestellt werden können, kann der Versuch, auch von der ganzen Klasse, mit geringem Zeitaufwand durchgeführt und besprochen werden. Er eignet sich daher gut für den Einbau in eine sonst theoretische Unterrichtsstunde. Aufgrund der prächtigen Farben ist es auch möglich das Experiment als Demonstrationsversuch am Overheadprojektor zu zeigen.

Neben der Anwendung zur Veranschaulichung der Oxidationsstufen kann der Versuch auch zur Demonstration der pH-Abhängigkeit des Redoxpotentials in der Elektrochemie eingesetzt werden. [57]

Die Arbeitsschritte, welche oben zur Entsorgung angeführt wurden, können auch als Versuch zum Thema „Reduzierende Zucker“ herangezogen werden. Ein entsprechendes Experiment beschreiben Heinz Schmidkunz und Werner Rentzsch in ihrem Buch *Chemische Freihandversuche*. [69] Ein Protokollblatt für das Experiment namens „Zucker ist nicht gleich Zucker“ befindet sich im Anhang 11.

4.5 „Blue Bottle“

Viele Kollegen und Kolleginnen stehen der Verwendung von Methylenblau im Unterricht sehr skeptisch gegenüber, da dieses fälschlicherweise häufig als Gift angesehen wird. Laut Chemikalieneinstufung handelt es sich bei Methylenblau jedoch nicht um ein Gift. [18] Was ebenfalls oft nicht bedacht wird, ist folgende Aussage eines weisen Mannes des 15. Jahrhunderts:

„Alle Dinge sind Gift und nichts ohne Gift. Allein die Dosis macht, dass ein Ding kein Gift ist.“ (Paracelsus)

Im Fall dieses Experiments steht die Dosis auch mit der Form in Zusammenhang, in der der Farbstoff verwendet wird. Es handelt sich um eine Methylenblau-Lösung, in welcher der Farbstoff nur sehr gering konzentriert ist. Im Folgenden wird die „Blue Bottle“ vorgestellt und im Zuge dessen die tatsächliche Ungefährlichkeit des Einsatzes dieses Experiments im Unterricht erläutert.



Benötigte Materialien	Benötigte Chemikalien
1 Falcon Tube (Röhrchen; 50 ml)	25 ml destilliertes Wasser
1 Spatel	1 Natriumhydroxid-plätzchen
1 Analysewaage (bis 0,01g)	1g Glucose
	1 Tropfen Methylenblau-lösung 0,2%

Tabelle 17 - Auflistung der Materialien für den Versuch „Blue Bottle“



Abbildung 42 - Material für "Blue Bottle"
Foto: Böhm

Durchführung: [57]

- Fülle 25 ml Wasser in den Falcon Tube (die Skala auf der Röhre ist genau genug).
- Gib 1 Plätzchen Natriumhydroxid in das Röhrchen und schüttle, bis dieses vollständig gelöst ist.
- Füge 1g Glucose hinzu und schüttle erneut.
- Tropfe einen Tropfen Methylenblau Farbstoff-Lösung in das Röhrchen, schüttle kurz und warte dann ab, was passiert. (Schreib dir auch die Zeit auf.)
- Schüttle das Röhrchen nach einigen Minuten erneut.

Beobachtungen:

	t = 0 min	Blaue Lösung
	t = 3 min	Die Lösung wird mit der Zeit farblos.
		Schütteln → Die Lösung färbt sich wieder blau.



Abbildung 43 - Blue Bottle zum
Zeitpunkt t = 0min.
Foto: Böhm



Abbildung 44 - Blue Bottle zum
Zeitpunkt t = 3min.
Foto: Böhm

Erkenntnisse:

Methylenblau wird durch alkalische Glucose zu farblosem Leukomethylenblau reduziert (Abbildung 44), wobei die Glucose zu Gluconsäure oxidiert wird. Wird die Flasche geschüttelt, so mischt man die Flüssigkeit erneut mit Sauerstoff, welcher das Leukomethylenblau reoxidiert und die Lösung wieder blaue Farbe annimmt (Abbildung 43). [57] [58] Dieser Farbwechsel kann so lange wiederholt werden, bis entweder der Sauerstoff in der Flasche oder die Glucose in der Lösung verbraucht sind. Der Sauerstoffgehalt kann durch einfaches Belüften der Flasche vor dem Schütteln erhöht werden. Die Oxidation der Glucose kann nicht rückgängig gemacht werden.

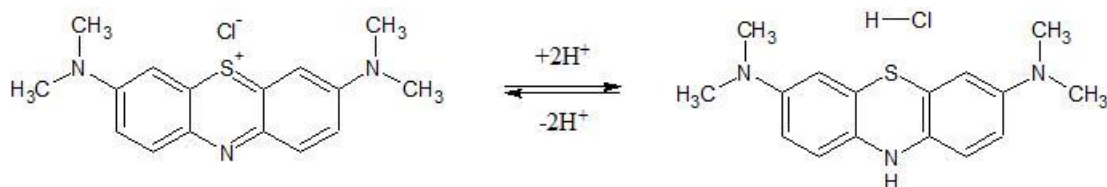
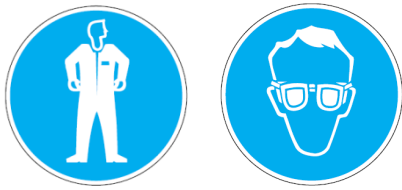


Abbildung 45 - Reduktion von Methylenblau zu Leukomethylenblau.

Sicherheitsaspekte [18]

Chemikalie	Symbol	H- Sätze	P- Sätze
Methylenblau (C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S)	 „Achtung“	302	301+312+330
Natriumhydroxid (NaOH)	 „Gefahr“	290, 314	280, 301+330+331, 305+351+338, 308+310

Tabelle 18 -Übersicht über die Sicherheitshinweise der Chemikalien für den Versuch „Blue Bottle“.



Pulverförmiges Methylenblau gilt als gesundheitsschädlich wenn dieses verschluckt wird. Die akute Toxizität liegt dabei in der Kategorie 4 oral, was bedeutet, dass der LD50 – mittlere tödliche Dosis – zwischen 300 und 2000 mg pro kg Körpergewicht liegt. [18] [71] Bei diesem Versuch wird mit einer 0,2% Methylenblau-Lösung gearbeitet, von der pro Versuchsansatz nur ein Tropfen benötigt wird. Wenn beispielsweise für die ganze Klasse 100 ml dieser Lösung zur Verfügung stehen, wären insgesamt 200 mg Methylenblau im Umlauf. Jede Einzelperson, die nur einen Tropfen der Lösung aus der Flasche benötigt, käme mit nur 0,1 mg des Farbstoffes in Berührung, wenn ein Tropfen auf 0,05 ml geschätzt wird. Diese Menge wird als vollkommen ungefährlich eingestuft, zumal die 0,1 mg mit weiteren 25 ml Wasser verdünnt werden. Dadurch ergibt sich eine Konzentration von $4 \cdot 10^{-4}\%$, was 0,0004g pro 100 ml Wasser entspricht. Nachdem Methylenblau nur letal wirkt, wenn es in einer Menge verschluckt wird, die größer als 300 mg pro kg Körpergewicht ist, ist der Einsatz des Farbstoffes in diesem Versuch für die Lernenden gänzlich ungefährlich. Eine Person mit 40 kg Körpergewicht müsste 12g Methylenblau – 120.000 Versuchsansätze – zu sich nehmen um diese Dosis zu erreichen. Zusätzlich ist zu bedenken, dass Essen, Trinken und besonders das Kosten von Chemikalien im Chemieunterricht grundsätzlich verboten sind. (siehe 3.2.1.1)

Da der Farbstoff stark färbt und die Haut sowie Augen und Atemwege reizt, sollte die Lösung jedoch bereits fertig für die Lernenden zur Verfügung gestellt werden, sodass diese bei der Einwaage nicht mit dem Pulver in Berührung kommen. Dies verhindert auch übermäßigen Chemikalienverbrauch und spart Unterrichtszeit.

Da mit starker Lauge gearbeitet wird, besteht auch die Gefahr von Verätzungen. Aus diesem Grund wurden für den Versuch die gut verschließbaren Falcon Tubes anstelle von Reagenzgläsern oder Reaktionsgefäßen mit Stopfen gewählt. Diese verhindern das Austreten von Spritzern, wenn das Gefäß für die Reoxidation geschüttelt wird.

Entsorgungshinweise

Für Fische ist bereits eine Konzentration von 1mg/l bis 16,8 mg/l letal, weshalb Methylenblau als deutlich wassergefährdend eingestuft wird. Die Konzentration in den

Versuchsansätzen liegt mit 0,0002mg/100 ml ($2 \cdot 10^{-4}\%$) zwar weit unter dieser Grenze, die Lösung sollte dennoch nicht über den Abfluss entsorgt werden. Diese muss im Behälter für nicht-halogenierte organische Verbindungen gesammelt werden (siehe 2.3.2). Der Farbstoff enthält zwar ein Chloratom, dieses liegt hier jedoch als Chlorid vor und ist nicht kovalent gebunden, weshalb es sich nicht um eine halogenierte Verbindung handelt. Um ein zu großes Flüssigkeitsvolumen im Abfallbehälter zu vermeiden, kann der Farbstoff auch mittels Aktivkohle aus der Flüssigkeit entfernt werden. Dabei kann wie folgt vorgegangen werden:

Durchführung der Entsorgung:

- Die Probelösung wird in einen Erlenmeyerkolben überführt.
- Es werden einige Spatel Aktivkohle hinzugefügt.
- Der Kolben wird mit einem Stopfen verschlossen und kräftig geschüttelt.
- Ist die Lösung noch nicht ganz entfärbt, muss noch Aktivkohle hinzugefügt werden.
- Durch erneute Sauerstoffzufuhr wird überprüft, ob nun der gesamte Farbstoff adsorbiert wurde. Färbt sich die Lösung erneut blau, muss der Vorgang so lange wiederholt werden, bis die Lösung farblos bleibt.
- Die Aktivkohle wird durch Filtration oder Dekantieren aus der Lösung entfernt.
- Die basische Lösung wird neutralisiert und in den Abfluss geleert. Die Aktivkohle wird im Behälter für feste Laborabfälle gesammelt. (siehe 2.3.4)

Didaktischer Hintergrund

In diesem Experiment kann die Reduktion und Oxidation eines organischen Farbstoffmoleküls anhand einer Farbänderung beobachtet werden. Es eignet sich daher sowohl zum Einsatz in der Redoxchemie, als auch zur Veranschaulichung von reversiblen Reaktionen und zum Kennenlernen von Farbstoffen und Färbemitteln. Da mit einer stark alkalischen Lösung gearbeitet wird, ist der Versuch nur in der Sekundarstufe II als Schülerversuch geeignet. In der Sekundarstufe I sollte er als Anschauungsversuch nur von der Lehrperson durchgeführt werden.

Mittels „Blue Bottle“ kann auch die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von unterschiedlichen Faktoren, was dem Punkt Gleichgewichtsdynamik für das 6. Semester (11. Schulstufe) des Lehrplans für die Sekundarstufe II zugeordnet werden kann. [62] Wenn man die Lösung beispielsweise um 10°C erhöht, so entfärbt sich diese doppelt so schnell. Auch

kontinuierliches Schwenken oder leichtes Schütteln beeinflusst die Entfärbung. Da ständig Sauerstoff in die Lösung gemischt wird, wird die Rückreaktion gefördert, wodurch die vollständige Entfärbung länger dauert. [72] Es kann im ursprünglichen Versuchsansatz für die „Blue Bottle“ zunächst warmes Wasser verwendet werden um die Wartezeit bis zur Entfärbung zu verkürzen. Das Wasser sollte jedoch nicht heiß sein, damit die Lernenden genug Zeit haben um das Phänomen zu beobachten und über dieses nachzudenken. Eine zu rasche Entfärbung nimmt dem Versuch seine Wirkung.

Auch für Vorführungen im Bereich der Chemie eignet sich der Versuch gut, da das zu beobachtende Phänomen Zuseher durchaus zum Staunen bringt. Er ist daher auch im Akademiebericht der Universität Dillingen im Kapitel *Schauversuche* zu finden. [57]

Ein Versuch, welcher der „Blue Bottle“ stark ähnelt, ist die „Red Bottle“. Bei diesem Experiment sind ebenfalls Farbwechsel zu beobachten, die von Redoxreaktionen herbeigeführt werden. Benzoin wird von Natriumhydroxid zum Benzoindianion reduziert. Dabei schlägt die gelbe Lösung ins Rotviolette um. Die Elektronen des Benzoindianions werden anschließend auf ein Benzilmolekül übertragen, so bildet sich ein Benzoin-Radikalanion, wodurch sich die Lösung rot färbt. Wird das Gefäß geschüttelt, werden die Radikalanionen zu Benzil und Natriumbenzoat oxidiert und die Lösung nimmt wieder gelbe Farbe an. Der Versuch ist bis zum vollständigen Verbrauch von Benzoin wiederholbar. [73] Für den Einsatz in der Schule empfehle ich die „Blue Bottle“, da die benötigten Chemikalien im Chemieunterricht gebräuchlicher sind und nicht extra angeschafft werden müssen. Weiters ist bei der „Blue Bottle“ die Summe der Gefahrenpotenziale der benötigten Chemikalien geringer. [18]

4.6 „Herstellung eines Fruchtesters“

Viele Aromastoffe, welche Lernenden von Lebensmitteln bekannt sind, können in der organischen Chemie synthetisch nachempfunden werden. Bei dem im Folgenden beschriebenen Versuch wird ein Ester hergestellt, dessen Geruch an ein Bonbon mit Birnenaroma erinnert. Um den Lernenden diesen Versuch auch gefahrlos näherbringen zu können, wurde dieser durch den Ersatz von Schwefelsäure durch Natriumsulfat entschärft. [69] In der Literatur werden verschiedene Methoden beschrieben, um die Lernenden



gefahrenfrei an dem Ester riechen zu lassen. Die dabei aufgetretenen Fragen zur Sicherheit und Entsorgung werden im Folgenden diskutiert und haben mich zu dem Schluss gebracht, dass es in jedem Fall besser ist, möglichst wenige und kleine Versuchsansätze zu machen. Am sinnvollsten ist es meiner Ansicht nach, wenn das Experiment zur Demonstration von der Lehrperson durchgeführt wird, um den Entsorgungsaufwand zu minimieren.

Benötigte Materialien	Benötigte Chemikalien
1 Reagenzglas	1 ml konzentrierte Ethansäure
2 Bechergläser (250 + 500 ml)	1ml Pentanol
1 Heizplatte	Ein kleiner Löffel Natriumsulfat (wasserfrei)
1 Thermometer	
Für die ganze Klasse	
3 Bechergläser (50 ml)	
2 Pipetten	
1 Löffelspatel	

Tabelle 19 - Auflistung der Materialien, welche für den Versuch „Herstellung eines Fruchtesters“ benötigt werden.



Abbildung 46 - Materialien für den Versuch "Herstellung eines Fruchtesters"
Foto: Böhm

TIPP: Bei diesem Versuch empfiehlt es sich die Chemikalien, wie unter Punkt 3.3.1.1 beschrieben, unter dem Abzug in Bechergläsern oder sogar pro Gruppe in Eppendorfgefäßen vorzulegen. Dies verhindert, dass größere Mengen umgeschüttet werden, oder die Chemikalien in den Vorratsgefäßen verunreinigt werden.

Durchführung:

- Fülle ein großes Becherglas (250 ml) etwa 3 cm hoch mit Wasser.
- Stelle das Glas mit Wasser auf die Heizplatte und erhitze es auf etwa 100°C.
- Geh zum Lehrertisch und gib die benötigten Mengen an Säure, Alkohol und Natriumsulfat in ein Reagenzglas.
- Stelle das Reagenzglas für circa 10 Minuten in das Wasserbad.
- Fülle das zweite Becherglas (500 ml) zu 2/3 mit Wasser.
- Schütte den Inhalt des Reagenzglases in das Wasser.
- Fächere dir mit der Hand den Geruch zu, der aus dem Becherglas aufsteigt.

Beobachtungen:

	Phasentrennung
	Nach dem Erhitzen: fruchtiger Geruch nach Birne

Erkenntnisse:

Wenn dem Reaktionsgemisch Energie zugeführt wird, entsteht aus der Carbonsäure und dem Alkohol ein Ester. Bei diesem Ester handelt es sich um Ethansäurepentylester (Pentylacetat). Welche Rolle spielt aber das Natriumsulfat bei dieser Reaktion? Bei der Esterbildung und der Hydrolyse von Estern spricht man von Gleichgewichtsreaktionen. [59] Im Gleichgewicht sind die Hin- und Rückreaktion des Reaktionssystems gleich schnell, sodass sich die Konzentrationen der Edukte und Produkte nicht mehr verändern. [55] Um einen starken Geruch erzeugen zu können, muss das Gleichgewicht in Richtung der Veresterung verschoben werden. Dafür wird das Natriumsulfat hinzugegeben, welches aufgrund seiner hygroskopischen Eigenschaften das gebildete Wasser aus dem Gemisch entzieht. [69] Das fehlende Wasser stört das Gleichgewicht, wodurch es immer weiter zur Bildung der Produkte kommt. Da Natriumsulfat das Wasser nur entzieht aber nicht mit diesem reagiert, handelt es sich dabei um einen Katalysator. Dieser beschleunigt die Reaktion, wobei er selbst nicht in einen anderen Stoff umgewandelt wird. [59]

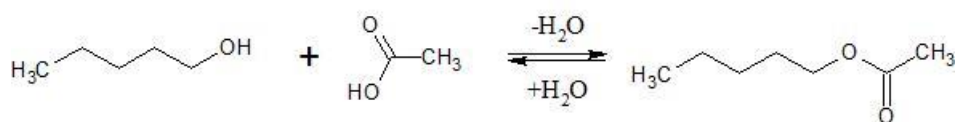


Abbildung 47 - Reaktionsschema der Veresterung von Pentanol mit Essigsäure.

Sicherheitsaspekte [18]

Chemikalie	Symbol	H- Sätze	P- Sätze
Essigsäure konz. CH ₃ COOH	 „Gefahr“	226, 290, 314	210, 280, 301+330+331, 305+351+338, 308+310
Pentanol C ₅ H ₁₁ OH	 „Achtung“	226, 315, 319, 332, 335	210, 302+352, 305+351+338

Tabelle 20 - Übersicht über die Sicherheitshinweise für den Versuch „Herstellung eines Fruchttesters“.



Da Pentanol Haut, Augen und Schleimhäute reizen kann, ist es empfehlenswert, dass die Lehrperson dieses ausgibt. Auch bei der ätzenden Ethansäure ist dies von Vorteil. Da sich das Reaktionsgemisch im weiteren Verlauf des Experiments nur im Reagenzglas befindet, ist es nicht notwendig, dass alle Lernenden Handschuhe tragen.

Wie auch bei vielen anderen Versuchen existieren zu diesem Experiment unterschiedliche Anleitungen. Im Schulbuch *Moleküle* wird konzentrierte Schwefelsäure als Katalysator eingesetzt. [74] Da diese jedoch Verätzungen von Haut und Augen verursachen kann, fiel die Wahl des Katalysators auf das, in dem Buch *Chemische Freihandversuche* verwendete, Natriumsulfat. Dieses ist ebenfalls stark hygroskopisch, wodurch dessen Zugabe bei diesem Versuch die gleiche Wirkung zeigt, wie die von Schwefelsäure. [69]

Weiters wird in mehreren Quellen zu diesem Versuch, wie zum Beispiel dem Buch *Chemische Freihandversuche*, das Erhitzen des Reaktionsgemisches über der Flamme eines Laborbrenners beschrieben. [69] Dies kann zum Siedeverzug führen, weswegen in der

obenstehenden Versuchsdurchführung das Erhitzen des Reagenzglases im Wasserbad gewählt wurde. Der Vorgang dauert dabei zwar länger, birgt jedoch weniger Verletzungsgefahr.

Zum Riechen des Esters werden in der Literatur zwei verschiedene Methoden angeführt. Diese unterscheiden sich deutlich in ihrem Gefahrenpotential und der Einfachheit der Entsorgung.

1. Verwendung eines mit Wasser gefüllten Glases:

Um Verätzungen der Schleimhäute beim Riechen des Esters zu vermeiden wurde hier die Methode aus dem Buch *Chemische Freihandversuche* aufgegriffen. Durch die Zugabe des Reaktionsgemisches in einen großen Überschuss an Wasser wird die nicht abreagierte Ethansäure so stark verdünnt, dass die Gefahr beim Riechen stark vermindert ist. [69]

2. Verwendung von Natriumhydrogencarbonat:

Eine andere Methode, Schüler und Schülerinnen am Ester riechen zu lassen, ist das Auftropfen auf ein Uhrglas mit Natriumhydrogencarbonat. [74] Dazu sollte der aufschwimmende Ester mittels Pipette vom restlichen Inhalt des Reagenzglases abgehoben und auf das Natriumhydrogencarbonat getropft werden. Die Base neutralisiert die restliche Säure und der Ester verdampft mit der Zeit. Der Inhalt des Reagenzglases sollte nicht einfach auf das Uhrglas geschüttet werden, um zu vermeiden, dass zu viel Ethansäure mit heraus kommt oder gar verschüttet wird. Diese Methode birgt mehr Gefahrenpotenzial, erleichtert jedoch die Entsorgung der Chemikalien nach dem Versuch, wie im Folgenden beschrieben ist.

Entsorgungshinweise

Bezüglich der Sicherheit zeigte sich die Methode mit dem Wasser vorteilhafter als die Verwendung Natriumhydrogencarbonat. In Bezug auf die Entsorgung ist, wie die folgenden Ausführungen zeigen, das Gegenteil der Fall.

1. Verwendung eines mit Wasser gefüllten Glases:

In ihrem Buch *Chemische Freihandversuche* schreiben Heinz Schmidkunz und Werner Rentzsch, dass die Entsorgung im Behälter für organische Stoffe erfolgen muss. Diese Feststellung vereinfacht den Sachverhalt sehr stark und beschreibt die dazu

notwendigen Arbeitsschritte nicht ausreichend. Der Ester und das nicht abreagierte Pentanol zählen zu den organischen Lösungsmitteln. Da das polare Wasser-Essigsäure-Gemisch jedoch nicht in diese Kategorie einzuordnen ist, muss es von den zuvor genannten, unpolaren Komponenten getrennt werden. Dies kann mittels Schütteltrichter durchgeführt werden. Wenn der Versuch von mehreren kleinen Schülergruppen durchgeführt wird, fällt eine große Menge an Wasser, gemischt mit organischen Stoffen, an. Es sollte also eine ebenso große Menge an Schütteltrichtern vorhanden sein. Ansonsten würde der Trennvorgang sehr lange dauern. Die organische Phase, welche den Ester enthält, muss im Behälter für nicht-halogenierte, organische Stoffe gesammelt, die restliche Lösung kann im Abfluss entsorgt werden. Da durch die Zugabe eines Überschusses an Wasser jedoch wieder die Rückreaktion des Esters zu Säure und Alkohol begünstigt wird, kann es, je nach Kettenlänge des verwendeten Alkohols, passieren, dass eine Trennung nicht mehr möglich ist.

2. Verwendung von Natriumhydrogencarbonat:

Wird der Ester vom Reaktionsgemisch abgehoben und auf das Natriumhydrogencarbonat getropft, so wird die überschüssige Säure neutralisiert und der Ester verdunstet mit der Zeit. Es reicht also, das Uhrglas über Nacht unter dem Abzug stehen zu lassen. Der Rest des Reaktionsgemisches kann mit etwas Wasser versetzt und ebenfalls im Schütteltrichter getrennt werden. Die organische Phase wird anschließend im Behälter für organische Lösungsmittel entsorgt. Die wässrige Phase muss auf ihren pH-Wert kontrolliert, gegebenenfalls verdünnt und im Abfluss entsorgt werden. Da die Menge hier wesentlich geringer ist, wird wesentlich weniger Zeit benötigt. Auch die Gefahr der Rückreaktion des Esters zu Carbonsäure und Alkohol ist hierbei geringer.

Das Natriumsulfat kann in beiden Fällen bedenkenlos im Abfluss entsorgt werden.

Da beide Ansätze ihre Nachteile mit sich bringen, empfehle ich den Versuch als Lehrerversuch oder als Schülerversuch in großen Gruppen durchzuführen, um eine möglichst kleine Menge an Chemikalien zur Entsorgung zu erhalten. Welcher Ansatz für die Geruchsprobe gewählt wird, liegt bei der durchführenden Lehrperson. Bei jüngeren Schülern und Schülerinnen würde ich eher die erste Methode empfehlen, weil die Gefahr einer Schleimhautverätzung, auch wenn zu tief eingeatmet wird, geringer ist. Älteren Schülern und

Schülerinnen ist bereits größere Vorsicht zuzutrauen. In höheren Jahrgängen würde ich daher eher zur zweiten Methode greifen, da die Entsorgungskriterien dabei klarer ersichtlich sind.

Didaktischer Hintergrund

Der Versuch „Herstellung eines Fruchtesters“ fällt eindeutig in den Themenbereich der organischen Chemie. Es wird eine typische Reaktion zwischen Carbonsäure und Alkohol, eine sogenannte Veresterung, gezeigt, welche laut Lehrplan der Sekundarstufe I unter dem Punkt Grundmuster chemischer Reaktionen vorgesehen ist. [33] Um den Versuch für die Lernenden abwechslungsreich zu gestalten, ist es möglich unterschiedliche Alkohole und Carbonsäuren zur Verfügung zu stellen und diese von den Schülern und Schülerinnen beliebig kombinieren zu lassen. Um die Chemikalienmenge, welche anschließend entsorgt werden muss, zu verringern, ist es empfehlenswert, diesen als Lehrerversuch mit Gehilfen aus der Klasse durchzuführen, welche Säure und Alkohol wählen. Mit diesem Versuch kann jedoch auch die chemische Gleichgewichtsdynamik sowie deren Beeinflussung demonstriert werden, welche im Lehrplan für die Sekundarstufe II für das 6. Semester (11. Schulstufe) vorgesehen ist. [62] Eine Möglichkeit das Hauptaugenmerk bei diesem Versuch auf das chemische Gleichgewicht zu legen, wäre den Versuch zweimal, wie folgt, durchzuführen. Zunächst muss der Versuch ohne Katalysator gemacht werden. Den Lernenden würde dabei schnell klar werden, dass nicht viel passiert ist. Der zweite Versuchsansatz wird mit Natriumsulfat durchgeführt. Nachdem bei diesem Versuch eine deutliche Veränderung riechbar ist, kann den Schülern und Schülerinnen die Frage gestellt werden, worin nun der Unterschied bei den beiden Reaktionen besteht. Dies kann zuerst in Kleingruppen und anschließend im Plenum diskutiert werden. Die zwei Versuchsansätze können auch nebeneinander durchgeführt werden, wobei auch jeweils ein Teil der Klasse den Ansatz mit Katalysator und der andere Teil jenen ohne Zusatz durchführen kann. Die Ergebnisse der beiden Gruppen führen in einer anschließenden Diskussion zur gewünschten Erkenntnis.

5. Verzeichnis

5.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Etikett für 100%-ige Ethansäure nach den Vorgaben der CLP- Verordnung.....	4
Abbildung 2 – Auflistung der Gefahrenpiktogramme und deren Bezeichnungen [2] [5].....	5
Abbildung 3 – Interpretationsbeispiel für die Bezeichnung eines H- und eines P-Satzes [2]....	6
Abbildung 4 – Warnung vor giftigen Stoffen. [10]	8
Abbildung 5 - Warnung vor ätzenden Stoffen. [10]	9
Abbildung 6 - Sicherheitsschrank Typ 90 geschlossen.	10
Abbildung 7 – Sicherheitsschrank Typ 90 geöffnet, mit Auffangwannen für Flüssigkeiten. ...	10
Abbildung 8 - Warnung vor feuergefährlichen Stoffen. [10]	10
Abbildung 9 - Warnung vor brandfördernden Stoffen. [10]	10
Abbildung 10 - Für Österreich adaptierte Version des Zusammenlagerungskonzeptes nach VCI/TRGS 510 [16]	12
Abbildung 11 - Verbot mit Wasser zu löschen. [10].....	13
Abbildung 12 - Etikett für den Abfallbehälter für halogenierte organische Stoffe.....	16
Abbildung 13 - Etikett für den Abfallbehälter für NICHT-halogenierte organische Stoffe.	17
Abbildung 14 - Etikett für den Abfallbehälter für Schwermetallkationen.	18
Abbildung 15 - Hinweis auf ein Feuerlöschgerät. [10]	24
Abbildung 16 - Rettungszeichen für Erste Hilfe. [10]	25
Abbildung 17 - Rettungszeichen für Augenspüleinrichtungen. [10]	25
Abbildung 18 - Gas-Sicherheitsbrenner: an eine Gaskartusche angeschlossen.	27
Abbildung 19 - Anschlussstück für einen Gas-Sicherheitsbrenner an eine Gasanlage.....	27
Abbildung 20 - Demonstrationstisch mit Gas- und Wasseranschluss.....	28
Abbildung 21 - Schaltpult für Strom und Gas am Arbeitsplatz des/ der Chemie-Lehrenden..	30
Abbildung 22 – Armatur eines Arbeitsplatzes für Lernende von Vorne, mit Waschbecken und Gasanschluss.	31
Abbildung 23 – Armatur eines Arbeitsplatzes für Lernende von der Seite, mit Anschlüssen für Gleich- und Wechselstrom.	31
Abbildung 24 - Schrank mit deutlicher Sortierung und Beschriftung.	31
Abbildung 25 - Arbeitsplatz im Chemiekabinett.	33
Abbildung 26 - Verhalten im Brandfall [43]	36
Abbildung 27 - Symbol zur Kennzeichnung von Schülerversuchen	57

Abbildung 28 - Symbol zur Kennzeichnung von Lehrerversuchen.....	57
Abbildung 29 - Gebotszeichen: Schutzkleidung tragen. [10]	58
Abbildung 30 - Gebotszeichen: Schutzbrille tragen. [10].....	58
Abbildung 31 - Gebotszeichen: Schutzhandschuhe tragen. [10]	58
Abbildung 32 – Materialien für "Untersuchung einer Brausetablette"	59
Abbildung 33 -Deprotonierung von Citronensäure in Wasser.....	61
Abbildung 34 - Zerfall von Natriumhydrogencarbonat zu Kohlensäure und Natriumionen. ..	61
Abbildung 35 - Materialien für "Wasser entzündet Feuer"	64
Abbildung 36 - Materialien für "Herstellung von Schwefeleisen"	71
Abbildung 37 - Materialien für "Oxidationsstufen des Mangans"	77
Abbildung 38–Kaliumpermanganatlösung.....	78
Abbildung 39 - Färbung nach der Zugabe der Reagenzien. Foto: Böhm	78
Abbildung 40–Bildung von Manganat-ionen durch Reduktion mittels Glucose.....	81
Abbildung 41 - Bildung von Manganoxidhydroxid durch Reduktion mittels Glucose.	81
Abbildung 42 - Material für "Blue Bottle“	83
Abbildung 43 - Blue Bottle zum Zeitpunkt $t = 0\text{min}$	84
Abbildung 44 - Blue Bottle zum Zeitpunkt $t = 3\text{min}$	84
Abbildung 45 - Reduktion von Methylenblau zu Leukomethylenblau.....	84
Abbildung 46 - Materialien für den Versuch "Herstellung eines Fruchtesters"	88
Abbildung 47 - Reaktionsschema der Veresterung von Pentanol mit Essigsäure.	90
Abbildung 48 - Kopie der Liste karzinogener Stoffe, die Lehrkräfte in bestimmten Fällen verwenden dürfen. [31]	106
Abbildung 49 – Experimente bei denen karzinogene und keimzellmutagene Stoffe in geringen Mengen entstehen können. [31]	107

5.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – Auflistung von Gefahrenstoffen, deren Verwendung im Unterricht nicht zulässig ist sowie möglicher Ersatzstoffe mit geringerem Gefahrenpotential. [20]	20
Tabelle 2 – Auflistung zu vermeidender Gefahrenstoffe sowie möglicher Ersatzstoffe. [20].	21
Tabelle 3 – Auflistung allgemeiner Verhaltensregeln für den Chemieunterricht mit Begründung und Einteilung in Verbote und Gebote. [41] [42].....	35

Tabelle 4 – Auflistung und Begründung von Verhaltensregeln, welche vor, während und nach dem Experimentieren einzuhalten sind, sowie deren Einteilung in Gebote und Verbote mittels Symbolen. [42] [41].....	41
Tabelle 5 – Auflistung der Gefahrenpiktogramme nach GHS und Beschreibung der Sicherheitshinweise, welche bei der Arbeit mit entsprechenden Stoffen, beachtet werden müssen. [45] [5].....	43
Tabelle 6 – Auflistung der Experimente, welche in Kapitel 4 behandelt werden.....	57
Tabelle 7 - Auflistung der Chemikalien und Materialien, welche für den Versuch „Untersuchung einer Brausetablette“ benötigt werden.	59
Tabelle 8 - Auflistung der Chemikalien und Materialien für den Versuch „Wasser entzündet Feuer“.....	63
Tabelle 9 - Aufschlüsselung und Erklärung der Teilreaktionen von Gl.4.	65
Tabelle 10 – Auflistung der Sicherheitshinweise der Chemikalien für den Versuch „Wasser entzündet Feuer“.	66
Tabelle 11 - Auflistung der Chemikalien und Materialien, welche für den Versuch „Herstellung von Schwefeleisen“ benötigt werden.....	71
Tabelle 12 - Übersicht über die Sicherheitshinweise der Chemikalien für den Versuch „Herstellung von Schwefeleisen“.....	73
Tabelle 13 - Zusammensetzung von Haushaltsglas, Laborglas und gängigem hitzebeständigem Laborglas. [65]	74
Tabelle 14 -Auflistung der Chemikalien und Materialien für den Versuch „Oxidationsstufen des Mangans“.....	77
Tabelle 15 – Zusammenhang zwischen dem pH-Wert der Lösung mit der Oxidationsstufe des Mangans, sowie der Farbe der Lösung [57]	78
Tabelle 16 – Übersicht über die Sicherheitshinweise der Chemikalien für den Versuch „Oxidationsstufen des Mangan“.....	79
Tabelle 17 - Auflistung der Materialien für den Versuch „Blue Bottle“	83
Tabelle 18 -Übersicht über die Sicherheitshinweise der Chemikalien für den Versuch „Blue Bottle“.....	84
Tabelle 19 - Auflistung der Materialien, welche für den Versuch „Herstellung eines Fruchtesters“ benötigt werden.....	88

Tabelle 20 - Übersicht über die Sicherheitshinweise für den Versuch „Herstellung eines Fruchtesters“	90
--	----

5.3 Literaturverzeichnis

- [1] A. Dr. Müller, „ARGE Chemie AHS Tirol,“ [Online]. Available: <http://arge-chemie.tsn.at/arge/GHS/GHS-KUSTOSAushaenge.pdf>. [Zugriff am 14. 03. 2018].

- [2] Wirtschaftskammer Österreich, „WKO,“ [Online]. Available: https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/chemische-gewerbe/Das-GHS-System-in-der-Praxis_.pdf. [Zugriff am 13. 04. 2018].

- [3] T. Seilnacht, „Seilnacht,“ [Online]. Available: <http://www.seilnacht.com/Chemie/etikett.html>. [Zugriff am 19. 01. 2018].

- [4] Umweltbundesamt GmbH, „REACH - Helpdesk,“ 2018. [Online]. Available: http://www.reachhelpdesk.at/ms/reachhelpdesk_home/reachhelpdesk_home/reach_faq/reach_faq_allg/. [Zugriff am 24. 01. 2018].

- [5] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; Allgemeine Unfallversicherungsanstalt; Die Umweltberatung, „Die Umweltberatung,“ 10. 2015. [Online]. Available: <https://www.umweltberatung.at/auf-die-gefahrenpiktogramme-achten>. [Zugriff am 13. 04. 2018].

- [6] Bundesministerium für Bildung, „RFDZ Chemie,“ 2017. [Online]. Available: https://static.uni-graz.at/fileadmin/nawi-institute/Chemie/RFDZ/Newsletter/Neuer_Gifterlass_BMB_2017.pdf. [Zugriff am 02. 02. 2018].

- [7] Europäische Union, „Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 - über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006,“ 2008.

- [8] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, Checklisten - Chemie in der Schule, Wien, 2014.
- [9] Österreichisches Komitee für Unfallverhütung im Kindesalter, „Das Land Steiermark,“ [Online]. Available: http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/dokumente/11679959_74838400/7831831c/Sicherheitscheck.pdf. [Zugriff am 13. 04. 2018].
- [10] Republik Österreich, *101. Verordnung der Bundesministerin für Arbeit, Gesundheit und Soziales über die Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung (Kennzeichnungsverordnung – KennV)*, 1997.
- [11] A. Dr. Müller, „ARGE Chemie AHS Tirol,“ [Online]. Available: <http://arge-chemie.tsn.at/arge/KUSTOSChemikalienSchraenkeLagerung.pdf>. [Zugriff am 22. 02. 2018].
- [12] U-W-T Stumpfoll GmbH, „UWT,“ [Online]. Available: http://www.uwt.cc/fileadmin/user_upload/media/neue_EN.pdf. [Zugriff am 23. 02. 2018].
- [13] Aecos GmbH, „Sicherheit und Umweltschutz,“ [Online]. Available: <https://www.asecos.com/dia.files/company/Norm-14470-Risikominimierung.pdf>. [Zugriff am 23. 02. 2018].
- [14] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, Merkblatt 330 - Lagerung von gefährlichen Arbeitsstoffen, Wien.
- [15] T. Seilnacht, „Seilnacht,“ [Online]. Available: http://www.seilnacht.com/versuche/ris_bren.pdf. [Zugriff am 02. 03. 2018].
- [16] Denios GbmH, „Denios - Umweltschutz und Sicherheit,“ [Online]. Available: <https://www.denios.at/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=383984&token=5c7fa2090fe797e50d62b4eb33ead45d82413454>. [Zugriff am 22. 03. 2018].
- [17] T. Seilnacht, „Seilnacht,“ [Online]. Available: http://www.seilnacht.com/Chemie/ch_forma.htm. [Zugriff am 13. 04. 2018].

- [18] Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, „GESTIS - Stoffdatenbank,“ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, [Online]. Available: [http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates\\$fn=default.htm\\$vid=gestisdeu:sdbdeu\\$3.0](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates$fn=default.htm$vid=gestisdeu:sdbdeu$3.0). [Zugriff am 15. 9. 2017].
- [19] T. Seilnacht, „Seilnacht,“ [Online]. Available: <http://www.seilnacht.com/Lexikon/11Natriu.htm>. [Zugriff am 13. 04. 2018].
- [20] Bundesministerium für Bildung, „RFDZ Chemie,“ 2017. [Online]. Available: <https://rfdz-chemie.uni-graz.at/de/schule/schule-und-recht/>. [Zugriff am 12. 04. 2018].
- [21] E.-M. Schuchlenz, Sicherer und bewusster Umgang mit Gefahrenstoffen im Chemieunterricht, Graz, 2015.
- [22] G. Pappai, „Sichere Schule,“ Unfallklasse Nordrhein-Westfalen, Dezember 2017. [Online]. Available: https://www.sichere-schule.de/chemie/_docs/chemie.pdf. [Zugriff am 02. 03. 2018].
- [23] „Umweltbundesamt,“ [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/dioxine#text>-1. [Zugriff am 24. 04. 2018].
- [24] „Umweltbundesamt,“ Eintrag zu Schwefeldioxid-Emissionen, [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/schwefeldioxid-emissionen>. [Zugriff am 08. 05. 2018].
- [25] T. Seilnacht, „Seilnacht,“ [Online]. Available: <http://www.seilnacht.com/Lexikon/halkw.html>. [Zugriff am 02. 04. 2018].
- [26] K. Gebhardt, „Umweltdatenbank,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.umweltdatenbank.de/cms/lexikon/45-lexikon-s/847-schwermetall.html>. [Zugriff am 05. 02. 2018].
- [27] SCHOTT AG, „SCHOTT - glass made of ideas,“ [Online]. Available: <http://www.schott.com/borofloat/german/attribute/thermic/index.html>. [Zugriff am

24. 04. 2018].

- [28] Wirtschaftskammer Österreich, „Eintrag zu GLN-Nummer,“ 22. 12. 2016. [Online]. Available: https://www.wko.at/service/innovation-technologie-digitalisierung/Das_WKO_Firmen_A-Z_integriert_die_internationale_Unternehme.html. [Zugriff am 04. 02. 2018].
- [29] Europäische Union, „Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/gefahrgut/recht/international/ADR/index.html>. [Zugriff am 13. 04. 2018].
- [30] Institut für Arbeitsgestaltung des Landes Nordrhein-Westfalen, „KomNet - Gut beraten. Gesund arbeiten,“ 2010. [Online]. Available: https://www.komnet.nrw.de/_sitetools/dialog/11223. [Zugriff am 23. 01. 2017].
- [31] H. J. Bezler, E. Dr. Frenzel, L. Hohenberger, R. Dr. Kellner, M. Neunzig, A. Piechocki, B. Proll, R. Dr. Radtke und U. Ritzmann, „Kultusministerkonferenz,“ 26. 02. 2016. [Online]. Available: https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1994/1994_09_09-Sicherheit-im-Unterricht.pdf. [Zugriff am 10. 04. 2018].
- [32] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, „Sichere Schule,“ [Online]. Available: https://www.sichere-schule.de/_incl/risu.htm. [Zugriff am 11. 04. 2018].
- [33] Bundesministerium für Bildung, „Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung,“ 2000. [Online]. Available: https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs6_780.pdf?61ebzq. [Zugriff am 19. 01. 2018].
- [34] A. Dr. ler, „ARGE Chemie AHS Tirol,“ [Online]. Available: <http://arge-chemie.tsn.at/arge/KUSTOSEinrichtungChemiesaal.pdf>. [Zugriff am 24. 02. 2018].
- [35] A. Dr. Müller, „ARGE Chemie AHS Tirol,“ [Online]. Available: <http://arge-chemie.tsn.at/arge/KUSTOSChemiebereichZeichen.pdf>. [Zugriff am 25. 02. 2018].

- [36] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, „AUVA,“ [Online]. Available:
<https://www.auva.at/cdscontent/load?contentid=10008.544595&version=1402914865>.
[Zugriff am 23. 03. 2018].
- [37] Carl Roth GmbH + Co. KG, „Carl Roth,“ 2018. [Online]. Available:
https://www.carlroth.com/at/de/Laborbedarf/Laborger%C3%A4te/Gas-Sicherheitsbrenner/c/0000000200008df5000d0023_de. [Zugriff am 04. 03. 2018].
- [38] „VWR,“ 2018. [Online]. Available:
https://at.vwr.com/store/search/searchResultList.jsp?_DARGS=/store/search/searchResultHybrid.jsp.searchOrderForm. [Zugriff am 04. 03. 2018].
- [39] H.-D. Prof. Dr. Barke und G. Prof. Dr. Harsch,  Chemiedidaktik Heute - Lernprozesse in Theorie und Praxis, Berlin: Springer, 2001.
- [40] E. Prof. Dr. Rossa, M. A. Prof. Dr. Anton, R. Prof. Dr. Blum, E. Dr. Graf, R. Prof. Dr. Heimann, R. Hüttner und F. Dr. Jürgensen, Chemie-Didaktik - Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II, 5. Auflage Hrsg., Berlin: Cornelsen Verlag , 2009.
- [41] A. Dr. Müller, „ARGE Chemie AHS Tirol,“ [Online]. Available: <http://arge-chemie.tsn.at/arge/Laborordnung.pdf>. [Zugriff am 06 03. 2018].
- [42] T. Seilnacht, „Seilnacht,“ [Online]. Available:
<http://www.seilnacht.com/Download/Absicher.pdf>. [Zugriff am 07 03. 2018].
- [43] A. Dr. Kotter, „Akademie für Lehrervorbildung und Personalführung, Dillingen,“ 2010. [Online]. Available:
<http://dozenten.alp.dillingen.de/2.8/images/VSE/Material/konzeptbrandschutzpraevention.pdf>. [Zugriff am 07. 03. 2018].
- [44] O. Dr. Widetschek, „Brandschutz-info.at,“ August 2013. [Online]. Available:
http://www.brandschutz-info.at/wbinfo/media/download_gallery/BRANDSCHUTZ-Info_Nr._06.pdf. [Zugriff am 14. 03. 2018].
- [45] R. Magyar, W. Liebhart und G. Jelinek, Stoffe, Wien: Österreichischer Bundesverlag

Schulbuch GmbH & Co.KG, 2011.

- [46] B. Proll und K. Brkitsch, „Schulregeln entwickeln und verankern,“ *Hamburg macht Schule*, Nr. 4, 2014.
- [47] A. Anlanger, Aufbau einer positiven Lehrer/innen-Schüler/innen-Beziehung zur Verbesserung des Konfliktmanagements an der Berufsschule 1 Gmunden, Pädagogische Hochschule - Oberösterreich, 2014.
- [48] 4pub GmbH, „lernen.net,“ [Online]. Available: <https://www.lernen.net/artikel/gedaechtnistraining-leichter-merken-373/>. [Zugriff am 11. 03. 2018].
- [49] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, „AUVA,“ [Online]. Available: <https://www.auva.at/portal27/auvaportal/content?contentid=10007.671658>. [Zugriff am 16. 02. 2018].
- [50] H.-J. Becker, W. Glöckner, F. Hoffmann und G. Jüngel, Fachdidaktik Chemie, 2. Auflage Hrsg., Köln: Aulis Verlag, 1992.
- [51] K. Runge, „Super-Sozi,“ 2018. [Online]. Available: <http://www.super-sozi.de/category/spielekartei/spiele-zur-gruppeneinteilung/>. [Zugriff am 13. 03. 2018].
- [52] F. Wild, *Diplomarbeit - Sprachsensibler Chemieunterricht mit besonderem Fokus auf das Experimentieren*, Graz, 2016.
- [53] E. Dr. Riedel und C. Dr. Janiak, Anorganische Chemie, 8. Auflage Hrsg., Berlin: de Gruyter, 2011.
- [54] S. Sommer, „netexperimente 2.0,“ [Online]. Available: <http://netexperimente.de/chemie/61.html>. [Zugriff am 27. 11. 2017].
- [55] T. L. Brown, H. E. LeMay und B. E. Bursten, Chemie - Studieren kompakt, 10. Auflage Hrsg., München: Pearson Deutschland GmbH, 2011.
- [56] A. Marohn und R. Schillmüller, „Luft ist nicht Nichts - Schlüsselexperimente zu Gasen,“

Chemie und Schule, Nr. 153, 2016.

- [57] Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung, „Chemie? - Aber sicher! - Experimente kennen und können!“, Dillingen, 2013.
- [58] H. W. Roesky und K. Möckel, Chemische Kabinettstücke, Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1996.
- [59] R. Prof. Dr. Demuth, I. Prof. Dr. Parchmann und B. Prof. Dr. Ralle, Hrsg., Chemie im Kontext, 2. Auflage Hrsg., Linz: Veritas, 2009.
- [60] M. Friedrich, M. Gumpendobler, C. Lebeau und S. Spannich, „Chem-Page.de - Die freundliche Seite der Chemie“, [Online]. Available: <http://www.chem-page.de/experimente>. [Zugriff am 23. 10. 2017].
- [61] Wagner und Kratz, , Chemie in faszinierenden Experimenten, Köln: Aulis Verlag Deubner, 2005.
- [62] BGBl für die Republik Österreich, „Arbeitsgemeinschaft der Chemielehrerinnen und -lehrer“, 9. 08. 2016. [Online]. Available: <http://www.agchemie-noe.at/index.php/lehrplan/>. [Zugriff am 13. 04. 2018].
- [63] „Tabellensammlung Chemie /Thermodynamische Daten“, 2017. [Online]. Available: https://de.wikibooks.org/wiki/Tabellensammlung_Chemie/_Thermodynamische_Daten. [Zugriff am 31. 01. 2018].
- [64] T. Seilnacht, „Seilnacht“, [Online]. Available: http://www.seilnacht.com/Chemie/ch_fes.htm. [Zugriff am 24 11. 2017].
- [65] T. Seilnacht, „Seilnacht“, [Online]. Available: <http://www.seilnacht.com/versuche/glasbear.html>. [Zugriff am 03 04. 2018].
- [66] Austria Glas Recycling, 2017. [Online]. Available: <http://www.agr.at/glasrecycling/glas-entsorgen.html>. [Zugriff am 31. 10. 2017].
- [67] T. Seilnacht, „Seilnacht“, [Online]. Available:

- <http://www.seilnacht.com/Lexikon/25Mangan.htm>. [Zugriff am 03. 04. 2018].
- [68] T. Seilnacht, „Seilnacht,“ [Online]. Available:
<http://www.seilnacht.com/Lexikon/25Mangan.htm>. [Zugriff am 03. 04. 2018].
- [69] H. Schmidkunz und W. Rentzsch, Chemische Freihandversuche - Kleine Versuche mit großer Wirkung, Bd. 2, Aulis Verlag, 2011.
- [70] Institut für Didaktik der Chemie der Justus-Liebig-Universität Giessen, „Experimente mit Gummibären,“ [Online]. Available: <https://www.uni-giessen.de/fbz/fb08/Inst/Chemiedidaktik/mat/dat/gum.pdf>. [Zugriff am 31. 01. 2018].
- [71] T. Seilnacht, „Seilnacht,“ [Online]. Available:
<http://www.seilnacht.com/Chemie/ghspikto.htm#gefahrenklassen>. [Zugriff am 13. 12. 2017].
- [72] T. Seilnacht, „Seilnacht,“ [Online]. Available:
<http://www.seilnacht.com/versuche/rgeschw.htm>. [Zugriff am 03. 04. 2018].
- [73] M. Seidl, „Chem-Page,“ 15. 11. 2017. [Online]. Available: <https://www.chem-page.de/experimente/red-bottle.html>. [Zugriff am 23. 04. 2018].
- [74] R. Magyar, W. Liebhart und G. Jelinek, Moleküle, 1. Auflage Hrsg., Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch, 2011.

6. Anhang

Anhang 1: Umfrage

Sehr geehrte Chemielehrer und Chemielehrerinnen!

Ich studiere das Lehramt für Biologie und Chemie und habe mich entschieden meine Diplomarbeit zum Thema Chemikalienentsorgung zu verfassen, da auf diese im Studium nicht ausführlich eingegangen wird. In meiner Arbeit möchte ich besonders auf die Entsorgung von Chemikalien eingehen, welche in Schulversuchen verwendet werden, wobei mir im Speziellen folgende Aspekte wichtig sind.

- Rechtslage auf einen Blick
- War meine Reaktion vollständig? Wie kann ich dies einfach überprüfen?
- Müssen meine Produkte voneinander getrennt werden und mit welcher Methode geht dies am einfachsten?
- Wie muss ich ein nicht zu trennendes Gemisch entsorgen? Welche Komponente ist von größerer Wichtigkeit?

Diese Punkte möchte ich anhand von konkreten Schulversuchen erörtern und somit eine Unterlage zur Veranschaulichung und Erleichterung der Chemikalienentsorgung an Schulen erstellen, welche später auch öffentlich für LehrerInnen und StudentInnen zugänglich sein wird.

Um diese Arbeit möglichst realitätsnah und authentisch aufbauen zu können, bitte ich Sie mir Ihre Erfahrungen mit mir zu teilen. Dabei wären folgende Punkte besonders hilfreich.

- Experimente bei denen es vielleicht schon einmal Unsicherheiten bei der Entsorgung gab
- Allgemeine Anregungen oder Fragen zur Chemikalienentsorgung
- Erfahrungen oder Experimente, welche Sie gerne mit KollegInnen teilen würden

Ich bedanke mich schon im Voraus für Ihre Unterstützung.

Sie erreichen mich unter der E-Mail – Adresse: angelika.boehm@edu.uni-graz.at

Mit freundlichen Grüßen,

Angelika Böhm

Anhang 2: Karzinogene und umweltschädliche Stoffe im Chemieunterricht, nach den Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht (RiSU) – Deutschland [31]

Die in Abbildung 48 aufgelisteten, karzinogenen Stoffe dürfen in bestimmten Fällen von Lehrkräften eingesetzt werden.

Karzinogener Stoff	Einstufung nach GHS		Anwendungsbeschränkungen
Acrylnitril	Karz. 1B	H350	Als Edukt zur Polymerisation erlaubt
Beryllium als Metall	Karz. 1B	H350	Staubbildung vermeiden
Cadmium	Karz. 1B	H350	Staub- und Aerosolbildung vermeiden
Cadmiumsulfat	Karz. 1B Muta 1B Repr 1B	H350 H340 H360FD	Als Fällungsreagens in der Analytik verwenden
Lösliche Chrom(VI)-Verbindungen ⁴	Karz 1B Muta 1B Repro 1B	H350 H340 H360FD	Staub- und Aerosolbildung vermeiden
Cobaltchlorid, Cobaltnitrat	Karz 1B Repr 1B	H350i H360F	Staub- und Aerosolbildung vermeiden Als Fällungsreagens in der Analytik einsetzen.
1,2-Dibromethan	Karz 1B	H350	Als Edukt zur Herstellung von Ethen und als Reaktionsprodukt erlaubt.
1,2-Dichlorethan	Karz 1B	H350	Als Edukt zur Herstellung von Ethen und als Reaktionsprodukt erlaubt.
Dinitrotoluole (Isomerengemische)	Karz 1B	H350	Als Reaktionsprodukte aus der Nitrierung von Toluol, als Ersatzstoff für Benzol und als Vergleichssubstanz für Dünnschichtchromatographie erlaubt.
Erdöldestillate (Erdölextrakte) und deren Rückstände	Karz 1B Muta 1B	H350 H340	Erdöldestillation, Untersuchung von Kohlenwasserstoffen (Flammprobe, ungesättigte Kohlenwasserstoffe, GC).
Hydrazin als Hydrazinhydrat	Karz 1B	H350	Nur zur Verwendung in der Brennstoffzelle erlaubt.
Kaliumbromat	Karz 1B	H350	Nur zur Verwendung als Maßlösung in der Analytik erlaubt.
2-Nitronaphthalin	Karz 1B	H350	Als Produkt bei der Nitrierung von Naphthalin erlaubt als Ersatzstoff für Benzol. Als Vergleichssubstanz für Dünnschichtchromatographie einsetzbar.
2-Nitrotoluol	Karz 1B Muta 1B	H350	Als Produkt bei der Nitrierung von Toluol erlaubt. Als Vergleichssubstanz für Dünnschichtchromatographie einsetzbar.
Ottokraftstoff	Karz 1B Repr 2	H350 H361 FD	Wenn kein Ersatzstoff möglich ist, z. B. für den Betrieb von Verbrennungsmotoren erlaubt.
Phenolphthalein	Karz 1B	H350	Als Produkt und für die Herstellung von Indikatorlösungen erlaubt.
Thioacetamid	Karz 1B	H350	In der Analytik erlaubt.
o-Toluidin	Karz 1B	H350	Zur Verwendung in der Analytik, z. B. zur photometrischen Bestimmung von Glucose erlaubt.

Abbildung 48 - Kopie der Liste karzinogener Stoffe, die Lehrkräfte in bestimmten Fällen verwenden dürfen. [31]

Abbildung 49 zeigt eine Liste von Experimenten, bei denen karzinogene und keimzellmutagene Stoffe in geringen Mengen entstehen können. Diese Experimente dürfen in Deutschland  in kleinstmöglichen Ansätzen sowohl von Lehrpersonen als auch von Schülern und Schülerinnen durchgeführt werden. [31]

Experiment	karzinogener/ keimzellmutagener Stoff	Einstufung nach GHS	
Nachweis der Ethen-Doppelbindung mit Bromwasser: $1\% < w < 5\%$	1,2-Dibromethan	Karz 1B	H350
Brennprobe von Polyacrylnitril auch Beilsteinprobe	Acrylnitril	Karz 1B	H350
Reaktion von Ethanol und Schwefelsäure	Diethylsulfat (Nebenprodukt)	Karz 1B Muta 1B	H350 H340
Kohle-Pyrolyse	Braun- bzw. Steinkohleteer (Benzo[a]pyren als Bezugssubstanz)	Karz 1B Muta 1B Repr 1B	H350 H340 H360FD
Pyrolyse organischer Stoffe	Pyrolyseprodukte aus organischem Material	Karz 1B	H350
Untersuchung von Autoabgasen	Dieselmotor-Emissionen	Karz 1B	H350

Abbildung 49 – Experimente bei denen karzinogene und keimzellmutagene Stoffe in geringen Mengen entstehen können. [31]

Die folgende Auflistung betrifft Stoffe, die im Unterricht nicht verwendet werden dürfen, da sie der Umwelt durch den Abbau der Ozonschicht schaden. [31]

- vollhalogenierte aliphatische (C1 bis C3) Fluorchlorkohlenwasserstoffe
- Halone (wie Trifluorbrommethan)
- Tetrachlorkohlenstoff
- 1,1,1-Trichlorethan
- teilhalogenierte aliphatische (C1 bis C3) Fluorbromkohlenwasserstoffe (wie Monofluordibrommethan)
- Chlorbrommethan, Brommethan

Anhang 3: Laborordnung

Die hier gezeigte Laborordnung ist der Website der ARGE Chemie AHS Tirol entnommen. [41] Auf dieser sind zahlreiche Sicherheitshinweise und Verhaltensregeln aufgelistet, welche zusätzlich in Untergruppen geteilt sind. Die Gestaltung ist sehr nüchtern gewählt, was für Lernende meist nicht sehr ansprechend ist.

MUSTER „LABORORDNUNG“

ALLGEMEINE HINWEISE ZUM ARBEITEN IM CHEMIEBEREICH

- Beachten Sie, dass die Chemieunterrichtsräume grundsätzlich nur in Anwesenheit des Chemielehrers bzw. des Physik-/Chemielehrers betreten und benützt werden dürfen. Befolgen Sie unbedingt die Anordnungen des Chemielehrers.
- Informieren Sie sich über die Sicherheitseinrichtungen und über die geltenden Sicherheitsbestimmungen.
- Arbeiten Sie auch mit ungiftigen Substanzen sauber – der Umweltschutz beginnt bei jedem Einzelnen von uns.
- Schützen Sie sich stets gegen mögliche Gefahrenquellen. Tragen Sie zumindest beim Experimentieren einen Arbeitsmantel und verwenden Sie die vorhandenen Schutzeinrichtungen (Schutzbrille, Schutzschild, Abzug, falls erforderlich geeignete Schutzhandschuhe). Achten Sie im Hinblick auf die Brandgefährdung besonders auf Haare und Kopfbedeckung.
- Vermeiden Sie Laborkleidung aus Geweben, die bei Hitzeeinwirkung schmelzen (Nylon, Perlon). Im Brandfall entstehen sonst sehr schwer heilende Wunden.
- Löschen Sie vor dem Umgang mit hochentzündlichen und leicht entzündlichen Stoffen und Zubereitungen alle offenen Flammen im Labor.
- Essen, Trinken und Rauchen sind im Labor verboten.
- Nach Beendigung der Arbeit im Labor sind die Hände gründlich zu reinigen.
- Transportieren Sie Geräte und Chemikalien stets sicher und verwenden Sie Tragkörbe bzw. Gerätewagen.

UMGANG MIT CHEMIKALIEN

Der gefahrlose Umgang mit Chemikalien erfordert die Einhaltung gewisser Sicherheitsgrundregeln.

- Chemikalien dürfen dafür nur in Gefäßen aufbewahrt werden, die eindeutig und dauerhaft beschriftet sind. Gefäße, die üblicherweise zur Aufbewahrung von Speisen und Getränken bestimmt sind, dürfen dafür auf keinen Fall benützt werden.
- Chemikalien dürfen nicht gekostet werden. Der Hautkontakt mit Chemikalien ist zu vermeiden. Verwenden Sie zum Ansaugen von Chemikalien Sicherheitspipetten bzw. den Peleus-Ball.
- Chemikalien sind in möglichst geringen Mengen zu verwenden. Nach dem Gebrauch sind Chemikaliengefäße sofort wieder zu schließen. Die Mitnahme von Chemikalien aus dem Chemiebereich ist verboten.
- Bei allen Reaktionen mit flüchtigen gesundheitsschädlichen Chemikalien ist der Abzug zu benutzen.
- Chemikalienreste sind nicht in die Vorratsflasche zurückzugeben. Sie werden in besonderen Abfallgefäßen gesammelt und entsorgt. Reste dürfen nur auf besondere Hinweise des Lehrers in den Abfalleimer oder Ausguss gegeben werden. Feste Abfälle dürfen keinesfalls in die Abflussbecken gelangen.

DURCHFÜHRUNG VON SCHÜLEREXPERIMENTEN

- Den Anordnungen des Lehrers ist unbedingt Folge zu leisten.
- Die Versuchsanleitung ist vor Beginn des Versuchs sorgfältig zu lesen und genau zu befolgen.
- Alle für den Versuch notwendigen Geräte und Chemikalien sind vor dem Versuch bereit zu stellen.
- Die Geräte müssen in sicherem Abstand von der Tischkante aufgebaut werden; dies gilt besonders für Gasbrenner.
- Der Arbeitsplatz soll sauber sein und muss nach jedem Versuch aufgeräumt werden.

- Beim Erhitzen von Flüssigkeiten kann es leicht zum plötzlichen Herausspritzen kommen (Siedeverzug). Um das zu vermeiden, wird das Reagenzglas beim Erhitzen ständig geschüttelt. Die Öffnung des Reagenzglases darf dabei nicht auf Personen gerichtet sein. Erhitzt man größere Flüssigkeitsmengen, so verwendet man Siedesteinchen, um einen Siedeverzug zu vermeiden. Schutzbrillen sind zu verwenden.
- Gebrauchte Gefäße sind so rasch wie möglich zu spülen, solange man noch weiß, was darin ist, damit man drohenden Gefahren begegnen und geeignete Reinigungsverfahren anwenden kann.
- Standgefäße mit hoch- und leicht entzündlichen Stoffen und Zubereitungen dürfen nicht in der Nähe einer Flamme stehen.
- Beim Arbeiten mit ätzenden sowie hoch und leicht entzündlichen Stoffen und Zubereitungen sind unbedingt Schutzbrillen zu verwenden.
- Unfälle sind sofort dem Chemielehrer zu melden.

VERLASSEN DES CHEMIEBEREICHES

- Brennt keine Flamme mehr? Sind alle Gashähne geschlossen (ggf. Zentralsperre)?
- Sind die Wasserhähne geschlossen?
- Sind die elektrischen Geräte abgeschaltet?
- Sind alle Gefäße mit gefährlichem Inhalt ordnungsgemäß verwahrt?
- Sind die Schränke abgeschlossen?
- Sind die Arbeitsplätze aufgeräumt und gesäubert?

Anhang 4: Laborordnung

Die folgende Laborordnung habe ich im Rahmen der LU Anorganisch-chemische Schulversuche unter der Leitung von Mag. Josefine Jaritz im Sommersemester 2016 erstellt. Im Gegensatz zur Laborordnung in Anhang 2 umfasst diese weniger Punkte und ist stärker bebildert.

Laborordnung

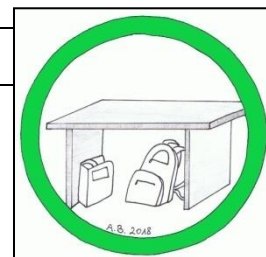
Das ist im Chemiesaal verboten:

- Den Chemiesaal ohne Lehrperson betreten
- Laufen
- Essen & Trinken
- Rauchen (generelles Verbot während des Unterrichts)
- Chemikalien kosten
- Chemikalienflaschen offen stehen lassen
- Gashahn betätigen



Das soll ich tun:

- Taschen und Rucksäcke unter die Tische legen (Wege freihalten)
- Im Chemiesaal feste Schuhe tragen



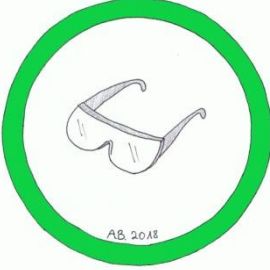
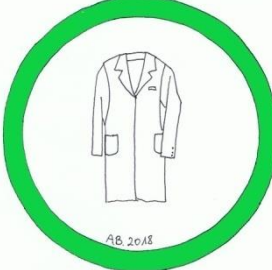
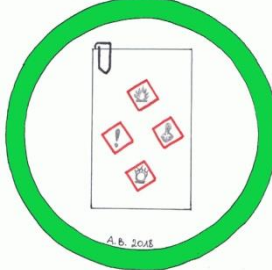
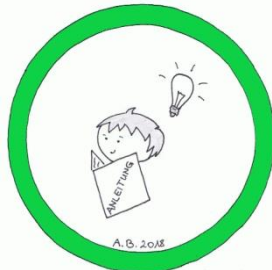
Speziell für das Experimentieren:

- Labormantel, Schutzbrille und/oder Handschuhe tragen, wenn das von der Lehrperson angeordnet ist.
- Lange Haare zusammenbinden
- Chemikalien nur auf Anweisung der Lehrperson aus dem Schrank nehmen
- Nur die von der Lehrperson vorgegebenen oder mit dieser abgesprochene Experimente durchführen (bei Unklarheiten nachfragen)
- Gefahrensymbole beachten
- Auf korrektes und sauberes Arbeiten achten (saubere Geräte verwenden, genau messen, etc.)
- Chemikalien nur nach Anleitung der Lehrperson entsorgen
- nach dem Experimentieren sauber aufräumen
- Bei Glasbruch, verschütteten Chemikalien oder Verletzungen sofort die Lehrperson informieren

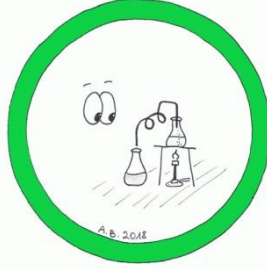
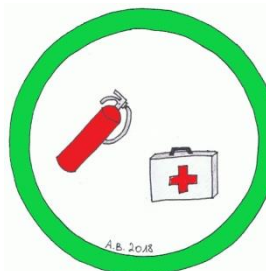
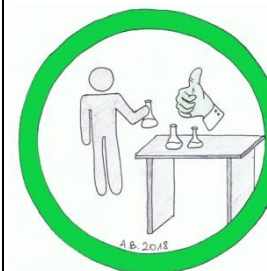


Anhang 5: Memory 1 – Kopiervorlage

Pro Spiel muss die Vorlage 1x ausgedruckt, die Karten ausgeschnitten und foliiert werden.³

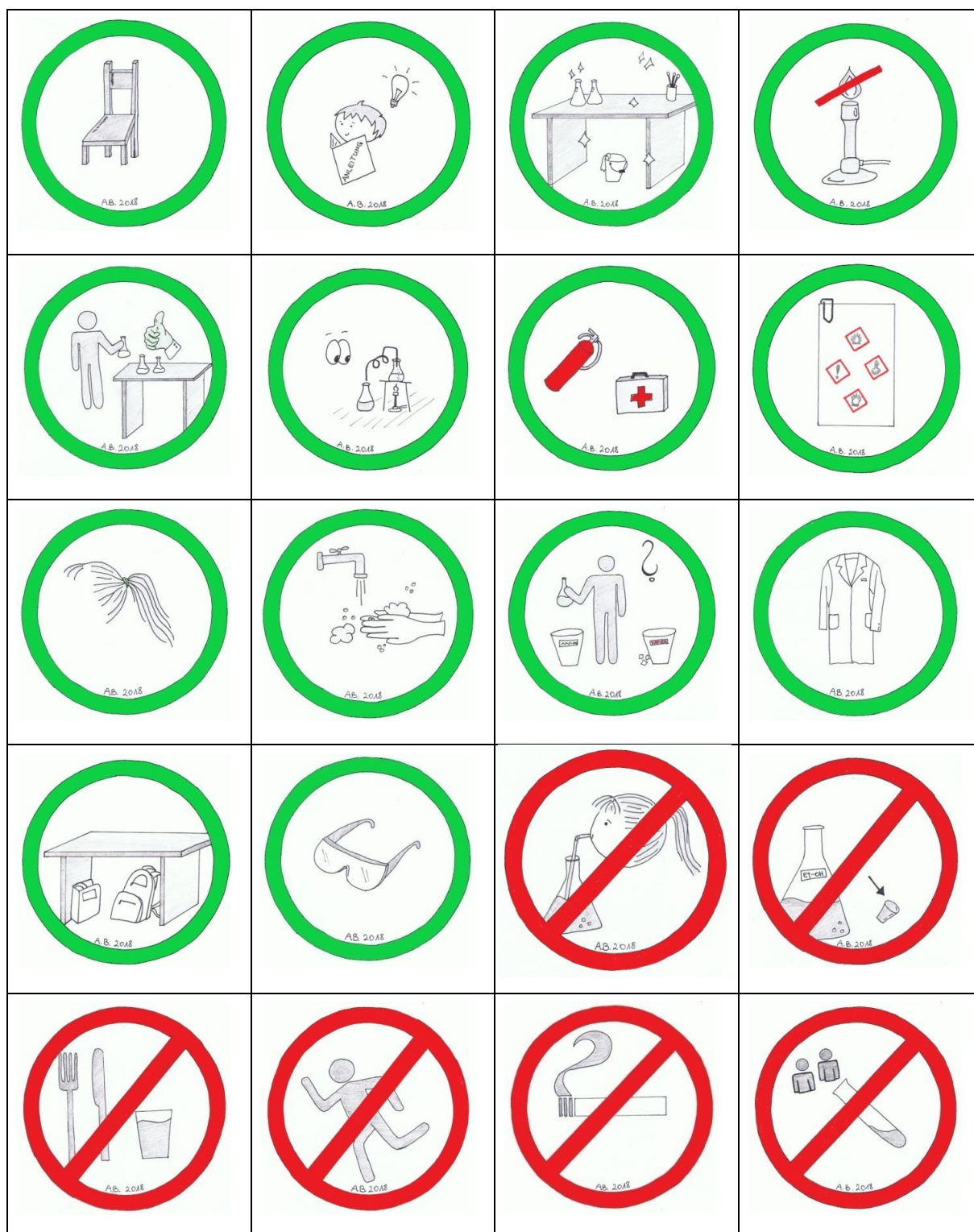
			
Ich darf im Chemiesaal nicht rauchen!	Ich darf im Chemiesaal nicht essen und trinken!	Ich darf keine Chemikalien kosten!	Ich muss Lange Haare beim Experimentieren als Zopf tragen!
			
Wenn vorgeschrieben, muss ich eine Schutzbrille tragen!	Wenn vorgeschrieben, muss ich einen Labormantel tragen!	Ich muss auf Gefahrenhinweise achten!	Ich darf die Reagenzglasöffnung nicht auf Andere richten!
			

³ Die Bilder für das vorliegende Memory wurden von der Verfasserin dieser Diplomarbeit gezeichnet und auch für die folgenden Lernspiele sowie die Laborordnung in Anhang 3 verwendet. Sie stehen zur Verwendung frei zur Verfügung.

Ich muss mir nach dem Experimentieren die Hände waschen!	Ich muss meinen Arbeitsplatz sauber verlassen!	Ich muss meine Arbeitsanweisungen genau lesen!	Ich muss Abfälle nach Vorschrift trennen/entsorgen!
			
Ich muss den Laborbrenner nach Verwendung ausschalten!	Ich muss mein Experiment beaufsichtigen!	Ich darf Chemikalienflaschen nicht offen stehen lassen!	Ich darf im Chemiesaal nicht laufen!
			
Ich muss meine Schultasche so verstauen, dass niemand stolpert!	Ich darf nur auf dem Sessel, nicht auf dem Tisch sitzen!	Ich muss wissen, wo sich Erste-Hilfe-Kasten und Feuerlöscher befinden!	Ich darf mir Chemikalien nur mit Erlaubnis der Lehrperson holen!

Anhang 6: Memory 2 – Kopiervorlage

Pro Spiel muss die Vorlage 2x ausgedruckt, die Karten ausgeschnitten und foliert werden.



Anhang 7: Tabu im Labor – Kopiervorlage

Pro Spiel muss die Vorlage 1x ausgedruckt, die Karten ausgeschnitten und foliiert werden.

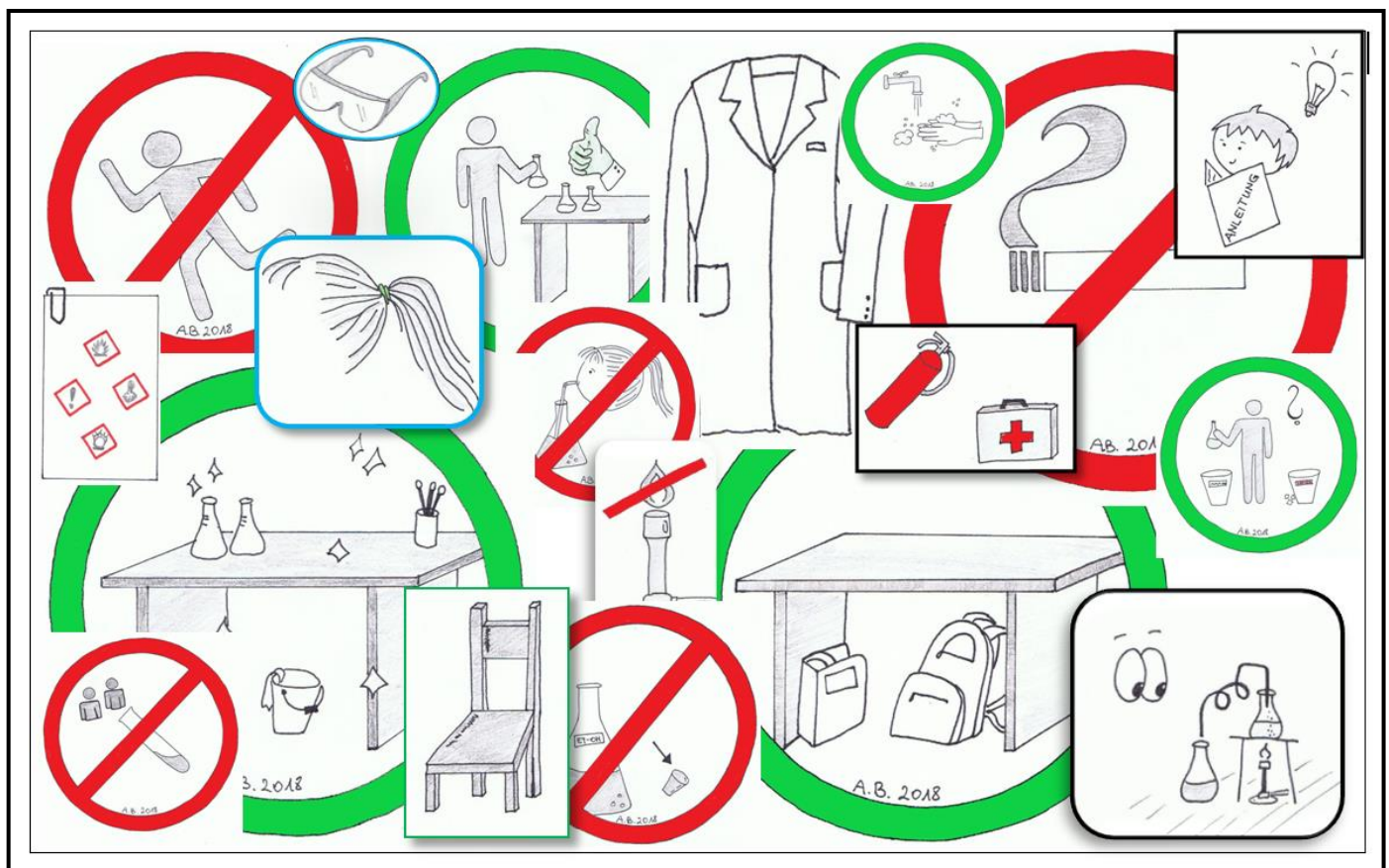
Ich darf im Chemiesaal nicht rauchen! • Zigarette, Chick, usw. • Qualm • Aschenbecher • Nikotin	Ich darf im Chemiesaal nicht essen und trinken! • Jause • Flasche • Durst • Hunger	Ich darf keine Chemikalien kosten! • Probieren • Geschmack • Essen • Trinken
Ich muss lange Haare beim Experimentieren als Zopf tragen! • Offen • Feuer • Haarband • Kurz	Wenn vorgeschrieben, muss ich eine Schutzbrille tragen! • Sehen • Augen • Gefahr • Aufsetzen	Wenn vorgeschrieben, muss ich einen Labormantel tragen! • Schutz • Anziehen • Flecken • Weiß
Ich muss auf Gefahrenhinweise achten! • Ätzend • Giftig • Zeichen • H- und P-Sätze	Ich darf die Reagenzglasöffnung nicht auf Andere richten! • Erhitzen • Siedeverzug • Zielen • Gesicht	Ich muss mir nach dem Experimentieren die Hände waschen! • Wasser • Sauber • Seife • Waschbecken

Ich muss meinen Arbeitsplatzsauberverlassen ! • Putzen • Abwischen • Aufräumen • Flecken	Ich darf im Chemiesaal nicht laufen! • Schnell • Zusammenstoß • Langsam • Gehen	Ich muss Abfälle nach Vorschrift entsorgen! • Müll • Trennen • Mist • Wegwerfen
Ich muss den Laborbrenner nach Verwendung ausschalten! • Flamme • Gashahn • Feuer • Fertig	Ich muss mein Experiment immer beaufsichtigen! • Weggehen • Alleine • Aufmerksamkeit • hinschauen	Ich darf Chemikalienflaschennichtoffen stehen lassen! • Deckel • Geschlossen • Ausrinnen • Dicht
Ich muss meine Schultasche so verstauen, dass niemand stolpert! • Tisch • Aufräumen • Verstecken • Hinstellen	Ich darf nur auf dem Sesselsitzen! • Tisch • Sofa • Lehnen • Füße	Ich muss wissen, wo sich Erste-Hilfe-Kasten und Feuerlöscher befinden! • Notfall • Helfen • Standort • Brand

Anhang 8: Laborordnung – Suchpuzzle – Kopiervorlage

Pro Spiel muss die Vorlage 1x ausgedruckt, in mehrere Teile geteilt (Anzahl individuell wählbar) und foliiert werden. Die Liste für Gebote und Verbote muss in Klassenstärke bereitgelegt werden.

Variante: Wenn die Lernenden das Puzzle behalten sollen, kann dieses ebenfalls in Klassenstärke gedruckt und nicht foliiert werden. Es kann dann gemeinsam mit der Liste ins Heft geklebt werden.



Laborordnung



Gebote – das MUSS ich im Labor beachten!



Verbote – das DARF ich im Labor NICHT tun!

Lösung zum Suchpuzzle



Gebote – das MUSS ich im Labor beachten!

Ich muss lange Haare als Zopf tragen.

Ich darf nur auf dem Sessel, nicht am Tisch sitzen.

Ich muss eine Schutzbrille tragen, wenn das vorgeschrieben ist.

Ich muss einen Labormantel tragen, wenn das vorgeschrieben ist.

Ich muss den Laborbrenner nach Gebrauch ausschalten.

Ich muss mein Experiment immer im Auge behalten.

Ich muss Abfälle nach Vorschrift trennen.

Ich darf Chemikalien nur mit Erlaubnis holen.

Ich muss meinen Arbeitsplatz sauber verlassen.

Ich muss die Gefahrensymbole beachten.

Ich muss wissen, wo sich Feuerlöscher und Erste-Hilfe-Koffer befinden.

Ich muss die Arbeitsanleitung genau lesen

Ich muss meine Schulsachen so verstauen, dass niemand stolpert.

Ich muss mir nach dem Experimentieren die Hände waschen.



Verbote – das DARF ich im Labor NICHT tun!

Ich darf im Chemiesaal nicht rauchen.

Ich darf im Chemiesaal nicht essen und trinken.

Ich darf im Chemiesaal nicht laufen.

Ich darf keine Chemikalien kosten.

Ich darf die Reagenzglasöffnung nicht auf Andere richten!

Ich darf Chemikalien nicht offen stehen lassen.

Anhang 9: Herstellung von Schwefeleisen – Sekundarstufe (I + II)

Benötigte Materialien	Benötigte Chemikalien
2 Bechergläser (ca. 50 ml)	1,4 g Eisenpulver
2 Spatel	0,8 g Schwefelpulver
1 Reibschale	
1 hitzebeständiges Reagenzglas	
2 herkömmliche Reagenzgläser + Reagenzglasständer	
1 Pulvertrichter	
1 Stativ + 1 Stativklemme	
Bunsenbrenner + Feuerzeug	

- Stelle den Bunsenbrenner unter das Stativ und bringe die Klemme etwa 10 cm über dem Brenner an.
- Wiege Schwefel und Eisen in je ein Becherglas ein. (vergiss nicht die Gläser zu beschriften)
- Schütte beide Chemikalien in einem Becherglas zusammen und vermenge sie.
- Gib eine Spatelspitze des Gemisches in ein Reagenzglas und füge etwas Wasser dazu.
- Stell das Reagenzglas in den Ständer. (Beschrifte das Glas mit der Nummer 1.)
- Fülle den Rest des Gemisches möglichst vollständig in das hitzebeständige Reagenzglas.
- Spanne das Reagenzglas in die Klemme ein und erhitze das es über der Brennerflamme, bis das Gemisch zu glühen beginnt.
- Schalte den Brenner aus und warte, bis das Glühen wieder aufhört.
- Lass das Glas von der Lehrperson aufschlagen.
- Zerreiße einen Teil des Produkts in der Reibschale.
- Fülle das Produkt in ein weiteres Reagenzglas und füge etwas Wasser hinzu.
- Vergleiche nun die beiden mit Wasser versetzten Proben.
- Notiere all deine Beobachtungen.

Anhang 10: Herstellung von Eisen(II)sulfid



Aufgabenstellung: Erzeuge 11g Eisen(II)sulfid (FeS).

Berechne wie viele Gramm Eisen und wie viele Gramm Schwefel du dazu benötigst. Verwende dazu die Molmassen aus der untenstehenden Tabelle. Zeige deine Berechnungen der Lehrperson. Wiege anschließend die Chemikalien ein und führe den Versuch durch. Überprüfe deine Ausbeute durch wiegen des Produkts.

M (FeS) = 78,91 g/mol	M (Fe) = 55,85 g/mol	M (S ₈) = 32,07 g/mol
-----------------------	----------------------	-----------------------------------

Berechnung:

Durchführung: [45]

- Schütte beide Chemikalien in einem Becherglas zusammen und vermenge sie.
- Fülle das Gemisch möglichst vollständig in das hitzebeständige Reagenzglas.
- Erhitze das Reagenzglas über der Brennerflamme, bis das Gemisch zu glühen beginnt.
(verwende die Tiegelszange zum Halten des Glases)
- Schalte den Brenner aus und warte, bis das Glühen wieder aufhört.
- Lass das Glas von der Lehrperson aufschlagen.
- Überprüfe ob sich darin noch Edukte befinden.
- Notiere all deine Beobachtungen.

Beobachtungen:

Anhang 11: Zucker ist nicht gleich Zucker

Benötigte Materialien	Benötigte Chemikalien
3 Schnappdeckelgläser (mit Deckel)	Kaliumpermanganat-lösung 5%
1 Spatel	Natriumcarbonat
1 Einwegpipette	Glucose
1 Spritzflasche	Saccharose
	Dest. Wasser



Durchführung: [69]

- Nummeriere die Gläser von 1 bis 3.
- Fülle jedes Schnappdeckelglas etwa zur Hälfte mit Wasser.
- Fülle in das erste Glas 1 Spatel voll Glucose und in das zweite Glas Saccharose und löse beide durch Schütteln auf.
- Tropfe in alle drei Gläschen etwa 3 Tropfen Kaliumpermanganat-lösung und schüttle erneut.
- Gib in jedes Gläschen eine Spatelspitze Soda. (Nicht mehr schütteln!!!)
- Notiere deine Beobachtungen.

Beobachtungen:

Erkenntnisse: