

Nicole Kunze

Chemistry and Cinema

Das Projekt ChemCi:
Ein modifizierter Anchored Instruction-Ansatz
zur Entwicklung von motivierenden und
experimentellen Unterrichtseinheiten
im Kontext von Spielfilmen



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Chemistry and Cinema – Das Projekt ChemCi: Ein modifizierter Anchored Instruction-Ansatz zur Entwicklung von motivierenden und experimentellen Unterrichtseinheiten im Kontext von Spielfilmen





**Chemistry and Cinema – Das Projekt ChemCi: Ein
modifizierter Anchored Instruction-Ansatz zur
Entwicklung von motivierenden und
experimentellen Unterrichtseinheiten im Kontext
von Spielfilmen**

Von der Pädagogischen Hochschule Freiburg
zur Erlangung des Grades
einer Doktorin der Philosophie (Dr. phil.)

genehmigte Dissertation
von
Nicole Kunze

aus
Crailsheim



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2013
Zugl.: Freiburg, Univ., Diss., 2012

978-3-95404-354-5

Promotionsfach: Chemie

Erstgutachter: Prof. Dr. Marco Oetken

Zweitgutachter: Prof. Dr. Jens Friedrich

Tag der mündlichen
Prüfung: 05.11.2012

Umschlagabbildung:
Lukas Gawenda, 2010, Vulkanausbruch des Stromboli II

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2013
Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen
Telefon: 0551-54724-0
Telefax: 0551-54724-21
www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2013

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-95404-354-5



Für meinen Mann,
meinen Sohn
und meinen Vater.



Zuallererst möchte ich mich bei Prof. Dr. Marco Oetken und Prof. Dr. Jens Friedrich für die Vergabe des Themas, die Betreuung dieser Arbeit und die Unterstützung der letzten Jahre danken.

Weiterer Dank gilt dem ChemCi-Team, Dr. Isabel Rubner, Silia Fürniss, Prof. Dr. Jens Friedrich und Prof. Dr. Marco Oetken für die Zusammenarbeit und den Austausch innerhalb des Projekts.

Zusätzlich möchte ich mich bei den Mitarbeitern der Abteilung Chemie der Pädagogischen Hochschule Freiburg bedanken. Insbesondere bei Dr. Leena Bröll, für ihre immerwährende Hilfe und stetigen Rat, Dr. Thomas Zahn für seine fachlichen Tipps sowie menschliche Unterstützung, Ines Steinbach, Daniela Fanta und Silia Fürniss. Ohne die Hilfsbereitschaft und das Engagement aller wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Mein besonderer Dank gilt Anja Dockweiler, Birgit Montana, Isis Rosenberg und Kati Hundegger von den PH – Campinis für die liebevolle, zuverlässige und flexible Betreuung von Till.

Nicht vergessen möchte ich meine Freunde, Leena Bröll, Rebecca Haines, Angelika Peikert, Silvia und Benedikt Schwörer, Davina Fein, Anja Hamburger, Ines Hengl, Roswitha Löffler, Stefanie Doll und Lena Zydorek, die in den letzten Jahren eine große Stütze waren.

Danken möchte ich meiner Familie, besonders meinem Vater Franz Baur für sein Vertrauen und die stetige Unterstützung, meinen Schwiegereltern Luitgard und Michael Kunze, meiner Mutter Sabine Neidling-Graf und Peter Zang.

Mein letzter Dank gilt meinem Mann Jonas Kunze und meinem Sohn Till für ihre Liebe und die Kraft, die sie mir jeden Tag geben.



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Voraussetzungen für das Projekt Chemistry and Cinema - ChemCi	4
2.1 Eine neue Herangehensweise an Unterricht: Lernen ist situativ, sozial und konstruktiv	4
2.2 Anchored Instruction als moderne Unterrichtsmethode	9
2.3 Motivation und Interesse als Bedingung für nachhaltiges Lernen	15
3. Das Projekt ChemCi	
3.1. Das Projekt ChemCi – ein modifizierter Anchored Instruction-Ansatz unter Nutzung vorhandener Filmressourcen	19
3.2 Die Verwendung von Spielfilmen zur Unterstützung der Lehre in den Naturwissenschaften	21
3.3 Rechtliche Grundlagen zur Verwendung von Spielfilmsequenzen im Unterricht	23
3.4 KMK Kompetenzen und ChemCi – Passung des Projekts zum Bildungsplan von 2004	25
3.4.1 Kompetenzen für den naturwissenschaftlichen Unterricht an Realschulen / Sekundarstufe I	25
3.4.2 Kompetenzen für den naturwissenschaftlichen Unterricht an Gymnasien Sekundarstufe II – 2- und 4-stündige Kursstufe	29
4. ChemCi-Unterrichtskonzeptionen	35
4.1 „Dantes Peak I“ – Eine Unterrichtskonzeption zur Thematisierung von Säuren, der Säureentstehung und der Säurestärke für die Sekundarstufe I	35
4.1.1 Filmbeschreibung „Dante´s Peak“ und Szenenüberblick	35
4.1.2 Fachwissenschaftliche Hintergründe zu „Dante´s Peak I“	37
4.1.3 Didaktische Anmerkungen zu „Dante´s Peak I“	42
4.1.4 Unterrichtseinheit „Dantes Peak I“	45
4.1.5 Tabellarischer Überblick der Unterrichtseinheit „Dante´s Peak I“	54
4.2 „Dantes Peak II“ - Eine Unterrichtskonzeption zur Thematisierung von Säuren, der Säureentstehung, dem chemischen Gleichgewicht und der Säurestärke für die Sekundarstufe II	58
4.2.1 Fachwissenschaftliche Hintergründe der	58



Unterrichtseinheit „Dante´s Peak II“	
4.2.2 Didaktische Anmerkungen zu „Dantes Peak II“	61
4.2.3 Unterrichtseinheit „Dantes Peak II“	63
4.2.4 Tabellarischer Überblick der „Dante´s Peak II“	69
4.2.5 Unterrichtskonzeption Kontrollgruppe	70
4.2.6 Tabellarischer Überblick der Unterrichtseinheit Kontrollgruppe	74
4.3 „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“- Das Thema Apnoetauchen als fächerverbindender Unterrichtgegen- stand in den Fächern Chemie, Biologie und Physik für die Sekundarstufe I	76
4.3.1 Filmbeschreibung und Szenenüberblick „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“	76
4.3.2 Fachwissenschaftliche Hintergründe der Unterrichtseinheit „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“	78
4.3.3 Didaktische Anmerkungen zur Unterrichtseinheit „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“	83
4.3.4 Unterrichtseinheit „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“	88
4.3.5 Tabellarischer Überblick der Unterrichtseinheit „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“	101
4.4 „Men of Honor“ - Das Thema Tauchen mit Druckgas- flaschen als Unterrichtsgegenstand zur Erarbeitung der Gasgesetze für die Sekundarstufe II	104
4.4.1 Filmbeschreibung „Men of Honor“ und Szenenüberblick	104
4.4.2 Fachwissenschaftliche Hintergründe „Men of Honor“	105
4.4.3 Didaktische Anmerkungen zur Unterrichtseinheit „Men of Honor“	108
4.4.4 Unterrichtseinheit „Men of Honor“	110
4.4.5 Tabellarischer Überblick der Unterrichtseinheit „Men of Honor“	116
4.5 „Das Boot“ und „Apollo 13“ – Eine Unterrichtseinheit zur Kohlenstoffdioxidadsorption an KOH und LiOH sowie Stöchiometrie für die Sekundarstufe II	118
4.5.1 Filmbeschreibung und Szenenüberblick „Das Boot“ und „Apollo 13“	118
4.5.2 Fachwissenschaftliche Hintergründe „Das Boot“ und „Apollo 13“	121
4.5.3 Didaktische Anmerkungen zur Unterrichtseinheit „Das Boot“ und „Apollo 13“	125
4.5.4 Unterrichtskonzeption „Das Boot“ und „Apollo 13“	126
4.5.5 Tabellarischer Überblick der Unterrichtseinheit „Das Boot“ und „Apollo 13“	131



4.6 „James Bond – Feuerball“ – Eine Unterrichtseinheit über die überraschenden Eigenschaften von Kaliumhydroperoxid für die Sekundarstufe II	133
4.6.1 Filmbeschreibung und Szenenüberblick „James Bond: Feuerball“	133
4.6.2 Fachwissenschaftliche Hintergründe „James Bond: Feuerball“	134
4.6.3 Didaktische Anmerkungen zur Unterrichtseinheit „James Bond: Feuerball“	137
4.6.4 Unterrichtseinheit „James Bond: Feuerball“	139
4.6.5 Tabellarischer Überblick	149
4.7. „Abyss“, „Im Rausch der Tiefe“, „Freediver“ und „James Bond jagt Dr. No“ – Weitere spannende Möglichkeiten für fächerübergreifenden Unterricht im Themengebiet Tauchen	150
4.7.1 Filmbeschreibungen und Szenenüberblick	150
4.7.2 Experimente aus dem Themengebiet Tauchen	158
4.8 Die Chemie der Dauerwelle - Eine Unterrichtseinheit zur alltagsrelevanten Erarbeitung der Redoxchemie in der Sekundarstufe II	168
4.8.1 Fachwissenschaftliche Hintergründe zum Themengebiet Dauerwelle	168
4.8.2 Didaktische Anmerkungen der Unterrichtseinheit „Dauerwelle“	173
4.8.3 Die Chemie der Dauerwelle: Redoxchemie einmal anders – Verlauf der Unterrichtseinheit	177
4.8.4 Tabellarischer Überblick der Unterrichtseinheit „Dauerwelle“	187
4.8.5 weitere Experimente zum Themengebiet Dauerwelle	189
5. Empirische Untersuchungen zu Unterrichtskonzeptionen „Dantes Peak I und II“	194
5.1 Hauptstudie „Dantes Peak“ für Gymnasien	194
5.1.1 Das Untersuchungsdesign	194
5.1.2 Ausgewählte Ergebnisse und Diskussion der Hauptstudie zu „Dante´s Peak II“	198
5.2 Fallstudie „Dantes Peak“ für die Sekundarstufe I an Realschulen	205
5.2.1 Ergebnisse und Diskussion der Fallstudie „Dante´s Peak“	205
6. Zusammenfassung und Ausblick	208
7. Verzeichnisse	
7.1 Abbildungsverzeichnis	211
7.2 Tabellenverzeichnis	216



7.3 Versuchsverzeichnis	218
7.4 Literaturverzeichnis	220
8. Anhang (auf CD)	
8.1 Unterrichtsmaterialien	230
8.1.1 Dantes Peak I	230
8.1.2 Dantes Peak II - Experimentalgruppe	253
8.1.3 Dantes Peak II - Kontrolleinheit	269
8.1.4 Im Rausch der Tiefe	292
8.1.5 Das Boot / Apollo 13	341
8.1.6 Men of Honor	349
8.1.7 Feuerball	362
8.1.8 Dauerwelle	377
8.2 Fragebögen	406
8.2.1 Fragebogen Umfrage Tauchen	406
8.2.2 Fragebogen Fallstudie „Dante’s Peak I“	408



1. Einleitung

Es ist keine neue Erkenntnis, dass der Chemieunterricht bei Schülerinnen und Schülern nicht sonderlich beliebt ist (Woest, 1997). Chemie gehört seit dem Jahr 1905 zu den weniger beliebten bzw. unbeliebten Schulfächern (Pfeiffer, Lutz & Bader, 2002). Diese langjährige Unbeliebtheit hat verständlicherweise auch Konsequenzen auf die Leistungen der Lernenden. Nach Graf (2000) bleiben für deutsche Schülerinnen und Schüler die naturwissenschaftlichen und insbesondere die chemischen Sicht- und Denkweisen ein Buch mit sieben Siegeln. Dies erscheint insbesondere dramatisch, da *„eine reflektierte Teilhabe an der modernen Welt ohne naturwissenschaftliche Grundbildung nicht möglich ist.“* (MNU, 2002a, S.4)

Die Chemielernenden scheinen ein Drittel der Unterrichtszeit kognitiv inaktiv zu bleiben und sich von den Inhalten lediglich berieseln zu lassen (Tobin, 1990).

Gelernt wird ausschließlich, um gute Noten zu erhalten und nicht aus intrinsischer Motivation heraus. Der Chemieunterricht schafft so keine Basis zum lebenslangen Lernen (Schmidkunz, 1992). Nach Pintrich (1992) resultieren diese Defizite aus den kognitiven und motivationalen Voraussetzungen der Schüler sowie aus dem Chemieunterricht selbst.

In Kapitel 2.1 der vorliegenden Arbeit werden deshalb der Lernprozess und die dabei notwendigen Voraussetzungen beleuchtet und in Zusammenhang mit der großen bildungspolitischen Konsequenz aus Pisa und TIMMS, dem aktuellen Bildungsplan von 2004, gebracht.

Doch woraus resultiert diese Ablehnung des Chemieunterrichts? Eine Schülerin der 12. Klasse eines Gymnasiums fasst ihre Einschätzung wie folgt zusammen: *„Viele Leute denken ja mit Chemie können sie eh nichts anfangen, weil das nur Formeln sind und Reaktionsgleichungen und abstrakte Inhalte.“*

In der Gesellschaft wird der Begriff Chemie oft gleichbedeutend mit „nicht natürlich“, „ungesund“ und „gefährlich“ verwendet, so dass eine Beschäftigung mit den Inhalten als nicht besonders attraktiv erscheint.

Zudem kann eine generelle Abnahme des Interesses der Jugendlichen am Schulunterricht und die Konzentration auf außerschulische Aktivitäten (Maier, 2002) beobachtet werden. Betrachtet man die Interessen der Jugendlichen genauer, so stehen Internet, Fernsehen und Kino nach wie vor hoch im Kurs. Bemerkenswert ist, dass heutzutage 96% der Jugendlichen Zugang zum Internet haben und diesen jeden Tag nutzen (Shell, 2010).

„Die Medien haben einen erheblichen Einfluss auf die Motivation und die Motivierbarkeit der Schülerinnen und Schüler. [...] Die Berücksichtigung der medialen Umwelt ist elementare Voraussetzung für eine gelingende Motivation. [...] Will



man die Kinder und Jugendliche dort abholen, wo sie sich befinden, so ist die mediale Umwelt ein zentraler Ausgangspunkt.“ (Poelchau, 2004)

Warum also nicht die Lernenden dort greifen, wo sie stehen und eine ihrer größten Interessen in den naturwissenschaftlichen Unterricht integrieren? Warum nicht aus dem „Fluch“ der letzten Jahre einen „Segen“ für den Chemieunterricht schaffen?

Als Konsequenz wurden in den letzten Jahren bereits erhebliche Anstrengungen unternommen, den Chemieunterricht für die Schülerinnen und Schüler interessanter zu gestalten. Dabei herrscht insbesondere Einigkeit darüber, dass ein an Alltagserfahrungen ausgerichteter Unterricht das Interesse und die Motivation für den Chemieunterricht bei den Schülerinnen und Schülern steigern kann (Osborne & Collins, 2001).

Die Lernenden interessieren sich dabei besonders für die Anwendung und den lebenspraktischen Nutzen der Naturwissenschaften (Häußler, Bündler, Duit, Gräber & Mayer, 1998). Deshalb beschäftigt sich Kapitel 2.3 der Arbeit, nach Klärung der Begriffe Motivation und Interesse in Kapitel 2.2, mit der Methode Anchored Instruction (nach Vanderbilt), einer Variante des modernen motivationssteigernden Unterrichts.

Die Idee durch einen modifizierten Anchored Instruction-Ansatz (nach ChemCi) eine Motivationssteigerung bei den Lernenden zu erreichen, wird im 3. Kapitel der Arbeit aufgezeigt und mit den für Baden-Württemberg gültigen Bildungsplänen verglichen. Im 4. Kapitel folgen unterrichtspraktische Realisierungen für den naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe I und II. Dabei werden Unterrichtseinheiten für die Sekundarstufe I und II zu „**Dantes Peak**“ und der Chemie der Säuren vorgestellt und anhand der Filme „**Im Rausch der Tiefe**“ und „**Freediver**“ das Apnoetauchen als fächerverbindender Unterrichtgegenstand in den Fächern Chemie (reversible Reaktion von Kohlenstoffdioxid und Wasser), Biologie (Lunge) und Physik (Druck) für die Sekundarstufe I thematisiert. Mit dem Spielfilm „**Men of Honor**“ wird neben dem Helmtauchen, das Tauchen mit Pressluftflaschen und damit verbunden die Gasgesetze von Boyle-Mariotte, Gay-Lussac und Amontons erarbeitet. Die Spielfilme „**Das Boot**“ und „**Apollo 13**“ liefern einen spannenden Hintergrund für die Erarbeitung der Kohlenstoffdioxidadsorption an KOH und LiOH sowie der damit verbundenen Stöchiometrie für die Sekundarstufe II. Die daraus resultierende technische Weiterentwicklung zu Tauchrettern auf Kaliumhyperoxidbasis ist Bestandteil einer Unterrichtseinheit für die Sekundarstufe II basierend auf dem Filmklassiker „**James Bond – Feuerball**“.



Einen alltagsorientierten Zugang zur Redoxchemie bietet abschließend das Themengebiet der **Dauerwelle**.

Eine empirische Überprüfung dieses neuen modifizierten Anchored Instruction-Ansatzes nach ChemCi ist unverzichtbar. So werden die wichtigsten Ergebnisse der Hauptstudie zu „Dantes Peak“ für die Sekundarstufe II sowie einer Fallstudie zu „Dantes Peak“ für die Sekundarstufe I in Kapitel 5 vorgestellt, ausgewertet und diskutiert.

Die Arbeit schließt mit einer kurzen Zusammenfassung sowie einem Ausblick auf weitere mögliche Themenbereiche und zur Verwendung im Unterricht geeignete Filme.

2. Voraussetzungen für das Projekt Chemistry and Cinema - ChemCi

2.1 Eine neue Herangehensweise an Unterricht: Lernen ist situativ, sozial und konstruktiv

„Es ist nicht genug zu wissen, man muss es auch anwenden. Es ist nicht genug zu wollen, man muss es auch tun.“ (Johann Wolfgang von Goethe)

In den letzten Jahren hat sich die Sicht auf Lernen in Unterricht und Schule stark verändert.

Stand früher die Vermittlung der Inhalte im Vordergrund, so fokussiert man heute eher Strategien und Kompetenzen, die universell einsetzbar sind. Die Lernumgebung und die Vernetzung des Gelernten mit Vor- und Alltagswissen rücken deutlich in den Vordergrund. Diese Entwicklungen wurden auch dem Bildungsplan 2004 zu Grunde gelegt (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden Württemberg, 2004)

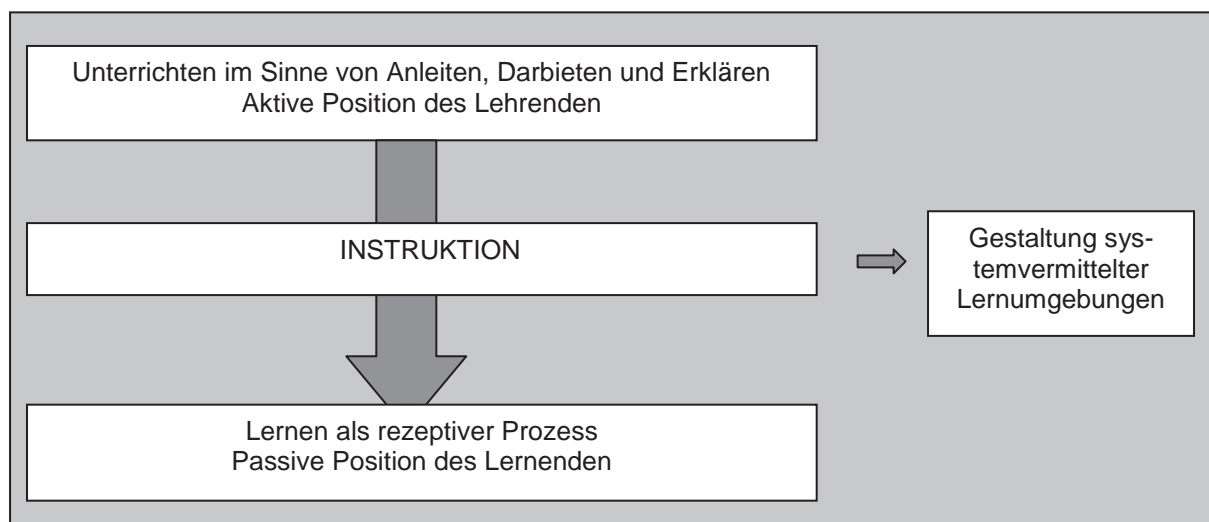


Abbildung 1: Lernen durch Instruktion (verändert nach: Mandl, 1995, S. 28)

Frühere Sichtweisen verstanden den Unterrichtsprozess als ein Darbieten und Erklären von Unterrichtsinhalten durch eine Lehrperson. Den Schülerinnen und Schülern kam dabei eine passive Rezipientenrolle zu. Lernen galt hierbei als einseitige Entsprechung des Lehrens. Der Lernende und seine Voraussetzungen, Interessen und seine Motivation wurden in dieser Sichtweise des Unterrichts vernachlässigt.

Der moderne Unterricht basiert hingegen auf den Grundgedanken des Konstruktivismus bzw. des situierten Lernens. Er bedient sich positiver Aspekte der Heterogenität, wirkt stärker motivierend auf die Lernenden und er ermöglicht neue Vernetzungen des Wissens durch Quer- und Rückbezüge des Gelernten.

„Lehren ist nicht die Vermittlung und Lernen ist nicht die Aneignung eines extern vorgegebenen „objektiven“ Zielzustandes, sondern Lehren ist die Anregung des Sub-



jekts, seine Konstruktionen von Wirklichkeit zu hinterfragen, zu überprüfen, weiterzuentwickeln, zu verwerfen, zu bestätigen etc.“ (Werning, 1998, S. 39)

Um die Veränderungen auf die Betrachtung des Lernens und den Unterricht durch den Konstruktivismus einordnen zu können, ist es wichtig zu beachten, dass *„der Konstruktivismus keine einheitliche Schule oder Denkrichtung sondern eher als Diskurs oder Diskussionszusammenhang zu verstehen ist.“* (Lindemann, 2006, S. 13) Dadurch ist Konstruktivismus ein Sammelbegriff, der schwierig zu durchleuchten und einzuordnen ist. Allen Abstufungen des Konstruktivismus gemein ist die Ansicht, dass die Wirklichkeit kein Abbild der Realität ist, sondern ein Ergebnis der aktiven Erkenntnisleistung. Jeder Mensch konstruiert sich dabei seine eigene Wirklichkeit (v. Ameln, 2004).

Die Wahrnehmung eines Menschen ist ein Konstrukt aus seinen gemachten Erfahrungen, seinem Wissen und auch seinen Erwartungen. Alles Wahrgenommene wird unausweichlich interpretiert (Lindemann, 2008).

Als Lehrperson darf man im Unterricht nicht erwarten, dass alle Schüler das Gleiche in der gleichen Intensität und Zeit lernen. Durch die Heterogenität der Schülerinnen und Schüler ist ein ebenso heterogenes Lernergebnis zu erwarten. Aktuelle Entwicklungen der Pädagogik und der Didaktik zeigen hier eine neue Sichtweise und zugleich Chance für den Unterricht auf. Unterschiedlichkeiten können gewinnbringend für die gesamte Gruppe eingesetzt, neue Aspekte beleuchtet und der Erfahrungsschatz bereichert werden.

Für diesen Lernprozess sollen die Schülerinnen und Schüler heute möglichst nachhaltig begeistert und motiviert werden. Um diesen Anforderungen zu entsprechen, muss eine Lehrperson, die nach konstruktivistischen Gesichtspunkten unterrichten möchte, eine Grundhaltung einnehmen, *„die bestimmt ist durch Autonomie, Respekt, Wertschätzung, Neugierde, Koevolution und Eigenverantwortung.“* (Voss, 2005, S. 9) Die Lehrperson vollzieht dabei die Entwicklung vom wissenden Experten zum Entwicklungsbegleiter.

Für die Schule am interessantesten, da von gemäßigten Konstruktivisten für den Schulunterricht entworfen, ist die Sichtweise der „situated cognition“, das situierte Lernen. Dabei wird Lehre im Gegensatz zum radikalen Konstruktivismus *„nicht überflüssig aber ihre Funktionen haben sich verändert. Hauptziel der Lehre ist, anregende Lernsituationen zu konstruieren.“* (Siebert, 2008, S. 125)

Situiertes Lernen im Schulunterricht kann beschrieben werden als *„Kooperatives Lernen an authentischen Problemen unter Zuhilfenahme moderner Medien. Situiert nennt man es, weil die Einbettung des Lernstoffs in ein authentisches Problem und in eine Lerngruppe als das Wesentliche daran verstanden wird.“* (Bovet, 2008, S.253)



Von situiertem Unterricht verspricht man sich zudem die Vermeidung von „trägem Wissen“. „Inert knowledge“, das oft auch als „*Kluft zwischen Wissen und Handeln*“ (Renkl, 1994, S. 196) beschrieben wird, ist ein Problem, das in den Schulen lange bekannt ist und um dessen Lösung man sich bereits lange bemüht.

Oft erreichen Schüler ein recht umfangreiches Fachwissen, sind aber nicht in der Lage dieses in den entscheidenden Situationen und außerhalb des Unterrichts anzuwenden.

“They may be able to answer direct questions about content they have been taught, but still lack the ability to spontaneously use it in any other context, despite its relevance. When this happens, the students’ knowledge remains inert.” (CTGV, 1997, S.6)

Die Ursachen für das Phänomen des „trägen Wissens“ werden zum einen in der fehlenden intrinsischen Motivation der Schüler gegenüber ihren Lerngegenständen (Renkl 1996, Gruber & Renkl 2000, Renkl, Mandl & Gruber 1996), aber auch in der fehlenden Passung von Lernsituation und Anwendungssituationen (Clancy, 1993) vermutet.

„New information is treated as facts to be learned rather than as knowledge to be used.” (CTGV, 1997, S.25)

Im traditionellen Unterricht wurde dies lange Zeit zu wenig berücksichtigt, es kann von einer „*Negation der strukturellen und funktionalen Verwandtschaft von Denken und Handeln*“ (Aebli, 1980, S.15) gesprochen werden.

„Wo der nötige Handlungsbezug fehlt, kann Wissen zwar vorhanden sein, wird aber nicht immer verstanden und ist deshalb in verschiedenen Kontexten nicht flexibel einsetzbar.“ (Schmidt, 2000, S. 18)

Wissen ist somit nichts Abstraktes, das unabhängig von der Situation gesehen werden kann, in der es erworben wurde, es bleibt immer untrennbar mit dieser verbunden. Deshalb ist das Lernumfeld ebenso wichtig wie der vermittelte Inhalt. Alltagsbezüge und das Erkennen des persönlichen Nutzens sind unverzichtbar, um das Erlernete in andere Kontexte transferieren zu können.

“She is struggling to memorise names and facts about sub-phyla of animals that she has never seen, nor likely ever will. The information is dictated to her. Her obligation is to memorise and regurgitate it. She will forget it almost immediately, because she has no personal need to know it in the first place.” (Brown, 2008)

Nach Mandl ist es nur möglich *„Lernprozesse zu initiieren und dann weitgehend zu unterstützen, [...] wenn die vermittelten Erfahrungen als subjektiv relevant und als authentisch wahrgenommen und verarbeitet werden.“* (Mandl & Gerstenmayer, 2000, S. 147)

Es wird deutlich, dass hier nicht das Ergebnis, sondern der Prozess des Lernens im Vordergrund steht. Es geht nicht darum möglichst viele Fakten auswendig zu lernen,



sondern darum selbstständig zu lernen, dadurch wird mehr Verantwortung auf den Schüler und die Schülerin übertragen. Das Schema des modernen, situierten Unterrichts sieht folgendermaßen aus:

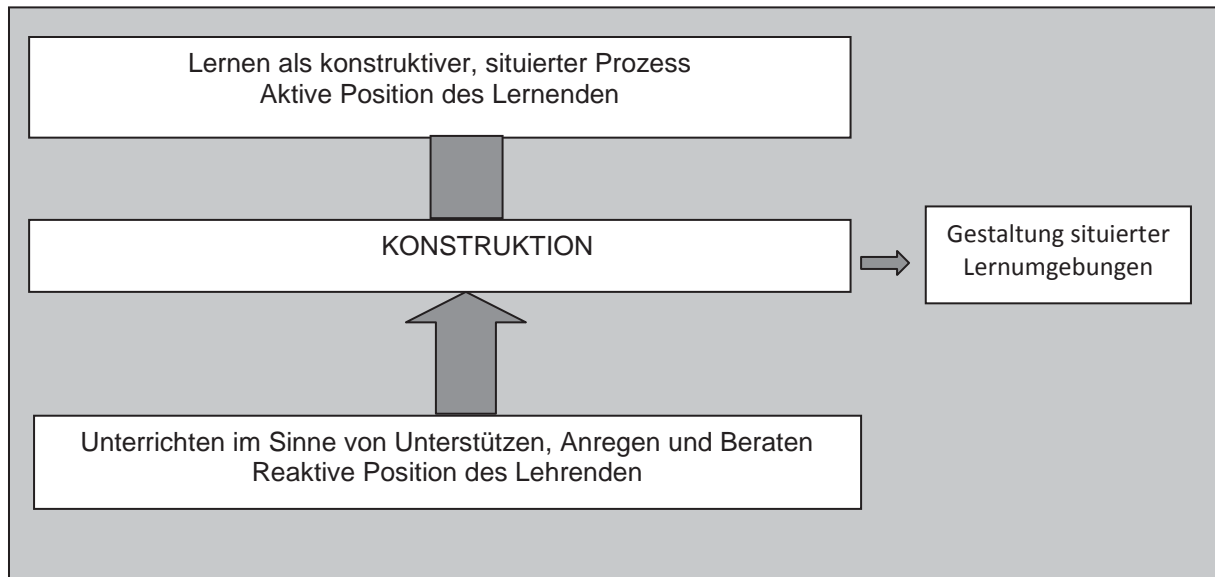


Abbildung 2: Lernen als Konstruktion (verändert nach: Mandl, 1995, S. 47)

Zusammengefasst lassen sich demnach die folgenden Basisannahmen zur Gestaltung von Lernumgebungen formulieren (Mandl, 1995, S. 48):

- 1) *Wissen ist unabgeschlossen und abhängig von individuellen und sozialen Konstruktionsprozessen.*
- 2) *Lernen erfolgt multidimensional und systematisch.*
- 3) *Lernen ist vor allem ein aktiver und konstruktiver Prozess.*
- 4) *Bei der Unterrichtsgestaltung stehen Fragen der Wissenskonstruktion im Vordergrund.*
- 5) *Die Lernenden dürfen so wenig wie möglich von außen gesteuert werden.*
- 6) *Die Lehrenden fungieren als Berater und Mitgestalter von Lernprozessen.*
- 7) *Individuelle Unterschiede von Lernenden sowie die Spezifität jeder Situation reduzieren die Wiederholbarkeit bewährter Unterrichtsformen.*
- 8) *Unterrichtsergebnisse sind nicht vorhersagbar.*
- 9) *Ziel von Unterricht: Die Lernenden denken und handeln wie Experten; spezifische Ziele ergeben sich aus der Bearbeitung authentischer Aufgaben.*

Um diesen Anforderungen für effektives Lernen gerecht zu werden, zeichnen sich situierte Ansätze durch die folgenden Charakteristika aus:

- *die Darstellung komplexer sozialer Realität (Komplexe Ausgangsprobleme),*
- *Situietheit*
- *die authentische Aktivität der Lernenden,*



- und die Präsentation multipler Perspektiven auf Probleme.
- Artikulation und Reflexion,
- Lernen im sozialen Austausch. (Mandl, Gruber & Renkl, 2002, 79-80)

Um diese Forderungen zu erreichen, entwickelten sich unterschiedliche Ansätze des situierten Lehrens und Lernens. In der Literatur am weitesten verbreitet sind die im Folgenden kurz dargestellten drei Ansätze, wobei auf den Anchored Instruction-Ansatz in Kapitel 2.2 noch einmal genauer eingegangen wird.

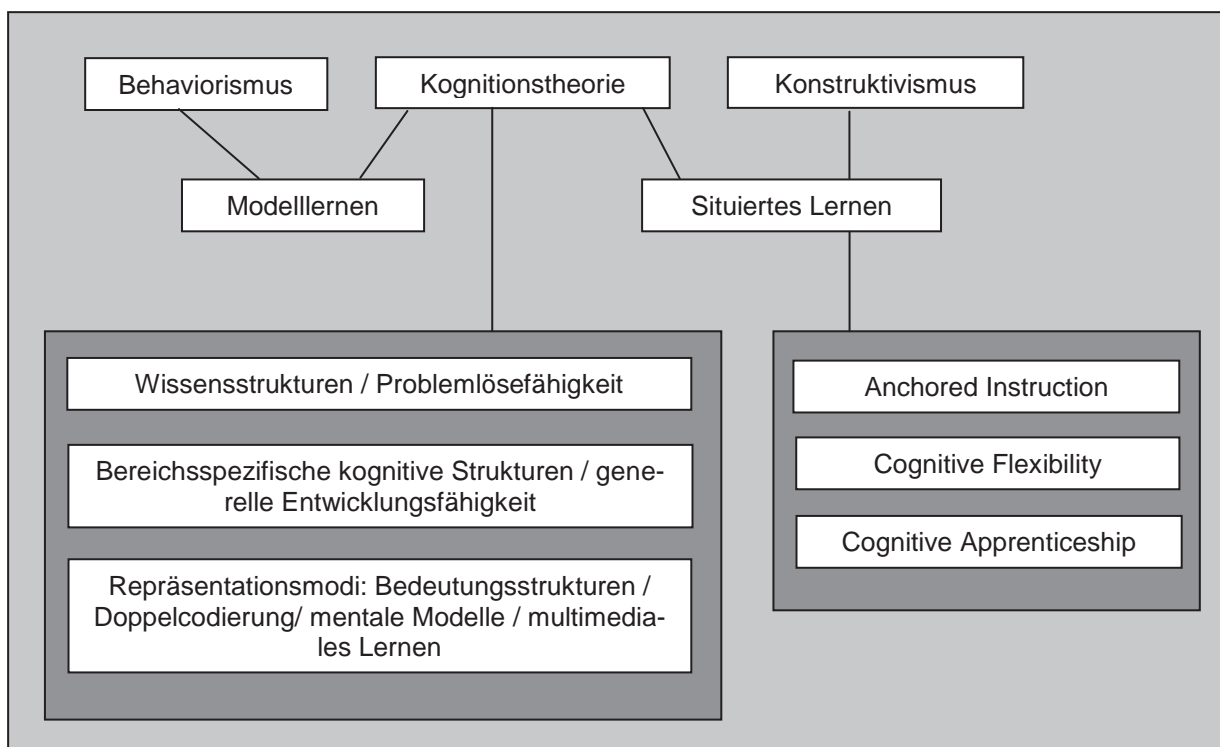


Abbildung 3: Übersicht lerntheoretischer Ansätze (Tulodziecki, Herzig & Grafe, 2010, S. 90)

Der **Cognitive Flexibility**-Ansatz zeichnet sich dadurch aus, dass die Lernenden dazu befähigt werden sollen, komplexe Probleme in fremden Situationen zu bearbeiten und dabei flexibel auf ihr Vorwissen zurückgreifen zu können. Dies wird durch das Arbeiten an unterschiedlichsten Fallbeispielen erreicht (Spiro, 2003).

Cognitive Apprenticeship-Ansätze vermitteln den Schülerinnen und Schülern Experten-Problemlösestrategien. Sie beobachten dabei die Lehrperson, ahmen seine Handlungen nach und verbalisieren ihr Vorgehen (Tulodziecki, Herzig & Grafe, 2010). Es wird von einem Dreischritt von Beobachtung, Anleitung und Praxis gesprochen (Lave, 1988).



2.2 Anchored Instruction als moderne Unterrichtsmethode

Wörtlich übersetzt bedeutet Anchored Instruction „geankertes Lernen“ und basiert auf zwei grundlegenden Prinzipien (Foster, 2008):

- *“Learning and teaching activities should be designed around an anchor which should be some sort of case-study or problem situation”.*
- *“Curriculum materials should allow exploration by the learner.”*

Für den Lernprozess notwendig ist folglich zum einen ein Ankermedium, welches eine Problemstellung für den Unterricht liefert sowie Unterrichtsmaterial, das selbstständiges und entdeckendes Lernen zulässt.

Die Schülerinnen und Schüler sollen demnach in kreativen Lernumgebungen und Lernaktivitäten flexibles Wissen, Problemlöse- und Transferfähigkeiten erwerben (CTGV, 1996).

Nachhaltig geprägt wurde der Begriff des Anchored Instruction-Ansatzes durch John Bransford und James Pellegrino der Cognition and Technologie Group at Vanderbilt University (CTGV), die sich bereits in den 1990er Jahren zum Ziel setzten, Unterrichtseinheiten für Schülerinnen und Schüler motivierender und ansprechender zu gestalten.

Die Idee festigte sich durch Erfahrungen aus mehreren vorangegangenen Projekten („inert knowledge project“, „logo project“, „the dynamic assessment project“), die grundlegende Informationen und Anregungen für diese neue Unterrichtsmethode lieferten.

“Taken together, the work on overcoming inert knowledge, Logo, and dynamic assessment suggested the possibility of creating new environments for learning that could help people gain access to important areas of knowledge and skill that may have been difficult for them to reach without these new environments.” (CTGV, 1997, S.21)

Allgemeiner beschrieben werden im Anchored Instruction-Ansatz der CTGV die Ankerreize durch Aufzeigen eines komplexen Problems gesetzt, das die Lernenden dazu anregen soll, sich intensiver mit einem Thema auseinanderzusetzen und sich darauf einzulassen.

“Problem generation is an important aspect of problem solving and mathematical thinking, but our early work with middle school students in problem solving made us realize that most students are not very good at it. Traditional word problems usually have explicit goal structures and, hence, do not encourage students to generate goals on their own”. (CTGV, 1997, S.7)

Diese komplexen, konstruierten Probleme werden meist in einer zusammenhängenden Geschichte multimedial präsentiert.



Hierfür wurden zu Beginn bekannte Geschichten aus den Büchern „The Young Sherlock Holmes“ oder „Oliver Twist“ verwendet, später wurde mit kommerziellen Filmtiteln wie „Indiana Jones. Raiders of the lost Ark“ gearbeitet. Kurze Zeit später wurde dazu übergegangen, Filmmaterial für den hohen didaktischen Anspruch selbst zu entwickeln.

“Jasper adventures are not designed primarily for entertainment. A motto that accompanies Jasper is, „It’s not just a movie; it’s a challenge.“ (CTGV, 1997, S.5)

Der erste selbst erstellte Prototyp trug den Namen „The River Adventure“. Unter Mitarbeit ausgebildeter Lehrerinnen und Lehrer wurde schließlich die „Jasper Woodsbury“-Serie entwickelt.

“The Jasper Series consists of 12 videodiscs-based adventures that focus on mathematical problem finding and problem solving. [...] In particular, each adventure provides multiple opportunities for problem solving, reasoning, communication, and making connections to other areas such as science, social studies, literature, and history. [...] Jasper adventures are designed for students in grades 5 and up.” (CTGV, 1997, S.1)

Diese 12 Jasper-Folgen wurden anhand von sieben Designprinzipien für die Erstellung von Unterrichtssequenzen erarbeitet, um diese für die Lernenden möglichst effizient zu gestalten:

Die Unterrichtseinheiten vermitteln die wichtigen Lerninhalte anhand einer Videosequenz (**video based format**), die eine zusammenhängende, für die Lernenden möglichst spannende Handlung aufzeigt (**narrative format**). Die Filmsequenzen enden so, dass der Ausgang der Handlung und damit die Lösung des gestellten Problems von den Schülerinnen und Schülern selbstständig während der Unterrichtseinheit erarbeitet werden kann (**generative format**). Dabei sind alle für die Problemlösung notwendigen Informationen in der Videosequenz enthalten und müssen von den Lernenden gefunden und bewertet sowie angewendet werden (**embedded data design**).

Das durch die Filmsequenz aufgeworfene Problem muss sich dabei in unterschiedliche Teilprobleme zerlegen lassen (**problem complexity**). Zu seiner Lösung sollten Kompetenzen und Inhalte angrenzender Fachdisziplinen erforderlich sein (**links across the curriculum**).

Idealerweise existieren dabei zwei unterschiedliche Sequenzen zum gleichen Problem Inhalt, um das erworbene Wissen in einer neue Situation anwenden zu können (**pairs of related adventures**).

Diese genannten Designprinzipien sollten Schwierigkeiten des herkömmlichen Unterrichts entgegenwirken. So versprach man sich durch das **videobasierte Format** ei-



nen größeren Fundus an Informationen für die Lernenden bereitzustellen, der zudem in kürzerer Zeit genutzt werden kann, ohne dabei Schülerinnen und Schüler mit schwach ausgeprägter Lesekompetenz zu benachteiligen. Des Weiteren wurde davon ausgegangen, die Lernenden durch die verwendeten Videodisks stärker zu motivieren und emotional anzusprechen. Durch die **narrative Struktur** war der Unterricht lebensnah gestaltet und die Schülerinnen und Schüler dadurch stärker eingebunden. Die Hoffnung war, den Lernenden somit Kompetenzen im Problemlöseprozess an die Hand zu geben, die ihnen auch im Alltag behilflich sein könnten.

Die **doppelte Visualisierung** erleichterte es den Schülerinnen und Schülern, Probleme aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten und dadurch zur Vermeidung des **trägen Wissens** beizutragen. Durch den **fächerübergreifenden Gedanken** wurde die Vernetzung von Problemen in unterschiedlichen Fachbereichen aufgezeigt.

Dass Videoanker die Behaltensleistung von Schülerinnen und Schülern unterstützen können, belegten Sherwood et al in einer Studie 1987. Sie verglichen dabei die Leistung einer Kontrollgruppe, die mit Hilfe von Lehrbuchtexten Informationen über Spinnen erarbeitete, mit der Leistung von Schülerinnen und Schülern, die diese Informationen aus dem Lehrbuch durch die ersten zwölf Minuten des Films „Indiana Jones: Jäger der verlorenen Schatzes“ zusätzlich multimedial unterstützt bekamen (Sherwood et al, 1987). Darüber hinaus konnte belegt werden, dass über Videos gewonnene Informationen leichter in neue Problemsituationen übertragen werden können (Sherwood et al, 1987).

Eine erste groß angelegte Studie des Anchored Instruction-Projekts folgte im Jahr 1991. Erhoben wurden dabei die mathematischen Leistungen von 793 Schülerinnen und Schülern im Verlauf eines Schuljahres. In dieser Studie zeigte sich ein ähnlicher Lernerfolg in der Kontroll- und Experimentalgruppe. Es konnten in keinem der erhobenen Bereiche signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (Blumschein, 2004) festgestellt werden.

2001 folgte durch Hickey et al. eine der umfangreichsten Studie der CTGV, in der 397 Schülerinnen und Schüler der fünften Jahrgangsstufe evaluiert wurden. Die Ergebnisse der Studie lieferten nicht den erhofften positiven Effekt hinsichtlich der Motivation der Schülerinnen und Schüler (Blumenschein, 2004).

Zusammenfassend lässt sich deshalb kein empirisch belegbarer Erfolg der Jasper-Serie belegen. Dieser Aspekt, verbunden mit einem extrem hohen Arbeitsaufwand von über 100 Arbeitsstunden pro Unterrichtsstunde und damit einem enormen finanziellen Aufwand, führte 2003 zur Auflösung der CTGV.

Schon vor der Auflösung der CTGV gab es einige Bemühungen das Konzept neu umzusetzen (Scientist in Action, Young Children's Literacy), diese Weiterentwicklungen



gen sind bis heute in neuen modifizierten Ansätzen zu beobachten (Kuhn et al., 2003, Klauser et al, 1998).

Die Scientist in Action-Serie (SIA) ist analog zu den Jasper-Abenteuern aufgebaut und für den naturwissenschaftlichen Unterricht konzipiert. Hauptzielgruppe sind dabei Schülerinnen und Schüler zwischen 14 und 16 Jahren, die zur Problemlösung auf weitere notwendige Informationsquellen (Internet, Fachbücher) außer der gezeigten Filmsequenz zurückgreifen. Im Mittelpunkt des Unterrichts steht dabei das Aufstellen und Überprüfen von Hypothesen (Klauser, 1998).

Am Seminar für Wirtschaftspädagogik in Göttingen wurde auf diesem Ansatz basierend ein Simulationsprogramm entwickelt, anhand dessen Studentinnen und Studenten Investitionsentscheidungen vorbereiten, durchdenken und durchführen.

„Dabei soll den Lernenden die Denk- und Arbeitsweise von Experten nicht nur erfahrbar gemacht werden, sondern es geht zugleich darum, eine systematische Reflexion der gemachten Erfahrungen zu ermöglichen und diese im Hinblick auf die Entwicklung allgemeiner heuristischer Regeln für die Problembearbeitung zu fördern.“ (Klauser, 1998, S.11)

Ein weiterer modifizierter Anchored Instruction-Ansatz geht auf Jochen Kuhn zurück. Mit seinem MAI (**M**odifizierter **A**nchored **I**nstruktion) - Ansatz verfolgt Kuhn das Ziel *„die Vorzüge des originären AI-Ansatzes [Selbsttätigkeit und Authentizität] beizubehalten und die Schwierigkeiten in Bezug auf spezifische Unterrichts Anwendungen zumindest zu verhindern.“* (Kuhn, 2000, S. 252)

Als Ankermedium greift Kuhn dabei auf Zeitungsartikel zurück. Da Zeitungsaufgaben und Bilder durch die heute vorhandene mediale Ausstattung leicht zu verändern sind, verspricht sich Kuhn eine höhere Flexibilität des Ansatzes hinsichtlich der Anpassung an unterschiedliche Leistungsniveaus.

Der Gigant kurz vor der ersten Belastungsprobe (MAI-Ansatz)

Aus der Luft werden die gigantischen Ausmaße des chinesischen Drei-Schluchten-Staudamms am Jangtse in der chinesischen Provinz Hubei deutlich. Am 1. Juni will China nach Angaben der Nachrichtenagentur AP die Dammtore schließen und damit beginnen, das Reservoir hinter dem Dam mit Wasser aufzufüllen. Zwei Wochen später am 15. Juni, soll der geplante Wasserstand von 135 m erreicht sein. Bereits in diesem Jahr soll mit der Stromproduktion begonnen werden. Die Kapazität soll bis zur endgültigen Fertigstellung 2009 beständig ausgeweitet werden. Das Kraftwerk soll eine Leistung von 18200 MW haben und jährlich 85 TWh Strom produzieren.

1. Wie lange muss der Staudamm den Angaben des Textes zufolge jährlich in Betrieb sein? Was meinst du dazu?

2. Wie viele Haushalte mit einem jährlichen durchschnittlichen Bedarf an elektrischer Energie von etwa 2500 kW können damit versorgt werden?

3. Welche Nachteile könnte der Bau eines solchen Damms mit sich bringen oder bereits mit sich gebracht haben?



<p>Der Gigant kurz vor der ersten Belastungsprobe (Traditionelle Aufgabe)</p> <p>Das Kraftwerk des „Drei Schluchten-Staudammes“ am Jangtse soll eine Leistung von 18200 MW haben und jährlich 85 TWh elektrische Energie umwandeln.</p>	<p>1. Wie lange muss der Staudamm den Angaben des Textes zufolge jährlich in Betrieb sein? Was meinst du dazu?</p> <p>2. Wie viele Haushalte mit einem jährlichen durchschnittlichen Bedarf an elektrischer Energie von etwa 2500 kW können damit versorgt werden?</p> <p>3. Welche Nachteile könnte der Bau eines solchen Dammes mit sich bringen oder bereits mit sich gebracht haben?</p>
--	--

Abbildung 4: Beispielaufgabe MAI-Ansatz (Kuhn, 2005, S. 283)

Kuhn erhob mit einem quasi-experimentellen Untersuchungsdesign Motivation und Leistung von 911 Lernenden aus der Sekundarstufe I. Jede Lehrkraft unterrichtete dabei eine Kontrollklasse mit traditionellen Aufgaben und eine Versuchsgruppe mit Hilfe von Aufgaben im Zeitungsdesign.

Woche	Kontrollgruppe	Experimentalgruppe
1	Test zur allgemeinen Intelligenz, Test zur Lesekompetenz Motivationsprätest	Test zur allgemeinen Intelligenz Test zur Lesekompetenz Motivationsprätest
2	Arbeitsblatt 1 (traditionelle Aufgaben)	Arbeitsblatt 1 (Zeitungsaufgaben)
3	Arbeitsblatt 2 (traditionelle Aufgaben) Aktueller Motivationstest	Arbeitsblatt 2 (Zeitungsaufgaben) Aktueller Motivationstest
4	Arbeitsblatt 3	Arbeitsblatt 3
5	Leistungsposttest Motivationsposttest	Leistungsposttest Motivationsposttest
6...9	Konventioneller Unterricht im neuen Stoffgebiet	Konventioneller Unterricht im neuen Stoffgebiet
10	Follow up – Leistungstest	Follow up – Leistungstest
11...13	Konventioneller Unterricht im neuen Stoffgebiet	Konventioneller Unterricht im neuen Stoffgebiet
14	Follow up – Motivationstest	Follow up - Motivationstest

Tabelle 1: Verlauf der MAI - Studie (Kuhn, 2010)

In dieser Studie wurden zwei verschiedene Testformen zur Motivationserhebung durchgeführt. Es wurde der Verlauf der Motivation durch ein Längsschnittdesign mit drei einheitlichen, aufeinander folgenden Tests erhoben. Die aktuelle Motivation wurde während der laufenden Unterrichtseinheit gemessen. Abgefragt wurden dabei die Bereiche der intrinsischen Motivation, des Selbstkonzeptes und des Realitätsbezugs/Authentizität.



Die Leistungserhebung erfolgte durch einen Vergleich der Vorleistung im Fach Physik mit den Ergebnissen des Leistungstests nach Abschluss der Einheit. Eine weitere Überprüfung fand fünf Wochen später durch einen Follow up-Test statt.

Kuhn fasste seine Ergebnisse 2010 zusammen, dabei zeigte sich, dass Schülerinnen und Schüler die mit Hilfe von Zeitungsaufgaben arbeiteten, einen deutlich höheren Motivationsgrad aufwiesen als die, die traditionelle Aufgaben bearbeiteten. Diese Motivationszunahme konnte über einen mittelfristigen Zeitraum gemessen werden.



2.3 Motivation und Interesse als Bedingung für nachhaltiges Lernen

„Wenn du einen Menschen etwas lehren willst, wird er es niemals lernen“ (Mandl 1995, S. 28)

Mit der Sicht auf das Lernen und den Unterricht im Allgemeinen veränderte sich ebenfalls die Ansicht über Motivation. Auch hier vollzog sich ein Wandel von behavioristischen Sichtweisen, der Vorstellung, dass der Lernende durch äußere Reize kontrolliert und motiviert wird (Reinmann-Rothmeyer & Mandl, 1994) hin zur intrinsischen Motivation, die auf dem Bedürfnis nach Kompetenz und Selbstbestimmung beruht (Deci & Ryan, 1993).

Heute geht man immer mehr davon aus, dass Schülerinnen und Schüler einen Zugang zum Lernen finden müssen, *„weil sie ein Verlangen danach haben zu lernen, nicht weil jemand ihnen eine Eins oder ein M&M gibt.“* (Voß, 2000, S.24)

Dieses Verlangen zu lernen kann mit der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan näher erläutert werden. Hierbei werden drei grundlegende psychologische Bedürfnisse des Menschen formuliert: Das Bedürfnis nach **Kompetenz, Autonomie** und **sozialer Einbindung**. (Deci and Ryan, 1993). Ein Individuum lernt, um sich selbst weiter zu entwickeln, Erfolgserlebnisse zu haben, dadurch eigenständig zu werden und in der Welt zu Recht zu kommen sowie einen Platz in der Gesellschaft zu erreichen, bei dem man von anderen geschätzt und anerkannt wird.

„Das Kernstück dieser Theorie ist die empirisch belegbare These, dass diese Tendenz nicht von alleine erhalten bleibt, sondern fortwährend Unterstützung aus dem sozialen Umfeld benötigt. Dies bedeutet, dass durch die Umwelt die angeborene Tendenz zu persönlichem Wachstum, Entwicklung und Engagement entweder gefördert oder gestört werden kann.“ (Kramer, 2004, S. 18)

Dieser Antrieb zu lernen kann als Motivation definiert werden oder anders formuliert beschreibt die Motivation *„eine aktivierende Ausrichtung des momentanen Lebensvollzugs auf einen positiv bewerteten Zielzustand.“* (Rheinberg, 2000, S.13) Motivation lässt sich nun in verschiedene Arten unterteilen, die unterschiedlich bewertet werden und voneinander abweichende Konnotationen aufweisen.

In der Literatur weit verbreitet ist die Abgrenzung von **intrinsischer** Motivation und **extrinsischer** Motivation, wobei die intrinsische Motivation als die Erstrebenswerte der beiden gilt. Intrinsisch motivierte Schülerinnen und Schüler lernen dabei freiwillig, ohne Beeinflussung durch Dritte, alleine des Lernstoff willens, während extrinsisch motivierte Lernende durch Zwänge und Beeinflussungen von außen zum Lernen angehalten werden. Dies kann durch Belohnungen oder Strafe, aber auch durch die eigenen Ansprüche realisiert sein. Diese Abgrenzung ist jedoch nicht im-

mer eindeutig und wird in der Literatur kontrovers diskutiert (Bovet, 2008a). Deshalb unternahmen Deci and Ryan 2000 einen neuerlichen Versuch, die Lernmotivationen zu ordnen und weit verbreitete Zwischenformen zu berücksichtigen, die bisher durch die nur zweidimensionale Zuordnung abgewertet wurden (Bovet, 2008a). Deci und Ryan unterscheiden heute vier unterschiedliche Abstufungen der extrinsischen Motivation (external, introjiziert, indentifiziert und integriert), die sich zunehmend durch eine höhere Selbstbestimmung auszeichnet und in der intrinsischen Motivation gipfelt.

Dabei stehen **amotivierte** Schülerinnen und Schüler dem Inhalt der Unterrichtsstunde gleichgültig und bzw. oder abweisend gegenüber. Sie folgen dem Unterrichtsgeschehen nicht.

External motivierte Lernende lernen im Unterricht, um Belohnungen zu bekommen z.B. eine gute Note oder Geldgeschenke oder um Strafen zu vermeiden.

Sind Schülerinnen und Schüler **introjiziert** motiviert, so nehmen sie am Unterrichtsgeschehen teil und lernen, da sie sich selbst einem Druck aussetzen. Hierbei besteht ein fließender Übergang zu Lernenden, die lernen um ihre gesteckten Ziele zu erreichen, diese sind **identifiziert** motiviert.

Integriert motivierte Lernende haben das Lernen bereits in ihre Persönlichkeitsstruktur aufgenommen und nehmen deshalb am Unterricht teil.

Intrinsisch motivierte Schülerinnen und Schüler lernen schlussendlich, da sie der Lernstoff fasziniert und das Lernen ihnen deshalb Freude bereitet.

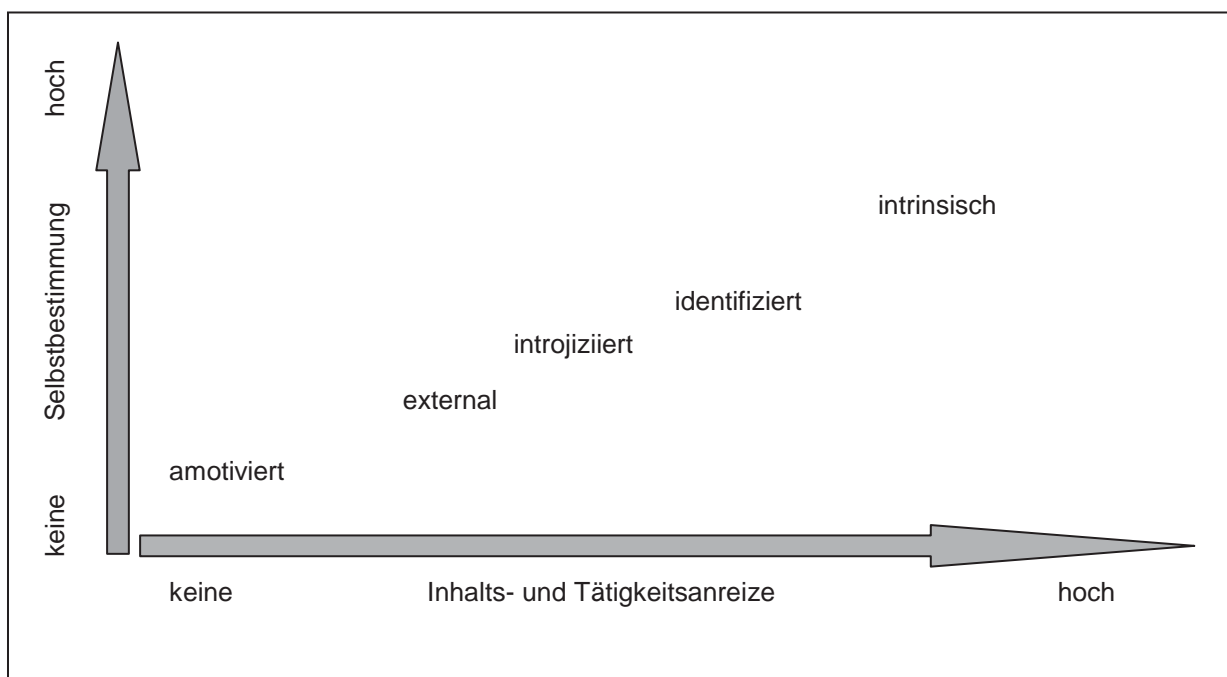


Abbildung 5: Varianten der Lernmotivation (verändert nach: Deci & Ryan, 2000)



Die selbstbestimmte Motivation der Schülerinnen und Schüler wird dabei zum Ziel pädagogischer Interventionen, dies beinhaltet neben der intrinsischen Motivation ebenfalls die Identifikation und Integration.

Prenzel et al. erweiterten die Betrachtung der Begründung des Lernens noch um den Bereich des Interesses. Interesse geht hierbei über die intrinsische Motivation hinaus und wird zum wichtigen Bestandteil des Selbstkonzepts einer Person. Interesse entsteht aus der Interaktion von Person und (Lern-)Gegenstand und ist stets an den Inhalt gebunden. Mit Interesse verbunden sind eine hohe Wertschätzung und eine positive emotionale Erfahrung während der Interessenshandlung. Interesse ist demnach selbstbestimmt, persönlichkeitsbildend und positiv emotional (Kramer, 2003).

Man kann zwischen individuellem und situationellem Interesse unterscheiden, wobei das individuelle Interesse aus wiederkehrendem situationellem Interesse resultiert (Renninger, Hoffmann & Krepp, 1998).

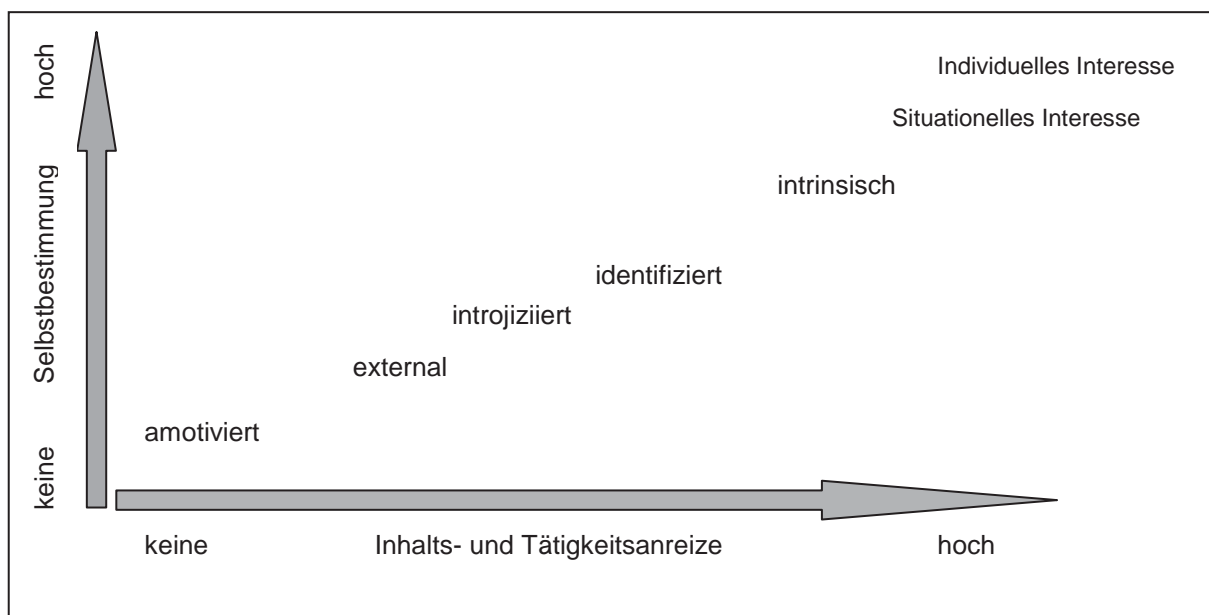


Abbildung 6: Motivationsarten nach Deci & Ryan ergänzt durch Krepp (Kramer, 2003, S. 15)

Eine aktive Beteiligung der Schülerinnen und Schüler am Wissenserwerb, wie bei situated-Cognition-Theorien gefordert, setzt wenigstens intrinsische (nach Deci und Ryan selbstbestimmte) Motivation voraus (Schmidt, 2000).

Um diese im Unterricht zu erreichen, identifiziert Prenzel 1998 folgende Bedingungen (vgl. Abbildung 7): Unterricht muss zu allererst die nach Deci und Ryan der Motivation zu Grunde liegenden psychologischen Grundbedürfnisse des Menschen erfüllen. Auch Schülerinnen und Schüler streben danach kompetenter, in ihrer Autonomie unterstützt und sozial integriert zu werden.

„Individuals are motivated to learn [...] when they are in a respectful and supportive relationship with their teachers.“ (OECD, 2000, S. 29)

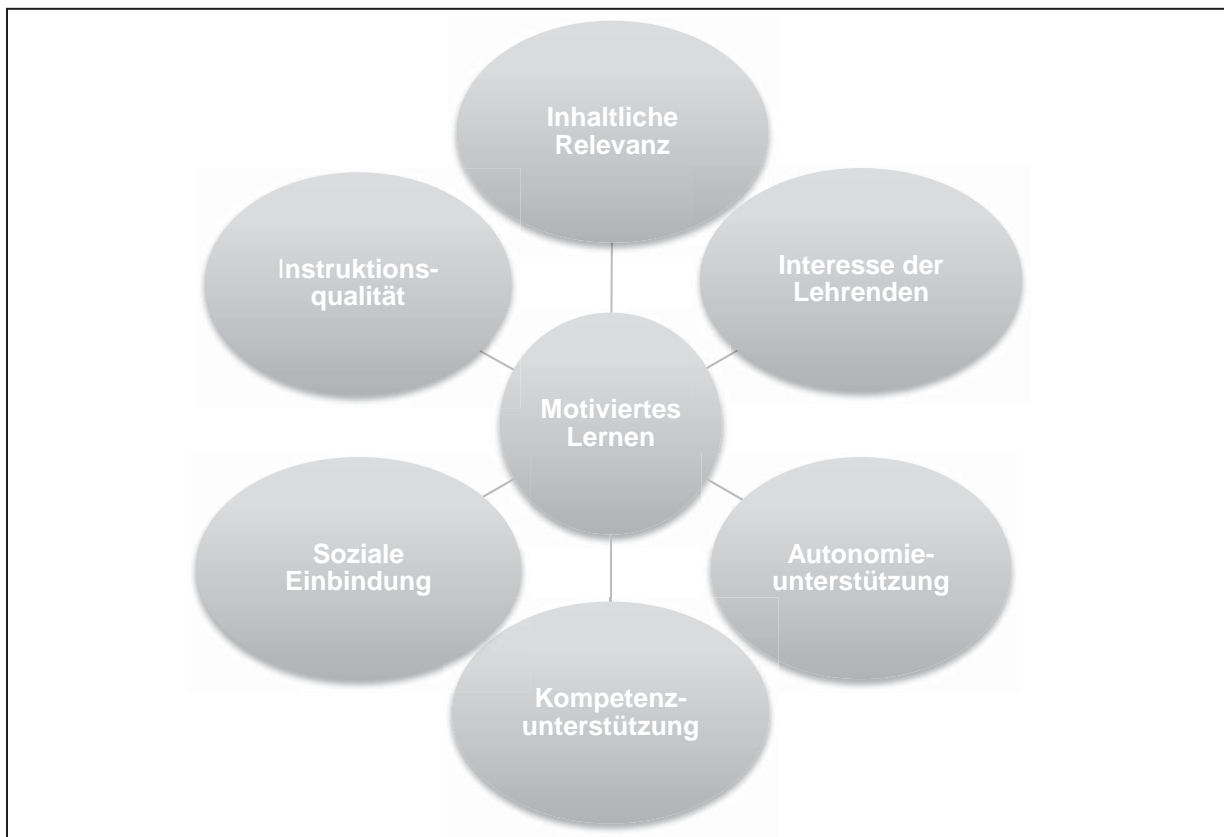


Abbildung 7: Bedingungen motivierten Lernens (Prenzel, 1998)

Die Wichtigkeit einer gelungenen Beziehung zwischen Lehrendem und Lernenden ist pädagogischer Konsens. Schülerinnen und Schüler erwarten eine gefestigte Lehrperson, die Sorge trägt, dass man etwas lernt, Ordnung im Klassenverband herstellt und eine geeignete Arbeitsatmosphäre schafft (Abele, 2008). Deci und Ryan konnten nachweisen, dass Lernende motivierter lernen, wenn die Lehrkraft an den Lernenden interessiert und ihnen gegenüber wertschätzend war (Deci & Ryan, 2000). Der Lehrende muss darüber hinaus am Unterrichtsthema interessiert sein und dieses Interesse in den Unterricht transportieren können.

Die Schülerinnen und Schüler müssen demzufolge einen Unterricht erhalten, der eine hohe Instruktionsqualität und inhaltliche Relevanz besitzt.

„Lernumgebungen, welche die Bedeutung des Lerninhalts transportieren z.B. über authentisch bedeutsame Probleme, die in kooperativen Lerngemeinschaften bearbeitet und reflektiert werden, haben sich als sehr wirkungsvoll im Aufbau elaborierten Wissens herausgestellt.“ (Kramer, 2003, S. 43)

3. Das Projekt ChemCi

3.1. Das Projekt ChemCi – ein modifizierter Anchored Instruction-Ansatz unter Nutzung vorhandener Filmressourcen

„Aufgrund der Ergebnisse erscheint es wünschenswert, dass der Anchored Instruction-Ansatz weitere unterrichtspraktische Realisationen erfährt.“ (Schmidt, 2000, S. 171)

Im September 2006 wurde in der Abteilung Chemie der Pädagogischen Hochschule Freiburg das Projekt „ChemCi - Chemistry and Cinema“ initiiert. Dabei kehrt ChemCi zu den Wurzeln des Anchored Instruction-Ansatzes der CTGV zurück und nutzt den heute vorhandenen großen Fundus an geeigneten Spielfilmsequenzen, um wichtige Inhalte des Chemieunterrichts bzw. des naturwissenschaftlichen Unterrichts möglichst motivierend für die Schülerinnen und Schüler zu gestalten und einen nachhaltigen Lernerfolg zu gewährleisten. Dieses Vorgehen kann in den Schulen relativ einfach durch die heute standardmäßig gute mediale Ausstattung realisiert werden. Für ChemCi-Einheiten zentral ist die gemeinsame Entwicklung von Leitfragen bzw. das Aufstellen und teilweise experimentelle Überprüfen von Hypothesen anhand der ausgewählten Filmsequenzen. Dabei müssen die Schülerinnen und Schüler in den gezeigten Filmsequenzen wichtige Informationen von unwichtigen trennen und diese mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen in Bezug setzen. Diese Vorgehensweise unterstützt neben dem Erarbeiten von Fachwissen in einer anschließenden Betrachtung der Filmszenen einen ersten Schritt in Richtung Medienbewertungskompetenz. *„Bei der Informationsfülle in unserer Medienlandschaft wird es zunehmend schwieriger sachlich richtige von falschen und irreführenden Informationen zu unterscheiden und sachgerecht vorzugehen. Insgesamt besteht angesichts der medialen Abhängigkeiten im Bereich der Information die Notwendigkeit, immer auch nach der Glaubwürdigkeit von Medieninformationen zu fragen.“* (Tulodziecki, Herzig und Grafe 2010, S. 69)

Anders als in bereits vorhandenen Ansätzen werden im ChemCi-Projekt komplette Unterrichtseinheiten erarbeitet, die mit den Bildungsplänen der entsprechenden Jahrgangs- und Schulstufe abgeglichen sind. Zusätzlich werden Unterrichtsmaterialien für die Durchführung im Unterricht zur Verfügung gestellt.

Diese ausgearbeiteten Unterrichtseinheiten werden hinsichtlich des Motivationszuwachses der Schülerinnen und Schüler und der Leistungszunahme sowie deren Nachhaltigkeit untersucht. Aufgrund der ermutigenden Ergebnisse Kuhns mit seinem MAI-Ansatz unter Verankerung an Zeitungsartikeln wird von einem Zuwachs an Motivation und einem nachhaltigen Lernzuwachs ausgegangen.



Im Rahmen des ChemCi-Projekts wurden bisher Unterrichtseinheiten zu den Filmen „Apollo 13“ / „Das Boot“, „James Bond: Feuerball“, „James Bond: Diamantenfieber“, „Das Parfum“ „Im Rausch der Tiefe“/ „Freediver“, „Men of Honor“ und „Dantes Peak“ entwickelt.

Zu den Filmen „Der Name der Rose“ und „Das Vermächtnis der Tempelritter“ sowie „Erin Bronkovich“ sind bereits vielfältige experimentelle Vorarbeiten geleistet und erste unterrichtspraktische Realisierungen angedacht.

Dabei wurde die Unterrichtseinheit Dantes Peak für die Sekundarstufe II durch eine Längsschnitt-Interventionsstudie, die Unterrichtseinheit Dante´s Peak für die Realschule wurde anhand einer Fallstudie empirisch untersucht.

Zusammenfassend lassen sich somit folgende Prinzipien für den ChemCi-Anchored Instruction-Ansatz formulieren:

- Motivation durch Spielfilmsequenzen
- Nutzung bereits vorhandener Filmressourcen (Kinofilme, Fernsehfilme, Serien)
- Komplett ausgearbeitete Unterrichtseinheiten, inklusive Lehrmaterialien und Versuchsbeschreibungen
- Entwicklung von Leitfragen aus den gezeigten Spielfilmsequenzen und deren Überprüfung
- Die Unterrichtseinheiten sind experimentell ausgerichtet und fördern eine hohe Eigenaktivität der Schülerinnen und Schüler
- Die Unterrichtseinheiten ermöglichen die Erarbeitung wichtiger, im Bildungsplan 2004 geforderten, Kompetenzen in Chemie, Biologie und Physik
- Erfolgskontrolle durch Evaluation der Unterrichtseinheiten



3.2 Die Verwendung von Spielfilmen zur Unterstützung der Lehre in den Naturwissenschaften

Im Bereich der Hochschullehre, insbesondere in der Lehre der Physik, ist die Idee Spielfilme auf „Physik-Fehler“ zu untersuchen weit verbreitet und wird in den letzten Jahren zunehmend populärer.

So basiert eine experimentalphysikalische Grundvorlesung für Erstsemester an der TU Braunschweig auf der Erarbeitung physikalischer Grundlagen anhand von Spielfilmsequenzen. *„Die Vermittlung eines physikalischen Weltverständnisses ist eine zentrale Aufgabe der Schulphysik. Die vermittelten Kenntnisse sollten sich aber auch auf lebensweltliche Bereiche übertragen lassen, damit es zu einer Verknüpfung von Erlerntem und Erlebtem kommt und die Physik sich in den Augen der Schülerinnen und Schüler nicht innerhalb eines reinen Schulkontextes abspielt. Die Verwendung von Spielfilmen kann hierfür einen guten Ansatzpunkt bieten.“* (Strahl, Müller, Mennerich & Süllow, 2007, S.14) Aus den Spielfilmsequenzen heraus werden verschiedene Fermi-Aufgaben formuliert, anhand derer die Studierenden die Filmszenen auf ihre physikalische Plausibilität hin untersuchen sollen. Bei Fermi-Problemen handelt es sich um quantitative Abschätzungen eines Problems ohne vorliegende Daten. Dabei wird das Problem in viele Teilprobleme zerlegt, die mit dem Allgemeinwissen oder Schätzen, Überschlagen und Vermuten bearbeitet werden können.

„Dieser Unterschied zwischen filmischer und physikalischer Realität lässt sich im Physikunterricht nutzen, indem z.B. gemeinsam mit Schülern diese Unterschiede gesucht und hinsichtlich der zugrunde liegenden Physik analysiert werden.“ (Strahl, Müller, Mennerich & Süllow, 2007, S.14)

An amerikanischen Hochschulen arbeiten Efthimiou und Llewellyn ebenfalls erfolgreich mit Spielfilmsequenzen, um physikalische Sachverhalte ansprechender zu bearbeiten.

In ihren Vorlesungen werden Geschwindigkeiten abgeschossener Projektile ermittelt („Desperado“), der Doppler-Effekt („The Fast and the furious“) angesprochen und komplexe Themenbereich der Physik durch gezeigte Filmausschnitte motivierender eingeführt: „Road Runner“ – Energieerhaltung, „Stargate: Schwarzes Loch“ – Kosmologie und Relativitätstheorie, „Monty Python: Vom Nutzen der Unsichtbarkeit“ – Optik (Efthimiou & Llewellyn, 2007).

Weiterhin beschäftigen sich Dubeck, Moshier und Boss mit Spielfilmen und der Verwendung im Physik- bzw. Biologieunterricht und entwickelten ein durchaus erfolgreiches Buch, das physikalische und biologische Grundlagen anhand von Spielfilmen, didaktisch ansprechend aufbereitet, vermittelt.



„The goal of this book is to provide basic physics and biology instruction, using scenes from science fiction films as examples of the concepts discussed.“ (Dubeck, Moshier & Boss, 2004, S. 1)

Bereits seit den 1990er Jahren beschäftigt sich Metin Tolan (Tolan & Storze, 2008) mit der Physik in James Bond-Filmen und diskutiert Szenen hinsichtlich ihres physikalischen Wahrheitsgehalts.

"Wenn Sie in der Vorlesung nicht irgendein künstlich konstruiertes Beispiel nehmen, sondern etwas, das es wirklich gibt, dann ist das viel wissenschaftlicher, als man denkt. Das ist richtig schwer. Da müssen Sie richtig überlegen, wie schnell das Flugzeug eigentlich ist, und auch mal ein bisschen was schätzen.“ (Janssen, 2005)

Eine Verwendung von Spielfilmsequenzen im Bereich der Chemielehre und des Chemieunterrichts lässt sich hingegen kaum finden. Lediglich das seit 2006 bestehende CISCI-Projekt (Cinema & Science) des Kernphysikers Oberhummer ist zu erwähnen. Auf der Internetplattform stehen Beschreibungen von Spielfilmsequenzen sowie deren naturwissenschaftlichen Hintergrunds zur Verfügung. Der erwartete Erfolg der Seite blieb jedoch aus (Ehrenberg, 2008). Eine mögliche Erklärung könnte das Fehlen konkreter Unterrichtsvorschläge und Materialien für die Lehrkräfte sein.

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- die Verwendung von Spielfilmsequenzen im Bereich der Lehre / des Unterrichts in der Physik ist weit verbreitet.
- Für Biologie und Chemie gibt es deutlich weniger Vorschläge.
- Eine didaktische Einordnung der Sequenzen sowie konkrete Unterrichtsvorschläge und ausgearbeitetes Material für die Lehrkräfte sind nicht vorhanden.



3.3 Rechtliche Grundlagen zur Verwendung von Spielfilmsequenzen im Unterricht

Die Rechte an Filmen sind durch das Urheberrechtsgesetz geschützt. Dabei soll der Rechteeigentümer bzw. sein Werk vor Veränderung oder wirtschaftlichen Nutzen durch Dritte geschützt werden. *„Das Urheberrecht schützt den Urheber in seinen geistigen und persönlichen Beziehungen zum Werk und in der Nutzung dieses Werkes. Es dient zugleich der Sicherung einer angemessenen Vergütung für die Nutzung des Werkes.“* (§11, UrhG)

Im Klassenverband ist das Zeigen von Filmen im Gesamten zulässig, sofern der Klassenverband als nicht öffentlich eingestuft wird. *„Die Wiedergabe ist öffentlich, wenn sie für eine Mehrzahl von Mitgliedern der Öffentlichkeit bestimmt ist. Zur Öffentlichkeit gehört jeder, der nicht mit demjenigen, der das Werk verwertet, oder mit den anderen Personen, denen das Werk in unkörperlicher Form wahrnehmbar oder zugänglich gemacht wird, durch persönliche Beziehungen verbunden ist.“* (§15, Absatz 3, UrhG)

Zu der Einstufung des Klassenverbandes liegt derzeit noch kein eindeutiges Urteil vor und die Gesetzestexte sind nicht eindeutig. Eine Nichtöffentlichkeit im Klassenverband wird bisher mit der persönlichen Beziehung zwischen Lehrer und Schüler begründet (NiU Physik 120 (2010) S. 6).

„Zulässig ist die öffentliche Wiedergabe eines veröffentlichten Werkes, wenn die Wiedergabe keinem Erwerbszweck des Veranstalters dient, die Teilnehmer ohne Entgelt zugelassen werden und im Falle des Vortrags oder der Aufführung des Werkes keiner der ausübenden Künstler (§ 73) eine besondere Vergütung erhält. Für die Wiedergabe ist eine angemessene Vergütung zu zahlen. Die Vergütungspflicht entfällt für Veranstaltungen der Jugendhilfe, der Sozialhilfe, der Alten- und Wohlfahrtspflege, der Gefangenenbetreuung sowie für Schulveranstaltungen, sofern sie nach ihrer sozialen oder erzieherischen Zweckbestimmung nur einem bestimmt abgegrenzten Kreis von Personen zugänglich sind. Dies gilt nicht, wenn die Veranstaltung dem Erwerbszweck eines Dritten dient; in diesem Fall hat der Dritte die Vergütung zu zahlen.“ (§53, Absatz 1)

„Öffentliche bühnenmäßige Darstellungen, öffentliche Zugänglichmachungen und Funksendungen eines Werkes sowie öffentliche Vorführungen eines Filmwerks sind stets nur mit Einwilligung des Berechtigten zulässig.“ (§53, Absatz 2)

Eine öffentliche Vorführung eines Films, beispielsweise in der Aula der Schule wäre somit kostenfrei, aber genehmigungspflichtig.



Die im ChemCi-Unterricht eingesetzten Spielfilmsequenzen sind jedoch als unproblematisch einzustufen, da es *„Zulässig ist, veröffentlichte kleine Teile eines Werkes, Werke geringen Umfangs sowie einzelne Beiträge aus Zeitungen oder Zeitschriften zur Veranschaulichung im Unterricht an Schulen, Hochschulen, nicht gewerblichen Einrichtungen der Aus- und Weiterbildung sowie an Einrichtungen der Berufsbildung ausschließlich für den bestimmt abgegrenzten Bereich von Unterrichtsteilnehmern öffentlich zugänglich zu machen, soweit dies zu dem jeweiligen Zweck geboten und zur Verfolgung nicht kommerzieller Zwecke gerechtfertigt ist.“* (§52, UrhG)

Für das Zeigen der Filmausschnitte ist unbedingt eine Original DVD und keine Kopie zu verwenden: *„Die Vervielfältigung eines Werkes, das für den Unterrichtsgebrauch an Schulen bestimmt ist, ist stets nur mit Einwilligung des Berechtigten zulässig.“* (§53, UrhG)



3.4 ChemCi und KMK-Kompetenzen – Passung des Projekts zum Bildungsplan von 2004

Im folgenden Kapitel werden die aktuellen Bildungspläne im Hinblick auf die im Chemieunterricht, bzw. naturwissenschaftlichen Unterricht geforderten Kompetenzen untersucht. Dies ist insofern sinnvoll, da in der Beschreibung jeder ChemCi-Unterrichtseinheit ein kurzer Überblick über die vermittelten Kompetenzen der betreffenden Schulart / Jahrgangsstufe gegeben wird.

3.4.1 Kompetenzen für den naturwissenschaftlichen Unterricht an Realschulen / Sekundarstufe I

Im Schuljahr 2004/2005 wurden in den Schulen Baden-Württembergs die Bildungspläne eingeführt. Im gleichen Zeitraum verabschiedete die KMK länderübergreifende Bildungsstandards für den Primarbereich, den Hauptschul- und den Mittleren Bildungsabschluss. Die Aufgabe der Länder bestand nun darin, diese KMK-Bildungsstandards in ihre eigenen zu integrieren.

Der neue Bildungsplan veränderte 2004 den Unterricht in den Fächern Chemie, Biologie und Physik an Realschulen in Baden-Württemberg erheblich. Aus einst drei voneinander isolierten Unterrichtsfächern wurde der Fächerverbund *Naturwissenschaftliches Arbeiten* geschaffen. Ziel dieses Fächerverbunds ist die naturwissenschaftliche Grundbildung der Schülerinnen und Schüler zu verbessern.

„Die naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen bilden hierbei die gemeinsame Grundlage der einzelnen Fachwissenschaften Biologie, Chemie und Physik. Jedoch blickt jede dieser drei Disziplinen durch eine eigene Brille auf die Welt und betrachtet unterschiedliche Teilaspekte der naturwissenschaftlichen Welterschließung.“ (KMK, 2004a, S. 6)

Es geht also nicht darum, einheitlichen Naturwissenschaftsunterricht zu erteilen, sondern die jeweiligen „Stärken“ des einzelnen Faches mit denen der anderen Disziplinen zu kombinieren. Die Stärken der Chemie liegen dabei laut Bildungsplan im *„[...] Wechsel zwischen Bearbeiten und Beobachten auf stofflicher Ebene und Denken in submikroskopischen Modellen und Verwendung einer eigenen Symbolsprache [...].“ (KMK, 2004a, S.6)*

Dabei werden explizit Kompetenzen genannt, die die Schüler durch den Unterricht erwerben sollen. *„Nicht mehr die Frage: „was sollen Schüler lernen?“ steht im Mittelpunkt, sondern die Frage: „was sollen Schüler können?“ (MNU, 2004, S.6)* Es geht also nicht mehr darum, isoliertes Inselwissen zu erwerben, sondern durch den Unterricht Fähigkeiten und Fertigkeiten zu erlernen, die einen Transfer auf andere The-



menbereiche möglich machen. Die vorgeschriebenen Bildungsstandards lassen sich für den Bereich der Chemie sowie Biologie und Physik in vier Kompetenzbereiche unterteilen, die handlungsorientiert sind, wie Kommunikation, Erkenntnisgewinn und Bewertung, oder inhaltsorientiert wie der Aspekt des Fachwissens und dabei die eingangs genannten „Stärken“ des Faches Chemie / Biologie / Physik berücksichtigen.

Inhaltliche Dimension	Fachwissen	Chemische Phänomene, Begriffe, Gesetzmäßigkeiten kennen...
	Erkenntnisgewinnung	Experimentelle und andere Untersuchungsmethoden sowie Modelle nutzen
Handlungsdimension	Kommunikation	Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen
	Bewertung	Chemische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten

Tabelle 2: Die vier Kompetenzbereiche des Faches Chemie (KMK, 2004a)

Die inhaltliche Komponente, der Bereich des **chemischen Fachwissens** lässt sich dabei vier Basiskonzepten zuordnen: Das Stoff-Teilchen-Konzept; das Struktur-Eigenschafts-Konzept; das Konzept der chemischen Reaktion und das Energiekonzept.

Basiskonzept	Beispiele für Erschließungsfelder
Stoff-Teilchen-Konzept	- Teilchenmodelle - Bindungsmodelle - Modelle chemischer Bindungen
Struktur-Eigenschafts-Konzept	- Säure- Base- Theorien - Intermolekulare Wechselwirkungen - Funktionelle Gruppen
Chemische Reaktion	- Säure-Base-Reaktionen - Redoxreaktionen
Energiekonzept	- Energieerhaltungskonzept

Tabelle 3: Die vier Basiskonzepte der Chemie (verändert und ergänzt nach: MNU, 2004a)

Der Biologieunterricht baut auf das ihm zugrunde liegende Systemgefüge, also die Vernetzung und gegenseitliche Beeinflussung allen Lebens auf. *„Damit gelingt es im Biologieunterricht in besonderem Maße multiperspektivisches und systemisches Denken gleichermaßen zu entwickeln. In diesem Systemgefüge ist der Mensch Teil und Gegenüber der Natur. Dadurch dass der Mensch selbst Gegenstand des Biologieunterrichtes ist, trägt dieser zur Entwicklung individuellen Selbstverständnisses*



und emanzipatorischen Handelns bei. Dies ist die Grundlage für ein gesundheitsbewusstes und umweltverträgliches Handeln sowohl in individueller als auch in gesellschaftlicher Verantwortung.“ (KMK, 2004b, S.6)

Für den Biologieunterricht in der Sekundarstufe lassen sich nach KMK drei Basiskonzepte formulieren: System, Struktur und Funktion sowie Entwicklung. Oft wird in der Literatur auch von 8 Basiskonzepten der EPA-Biologie gesprochen, die sich jedoch ohne weiteres in die von der KMK geforderten Basiskonzepte integrieren lassen.

KMK-Basiskonzepte	EPA-Biologie-Basiskonzepte	Beispiele für Erschließungsfelder / Themen (Lichtner, 2005)
System	Kompartimentierung	Assimilation, Dissimilation
	Struktur und Funktion	Schlüssel-Schloss-Prinzip, Gegenstromprinzip, antagonistisches Bewegungsprinzip
Struktur und Funktion	Regelung und Steuerung	Hormone
	Stoff- und Energieumwandlung	Verdauungsprozesse, Energiespeicherung
	Information und Kommunikation	Erbinformationen, Erregungsleitung, Sozialverhalten
	Reproduktion	DNA-Replikation, Mutation, Rekombination
Entwicklung	Variabilität und Anpasstheit	Auswirkungen von Umweltfaktoren auf Organismen, Evolutionsmechanismen, Optimierungsprinzip
	Geschichte und Verwandtschaft	Abstammung des Menschen, Stammbaum

Tabelle 4: Die Basiskonzepte der Biologie (verändert und ergänzt nach: MNU, 2004b)

Die dritte „Brille“ der Naturwissenschaften „Physik ermöglicht Weltbegegnung durch die Modellierung natürlicher und technischer Phänomene und die Vorhersage der Ergebnisse von Wirkungszusammenhängen.“ (KMK, 2005c, S. 6)

Für den physikalischen Aspekt des naturwissenschaftlichen Unterrichts lassen sich vier Basiskonzepte formulieren (KMK, 2005c): Materie, Wechselwirkung, System und Energie.

Basiskonzept	Beispiele für Erschließungsfelder	Inhalte
Materie	Aggregatzustände	Form und Volumen von Körpern
	Teilchen	Teilchenmodell, Teilchenbewegung
	Struktur	Atom, Molekül, Kristall
Wechselwirkung	Verformungen von Körpern	Kraft, Trägheit, Impuls
	Felder	Magnetfelder, intermolekulare Kräfte, Schwerkraft
	Strahlung	Reflexion, Brechung, Farben
System	System im Gleichgewicht	Kräfte-, Druck-, thermisches Gleichgewicht
	Gestörtes System	Druck-, Temperatur-, Potenzialunterschiede
	Ströme	Elektrischer Stromkreis, thermische Ströme
Energie	Energiequellen	Fossile Brennstoffe, Windenergie, Sonnenenergie, Atomkraft
	Energieumwandlungen	Generator, Motor, Transformator, Wirkungsgrad, Entropie, Abwärme
	Energiebilanz	Pumpspeicherwerk, Akkumulator, Wärmepumpe
	Energiefluss	Wärmeleitung, Strahlung

Tabelle 5: Basiskonzepte der Physik (verändert und ergänzt nach: MNU, 2004c)

Die hier vorgestellten vier Basiskonzepte und die vier Dimensionen des Unterrichts stehen miteinander in Wechselwirkung.

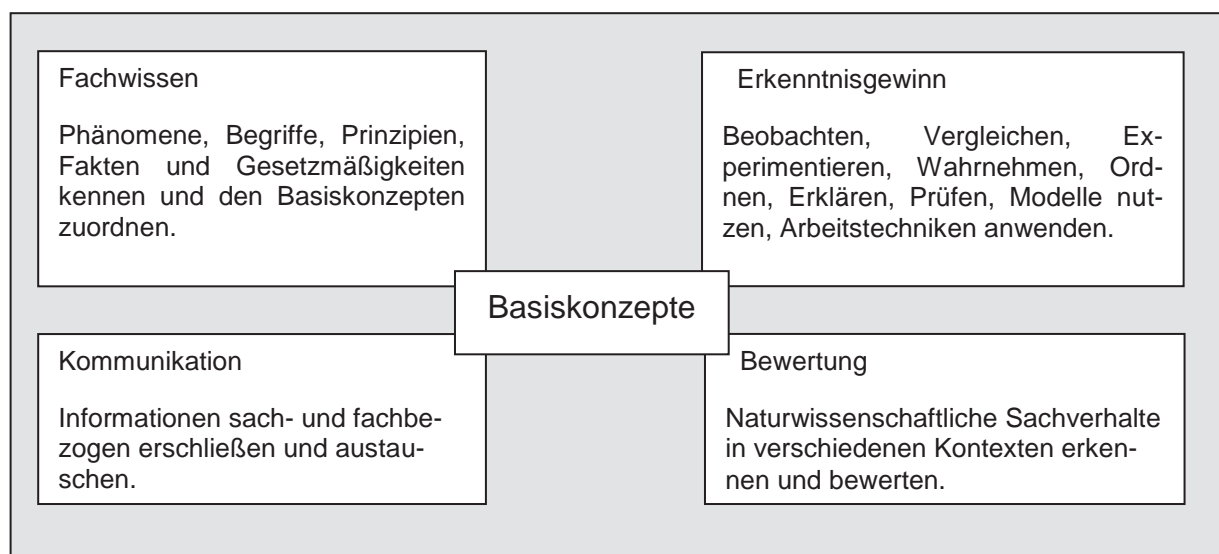


Abbildung 8: Zusammenspiel der vier Kompetenzbereiche in den Naturwissenschaften (verändert nach: MNU, 2004a, S. 2)



Um inhaltliche Dimensionen zu verinnerlichen, die wiederum eines der vier wichtigen Konzepte zur Grundlage haben, ist die Handlungsebene unabdingbar.

Die Herausforderung an den NWA (Naturwissenschaftliches Arbeiten)-Unterricht nach dem neuen Bildungsplan liegt also darin, geforderte inhaltliche Konzepte so zu vermitteln, dass die Schülerinnen und Schüler dabei die geforderten handlungsorientierten Kompetenzen erwerben können.

3.4.2 Kompetenzen für den naturwissenschaftlichen Unterricht an Gymnasien Sekundarstufe II – 2- und 4-stündige Kursstufe

2004 wurden an den Gymnasien Baden-Württembergs die Leistungs- und Grundkurse abgeschafft. Jede Schülerin und jeder Schüler muss nach der neuen Regelung vier Stunden Mathematik, Deutsch und eine Fremdsprache belegen. Weitere vier Unterrichtsstunden werden im sogenannten Profilfach (Naturwissenschaft oder weitere Fremdsprache) und dem Neigungsfach (beliebiges Unterrichtsfach) abgeleistet. Als zweistündige Fächer müssen besucht werden, sofern nicht schon als Neigungs- oder Profilfach abgedeckt: zwei Naturwissenschaften, Geschichte, Geographie und Gemeinschaftskunde, Religion, Ethik oder Philosophie, Musik oder Kunst und Sport.

Anders als im Bildungsplan des mittleren Bildungsabschlusses sind in den Kursstufen der Sekundarstufe II die Bildungsstandards nach fachwissenschaftlichen Themen geordnet. Dem Fachwissen kommt eine zentralere Rolle zu als im Unterricht der Sekundarstufe I, bei dem die Ausrichtung handlungsorientierter ist.

Diese geforderten fachlichen Themen sind für die 2- stündige Kursstufe Chemie: Moleküle des Lebens, Kunststoffe, chemische Gleichgewichte, elektrische Energie und Chemie.

Fachwissenschaftliches Thema	Inhalte
Moleküle des Lebens	<ul style="list-style-type: none"> - Kohlenhydrate, Nukleinsäuren, Proteine - Strukturen erkennen - Körperfunktionen - Nachweisreaktionen
Kunststoffe	<ul style="list-style-type: none"> - Kunststofftypen - Polykondensation - Hydrolyse - Versuche im Bereich der Kunststoffe - Verwendung - Recycling - Vor- und Nachteile der Kunststoffe - Chemisches Gleichgewicht



Chemische Gleichgewichte	<ul style="list-style-type: none"> - Massenwirkungsgesetz - Le Chatelier - Ammoniaksynthese - Brönsted-Säuren - Säure-Base-Reaktionen - pH-Wert
Elektrische Energie in chemischen Reaktionen	<ul style="list-style-type: none"> - Redoxreaktionen - Elektrolyse - Galvanische Zelle - Brennstoffzelle - Energiebereitstellung

Tabelle 6: Die Leitthemen der 2-stündigen Kursstufe Chemie

Der vierstündige Kurs Chemie ergänzt und vertieft in folgenden Bereichen: **Chemische Energetik, Säure-Base-Gleichgewichte, Naturstoffe, Aromaten, chemische Gleichgewichte, Kunststoffe und Elektrochemie.**

Fachwissenschaftliches Thema	Inhalte
Chemische Energetik	<ul style="list-style-type: none"> - Offene, geschlossene und isolierte Systeme - Entropie - Kalorimetrie - Reaktionsenthalpien - Gibbs-Helmholtz-Gleichung - Grenzen energetischer Betrachtung
Säure-Base-Gleichgewichte	<ul style="list-style-type: none"> - Brönsted - Donator-Akzeptor-Konzept - pKS- und pKB-Wert - pH-Wert - Indikatoren - Puffersysteme - Konzentrationstitrationen
Chemische Gleichgewichte	<ul style="list-style-type: none"> - Einstellung des Gleichgewichts - Katalysator - Le Chatelier - Massenwirkungsgesetz - Ammoniaksynthese
Naturstoffe	<ul style="list-style-type: none"> - Mono-, Di-, Polysaccharide - Chiralität - Glycosidische Bindung - Proteine - Denaturierung - DNA
Aromaten	<ul style="list-style-type: none"> - Benzol - Grenzen von Bindungsmodellen - Stoffgruppe der Aromaten



Kunststoffe	<ul style="list-style-type: none"> - Kunststoffsynthese - Mono- und Polymere - Polymerisationsreaktionen - Kunststoffarten - Kunststoff als Werkstoff
Elektrochemie	<ul style="list-style-type: none"> - Donator-Akzeptor-Prinzip - Oxidationszahlen - Galvanische Zelle - Wasserstoff-Standard-Halbzelle und Standard-Potenziale - Brennstoffzellen - Speicherung

Tabelle 7: Die Leitthemen 4-stündigen Kursstufe Chemie

Die genannten Inhalte sollen durch „Leitlinien des Kompetenzerwerbs“ strukturiert werden. Diese Leitlinien sind **Stoffe und ihre Eigenschaften, Stoffe und ihre Teilchen, chemische Reaktionen, Ordnungsprinzipien, Arbeitsweisen und Umwelt und Gesellschaft**. Betrachtet man diese Leitlinien genauer, lassen sich deutliche Übereinstimmungen mit den vier Kompetenzbereichen des naturwissenschaftlichen Unterrichts des mittleren Bildungsabschlusses erkennen. So können die Leitlinien Stoffe und ihre Eigenschaften, Stoffe und ihre Teilchen, chemische Reaktionen und Ordnungsprinzipien dem Kompetenzbereich Fachwissen zugeordnet werden. Die Arbeitsweisen der Chemie sind dem Bereich des Erkenntnisgewinns zuzuordnen und Umwelt und Gesellschaft zeigt große Schnittmengen mit den Kompetenzbereichen Kommunikation und Bewertung.

Im Bereich des Physikunterrichts zeigen sich unterschiedliche Schwerpunkte in der 2- und 4-stündigen Kursstufe. Im 2-stündigen Kurs wird eine wissenspropädeutisch orientierte Grundbildung vermittelt, im 4-stündigen Kurs steht die systematische, vertiefte und reflektierte wissenschaftspropädeutische Arbeit im Mittelpunkt (Bildungsplan Gymnasium, 2004). Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich der 4-stündige Kurs mit den gleichen Inhalten tiefergehend beschäftigt. Inhaltlich stehen für den 2-stündigen Kurs zwei Alternativen zur Auswahl: **Quanten- und Astrophysik**. Der 4-stündige Kurs beschäftigt sich mit beiden Themenfeldern. Diese beiden Bereiche sollen unter verschiedenen Gesichtspunkten untersucht werden.

1. Physik als Naturbetrachtung
2. Physik als theoriegeleitete Erfahrungswissenschaft
3. Formalisierung und Mathematisierung
4. Spezifisches Methodenrepertoire der Physik
5. Anwendungsbezug und gesellschaftliche Relevanz, Physik als historisch dynamischer Prozess



6. Wahrnehmung und Messung
7. Grundlegende physikalische Größen
8. Strukturen und Analogien
9. Naturerscheinungen und technische Anwendungen
10. Struktur der Materie
11. Technische Entwicklungen
12. Modellvorstellungen und Weltbilder

Leitlinien	Quantenphysik (2- stündig)	Astrophysik (2-stündig)
4-stündige Kursstufe		
Physik als Naturbetrachtung	<ul style="list-style-type: none"> - Beobachtung und physikalische Erklärung unterscheiden und mit der Erfahrungswelt abgleichen - Grenzen von Modellen und Gesetzen erkennen 	
Physik als theoriegeleitete Erfahrungswissenschaft	<ul style="list-style-type: none"> - naturwissenschaftliche Arbeitsweisen anwenden - Modelle erstellen 	
Formalisierung und Mathematisierung	<ul style="list-style-type: none"> - funktionale Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen erkennen, graphisch darstellen und interpretieren - Formeln beschreiben und interpretieren und zur Lösung physikalischer Probleme anwenden 	
Spezifisches Methodenrepertoire	<ul style="list-style-type: none"> - Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen untersuchen - Experimente planen, durchführen und angemessen auswerten 	
Anwendungsbezug und gesellschaftliche Relevanz	<ul style="list-style-type: none"> - Fragen (auch aus dem Alltag) erkennen, bearbeiten und lösen - Zusammenhang von lokalem Handeln und globalen Auswirkungen 	
Physik als historisch dynamischer Prozess	<ul style="list-style-type: none"> - Weiterentwicklung der Physik - Faktoren der Entdeckungen 	
Wahrnehmung und Messung	<ul style="list-style-type: none"> - Lautstärke, Tonhöhe, Schwerkraft, Gravitationsfeldstärke, Streuung, Reflexion, Brechung, Intensität ... 	
Grundlegende physikalische Größen	<ul style="list-style-type: none"> - Zeit, Masse, Temperatur, Druck, Spannung, elektr. Potenzial, Kraft, Geschwindigkeit, Impuls, ... 	
Strukturen und Analogien	<ul style="list-style-type: none"> - Schall und Licht, - Strom, Antrieb und Widerstand, - Feld, Schwingung, Welle 	<ul style="list-style-type: none"> - Dopplereffekt, - Spektralanalyse, - Schall und Licht, - Gravitation und Gravitationslinien
Naturerscheinungen und technische Anwendungen	<ul style="list-style-type: none"> - Erde (Treibhauseffekt), - Mensch (physikalische Abläufe im Körper...), - Alltagsgeräte 	<ul style="list-style-type: none"> - Sterne, Sternentwicklung, - Mensch, - Erde, - Alltagsgeräte
Struktur der Materie	<ul style="list-style-type: none"> - Teilchenmodelle 	
Technische Entwicklungen	<ul style="list-style-type: none"> - Treibhauseffekt, - Kernspaltung, Chancen und Risiken 	<ul style="list-style-type: none"> - Kernspaltung, - Radioaktivität, Chancen und Risiken

Modellvorstellungen und Bilder	- Entwicklungen von Weltbildern, - Quantenphysik	- Sonnensysteme, Universum, - Relativitätstheorie
--------------------------------	---	--

Tabelle 8: Die Leitthemen Kursstufe Physik

Der **Biologieunterricht** am Gymnasium in der Sekundarstufe II für die 2-stündige Kursstufe legt die folgenden biologischen Prinzipien Leitlinien zur Analyse und Erklärung biologischer Phänomene zugrunde.

1. Struktur und Funktion
2. Zelluläre Organisation
3. Spezifische Molekülinteraktion
4. Energieumwandlung
5. Information und Kommunikation
6. Reproduktion
7. Variabilität
8. Angepasstheit

Als Leitthemen die von den biologischen Prinzipien strukturiert werden, sind vier Bereiche vorgesehen: **von der Zelle zum Organ, Aufnahme, Weitergabe und Verarbeitung von Informationen, Evolution und angewandte Biologie.**

Fachwissenschaftliches Thema	Inhalte
Von der Zelle zum Organ	Biomembran, Zellmembran, Stofftransport. Zellkern, Mitochondrium, Chloroplast, Kompartimentierung der Zelle, System Zelle, Isolierung von DNS, Aufbau DNS, Proteine, Schlüssel-Schloss-Prinzip, Proteinbiosynthese...
Aufnahme, Weitergabe und Verarbeitung von Informationen	Bau einer Nervenzelle, Informationsübertragungen, Verarbeitung von Reizen in Sinneszellen, Rolle des Gehirns...
Evolution	Lebensräume systematisieren, Tier- und Pflanzenarten in Familien ordnen, biologische Evolution, sexuelle Fortpflanzung, Evolutionstheorien
Angewandte Biologie	Gentechnik in der Medizin und Forschung, Gendiagnostik

Tabelle 9: Die Leitthemen der Kursstufe Biologie

Der vierstündige Kurs ergänzt um zwei biologische Prinzipien / Leitlinien: **Regulation** und **Wechselwirkungen**. Die vier zuvor genannten Themenblöcke bleiben dieselben und werden vertieft behandelt.



Beim Prinzip der **Regulation** werden unterschiedliche Vorgänge im Körper betrachtet, die zur Reifung des menschlichen Körpers sowie zur Stoffwechselfähigkeit beitragen.

Das Prinzip **Wechselwirkung** thematisiert das Zusammenspiel von Zellen und Organen, zwischen einzelnen Lebewesen und ihrer Umwelt und darüber hinaus der Abhängigkeit der Lebewesen innerhalb eines Ökosystems.

4. ChemCi – Unterrichtskonzeptionen

In diesem Kapitel werden verschiedene Unterrichtseinheiten vorgestellt, die Filmsequenzen als motivierendes Ankermedium nutzen. Um einen Überblick über den verwendeten Film und damit ein besseres Verständnis der Unterrichtskonzeptionen zu ermöglichen, wird zu Beginn der Inhalt des verwendeten Films kurz beschrieben und die im Unterricht genutzten Szenen tabellarisch aufgelistet. Im Anschluss daran erfolgen die fachliche Klärung sowie didaktische Hinweise zur Unterrichtskonzeption. Nach der ausführlichen Erläuterung des Unterrichtsgangs folgt zusätzlich eine tabellarische Kurzfassung des Verlaufs.

4.1 „Dante`s Peak I“ – Eine Unterrichtskonzeption zu Säuren, Säureentstehung und Säurestärke für die Sekundarstufe I

4.1.1 Filmbeschreibung „Dante`s Peak“ und Szenenüberblick

„Dante`s Peak“ ist ein actiongeladener Katastrophenfilm, der 1997 mit Pierce Brosnan (Vulkanologe Dr. Harry Dalton) und Linda Hamilton (Bürgermeisterin Rachel Wando) in den Hauptrollen in die deutschen Kinos kam. Ein schlafender Vulkan in der Nähe der verschlafenen Kleinstadt Dante`s Peak soll routinemäßig untersucht werden. Bei seiner Suche nach den typischen Anzeichen einer vermehrten Aktivität und damit einem bevorstehenden Ausbruch wird der Vulkanologe fündig. Die pH-Wert-Messung eines Gebirgsses und die abgestorbenen Bäume in seiner Umgebung machen den Wissenschaftler zum ersten Mal stutzig. Unterstützt wird dies kurze Zeit später durch den Fund zweier Leichen in einer heißen Quelle, die starke Verätzungen aufweisen. Um den Vulkan näher zu untersuchen, reist ein Forscherteam der United States Geological Survey (USGS) an und nimmt weitere Untersuchungen vor. Diese geben zu Beginn jedoch keinerlei Grund zur Besorgnis, sämtliche Messdaten sind im Normbereich und das Team reist nach kurzer Zeit wieder ab. Durch einen Zufall entdeckt der Vulkanologe in der darauffolgenden Nacht stark nach Schwefel riechendes Wasser im Trinkwasserreservoir der Stadt und ruft den Alarmzustand aus. Die Situation in der Stadt spitzt sich zu, die Bürger sind verunsichert und panisch. Als der Vulkan



Abbildung 9: Flucht vor Dante`s Peak (Dante`s Peak, Universal, 1997)



dann mitten in einer Lagebesprechung ausbricht, sind die Bürger nicht mehr zu beruhigen und verlassen panisch die Stadt und verschlimmern durch ihre unkoordinierte Flucht die Lage erheblich. Vulkanologe Harry und die Bürgermeisterin, die sich inzwischen näher gekommen sind, entscheiden sich ebenfalls zur Flucht vor dem Vulkan. Diese gestaltet sich jedoch dramatisch. Unpassierbare Straßen erschweren ihnen den Weg zur Großmutter, wo sich die Familie der Bürgermeisterin befindet. Dort angekommen muss die Gruppe den Weg über einen See antreten, da die einzige Straße mittlerweile unpassierbar geworden ist. Durch die Aktivität des Vulkanes ist der See jedoch stark sauer geworden und greift das Metallboot der Flüchtlinge an. Um ihre Liebsten zu retten, springt die Großmutter beherzt ins Wasser und zieht die Insassen an Land. Diese Tat bezahlt die Großmutter kurze Zeit darauf mit dem Leben. Wieder in der Stadt angekommen zerschlägt sich die letzte Hoffnung auf eine Flucht durch das Einstürzen der einzigen Zufahrtsbrücke. Messinstrumente zeigen dem Wissenschaftler, dass der Ausbruch des Vulkanes unmittelbar bevorsteht und er realisiert, dass nicht genügend Zeit für eine Flucht aus der Stadt verbleibt. Mit verschiedenen Messgeräten an Bord eines Autos erleben die Flüchtenden die Explosion der Vulkanspitze gefährlich nahe mit und können sich vor der heran rollenden pyroklastischen Wolke im letzten Moment in eine alte Mine retten. Durch die Wucht des Ausbruchs werden sie dort verschüttet. Der Vulkanologe wird dadurch schwer verletzt und von der Familie getrennt, es gelingt ihm jedoch einen Peilsender zu aktivieren, der allen kurze Zeit später das Leben rettet.

Zeit	Inhalt der Filmsequenz	Wichtige Aussagen
Film-trailer	Untermalt mit dramatischer Musik werden die Panik vor dem ausbrechenden Vulkan und die Zerstörungen in der Stadt gezeigt.	
0:15:22 - 0:15:48	Der Vulkanologe und die Bürgermeisterin entnehmen einem See in der Nähe des Vulkans Wasserproben und bestimmen mit Hilfe eines pH-Messgeräts den pH-Wert. Dieser liegt bei 3,48.	Bürgermeisterin: „ Was machen Sie denn da?“ Vulkanologe: „ Ich prüfe den Säuregehalt des Wassers“ Bürgermeisterin: „ Ach so, wie die vom Swimming-Pool-Service?“ Vulkanologe: „ Ja genau, wie die vom Swimming-Pool-Service.“
0:15:48 – 0:16:00	Der Vulkanologe entdeckt abgestorbene Bäume in der Nähe des Sees.	Vulkanologe: „ Diese Tannen da drüben, haben Sie eine Ahnung, wann die abgestorben sind?“ Bürgermeisterin: „Nein, vielleicht im Winter durch die Stürme. Wieso, glauben Sie wir haben ein Problem?“ Vulkanologe: „ Nein, nein, das denke ich nicht.“
0:28:00 – 0:29:38	Mit Hilfe eines Helikopters wird die Gaszusammensetzung über dem Vulkan gemessen. Am Vulkan steigen große Mengen weißer Rauch auf.	„Minimale Schwefeldioxid-Emission, kein Grund zur Besorgnis. Wir sind überall im grünen Bereich.“
0:10:13	Ein Liebespaar steigt in die heißen Quel-	

-0:10:56 und 0:18:03 -0:18:43	len um zu baden und kommt dabei ums Leben. Die Leichen weisen starke Verätzungen auf.	
1:08:03– 1:09:30 und 1:10:41– 1:12:23 evtl. 1:14:05– 1:15:33	Die Hauptdarsteller flüchten in einem Metallboot über einen See. Nach kurzer Zeit wird das Boot angegriffen, Rauch steigt auf, die Schraube des Motors fällt ab und das Boot beginnt zu sinken. Das Wasser im See hat sich in eine saure Lösung verwandelt und greift das Metall des Bootes an. Die Großmutter rettet die Familie und stirbt an ihren starken Verätzungen.	Vulkanologe: „Durch die vulkanische Aktivität wurde das Wasser zur Säure“ Bürgermeisterin „Die Säure zerfrisst das Metall.“
1:23:49 – 1:25:39 und 1:34:11 – 1:35:57	Am Ende des Films rasen die Hauptdarsteller in eine verlassene Mine um sich vor der pyroklastischen Wolke in Sicherheit zu bringen. Nach dem Vulkanausbruch können sie alle gerettet werden.	

Tabelle 10: Szenenüberblick Dante´s Peak I

4.1.2 Fachwissenschaftliche Hintergründe zu „Dante´s Peak I“

Betrachtet man den Begriff der Säure aus dem Alltag und der Umgangssprache, so sind Säuren Stoffe, die sauer schmecken und das Gegenteil von süß sind.

Chemisch betrachtet sind Säuren jedoch mehr und haben weitreichendere Eigenschaften, als dieser Beschreibung zu entnehmen ist. Die Stoffgruppe der Säuren wurde von mehreren Chemikern klassifiziert und beschrieben, das älteste heute verwendete und einfachste Konzept wurde 1887 von Svante Arrhenius formuliert.

Säure-Base-Theorie von Arrhenius

Demnach gilt: „Eine Säure ist eine Substanz, die unter Bildung von H_3O^+ -Ionen dissoziiert, wenn sie in Wasser gelöst wird.“ (Mortimer, 2003, S. 234)

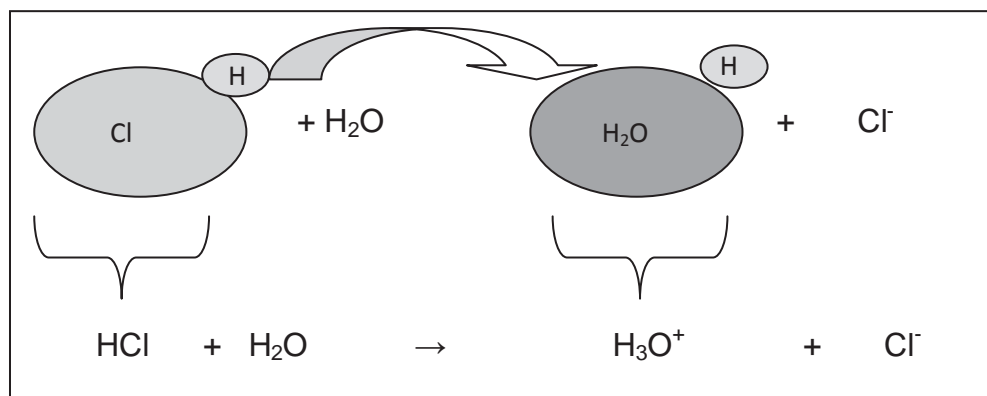


Abbildung 10: Bildung einer sauren Lösung nach dem Konzept von Arrhenius



Gibt man Chlorwasserstoffgas in Wasser, „wandern“ Wasserstoffionen aufgrund der höheren Affinität zum Sauerstoff des Wassermoleküls. Dadurch entstehen das für eine Arrhenius-Säure charakteristische Oxonium-Ion sowie ein Chlorid-Ion. Diese Lösung wird als saure Lösung bezeichnet.

Anorganische Säuren können durch das Einleiten von Nichtmetalloxiden in Wasser entstehen.



In diesem Beispiel entsteht aus Schwefeldioxid, welches in Wasser eingeleitet wird, schweflige Säure. Die entstandene schweflige Säure dissoziiert in Wasser zu H_3O^+ und HSO_3^-

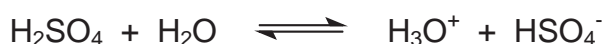


Dies sind reversible Vorgänge, die durch das Erwärmen der entstandenen Lösung wieder rückgängig gemacht werden können.

Säuren können eingeteilt werden durch ihre Säurestärke sowie durch die Anzahl ihrer Protonen pro Molekül.

Eine schwache Säure dissoziiert bei der Reaktion mit Wasser nicht vollständig, das Gleichgewicht der Reaktion liegt auf der Seite der Ausgangssubstanzen. Ein Beispiel für eine schwache Säure ist die im Haushalt oft verwendete Essigsäure.

Salzsäure hingegen ist eine starke Säure, sie liegt zu nahezu 100% dissoziiert vor. Darüber hinaus ist Salzsäure eine einprotonige Säure, sie gibt entgegen der Schwefelsäure nur ein Proton ab und bildet pro Molekül HCl folglich ein Oxonium-Ion. Schwefelsäure ist ein Vertreter der mehrprotonigen Säuren, sie ist in der Lage zwei unterschiedliche Salze zu bilden, das Hydrogensulfat und das Sulfat.



Das Arrhenius-Konzept kann lediglich auf wässrige Lösungen angewandt werden.

Das Gegenstück von Säuren sind Basen, bei denen in einer wässrigen Lösung Hydroxidionen (OH^-) vorliegen. „Nach dem Arrhenius-Konzept ist eine Base eine Substanz, die Hydroxid-Ionen enthält oder beim Lösen in Wasser hydratisierte OH^- -Ionen bildet.“ (Mortimer, 2003, S. 235)





Bei der Neutralisation reagieren die Hydroxid-Ionen der Base mit den Oxonium-Ionen der Säure zu Wasser.

Der pH-Wert

Wasser unterliegt einer Eigendissoziation, d.h. es dissoziiert, wenn auch nur zu einem geringen Teil, in Oxonium- und Hydroxid-Ionen.



Das Ionenprodukt des Wassers beträgt (bei 25°C) $K_W = c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{OH}^-) = 1,0 \cdot 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$

In Wasser entstehen gleich viele Oxonium- wie Hydroxidionen, deshalb gibt für die Konzentration an Oxonium-Ionen $c(\text{H}_3\text{O}^+) = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$. Bei einer Säure ist die Konzentration der H_3O^+ -Konzentration größer als 10^{-7} mol/l und die OH^- -Ionenkonzentration entsprechend kleiner. Der pH-Wert ist definiert als der negative Zehnerlogarithmus von der Konzentration an Oxonium-Ionen. Es kann festgehalten werden, dass der pH-Wert von Säuren unter 7, der des Wassers bei 7 und der von Basen über 7 liegt. Bei dieser Vereinfachung gilt zu beachten, dass eine pH-Wertveränderung um eine Einheit eine Verzehnfachung oder zehnfache Abnahme der Oxonium- bzw. der Hydroxid-Ionen bedeutet. Der pH-Wert einer Lösung kann durch ein pH-Wertmessgerät oder durch Indikatoren angezeigt werden. Der pOH ist analog als negativer dekadischer Logarithmus der OH^- -Aktivität definiert.

$$\text{pH} + \text{pOH} = \text{p}K_W = 14$$

Indikatoren sind intensive Farbstoffe und selbst schwache Säuren, die je nach pH-Wert eine unterschiedliche Färbung annehmen.



Universalindikatoren sind ein Gemisch aus mehreren Indikatoren, so dass jeder Bereich mit einem charakteristischen Farbumschlag gekennzeichnet ist.

Reaktionen von Metallen und Säuren

Die Reaktionen von Metallen mit Säuren gehören in den Themenbereich der Redoxchemie. Mit Hilfe der Spannungsreihe der Metalle lässt sich vorhersagen, ob ein Metall von einer Säure angegriffen wird. Das Metall muss dabei in der Lage sein, die Wasserstoffionen zu Wasserstoff zu reduzieren.

Metall		Volt
Magnesium	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	- 2,36
Aluminium	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	- 1,66
Zink	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	- 0,76
Eisen	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	- 0,44
Zinn	$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	- 0,14
Wasserstoff	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0
Eisen	$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	+ 0,771
Zinn	$\text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}^{2+}$	+ 0,15
Kupfer	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	+ 0,34
Silber	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	+ 0,79
Gold	$\text{Au}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	+ 1,69

Tabelle 11: Auszug aus der Spannungsreihe der Metalle (Mortimer 2003, Anhang B)

Edle Metalle mit einem positiven Reduktionspotenzial werden von Säuren nicht angegriffen. Ein Beispiel für eine Reaktion von Säure mit einem unedlen Metall ist die Reaktion von Salzsäure mit Zink.



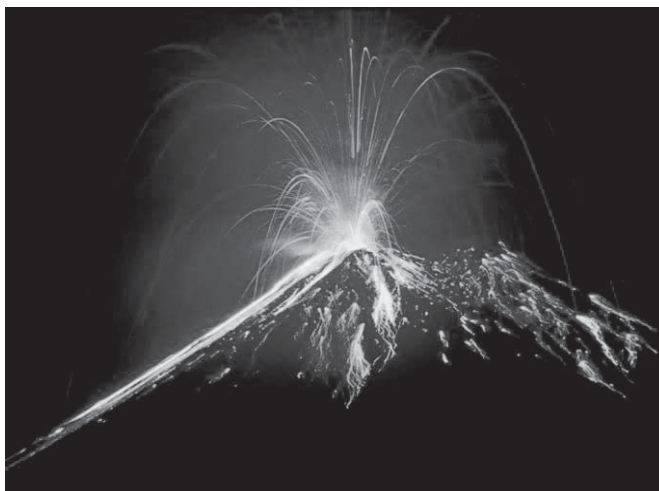
Dabei bildet sich Wasserstoff und das Salz Zinkchlorid. Der Wasserstoff (Änderung der Oxidationszahl von +I zu 0) wird reduziert und das Zink (Änderung der Oxidationszahl von 0 zu +II) oxidiert. Bei Reaktionen unedler Metalle mit Säuren wird meist der Wasserstoff der Säure zu Wasserstoffgas reduziert, das Metall oxidiert und bildet mit dem Säurerest ein Salz.

Die Entstehung von Vulkanen

„Vulkane sind jene punktförmigen oder spaltenförmigen Öffnungen in der Erdkruste, aus denen die vulkanischen Gesteinsprodukte an die Oberfläche treten, dort erstarren und sie dadurch gestalten.“ (Hess, 2003, S. 35)

Vulkane entstehen meist dort, wo Platten der Erdkruste aufeinandertreffen. Sie *„entstehen entweder an divergierenden oder konvergierenden Plattenrändern oder im kontinentalen oder ozeanischen Platteninnern.“* (Hess, 2003, S. 36)

Magma, genauer silikatische Gesteinsschmelzen sind möglich, da im Erdinneren extreme Temperaturen vorherrschen und durch Veränderung der vorherrschenden Bedingungen (Erniedrigung des Drucks, Erhöhung der Temperatur, Änderung der chemischen Zusammensetzung) das Gestein aufgeschmolzen wird. Die häufigsten Elemente der Schmelze (nach Silizium) sind Sauerstoff, Aluminium, Eisen, Calcium, Magnesium, Natrium, Titan und Kalium (Decker, 1992). Durch ihre geringere Dichte steigen



Magmen aus dem Erdmantel auf und sammeln sich in Kammern.

Abbildung 11: Ausbruch des Stromboli (Gawenda, 2010)

Durch die im Magma enthaltenen Gase, steigt der Druck zunehmend und das Magma bahnt sich durch Plattengrenzen und dadurch entstandene Spalten seinen Weg nach oben (Decker, 1992). Bei einem explosiven Ausbruch von Vulkanen wird zuerst Asche ausgeworfen, danach folgen die Lavaströme. Dabei werden hauptsächlich Wasser, Kohlenstoffdioxid, Schwefeldioxid, Chlorwasserstoff und Fluorwasserstoff als Gase freigesetzt (Schmincke, 2000).

Im Mai 1980 brach der Mount St. Helens in Amerika aus. Ein Erdbeben der Stärke 5 kündigte den drohenden Ausbruch an. Kurze Zeit später folgte eine Explosion und Aschewolken ungeheuren Ausmaßes blähten sich auf. Die durch den Ausbruch ausgelöste Gesteinslawine stürzte mit einer Geschwindigkeit von 250 km/h nach unten in den angrenzenden See und dazugehörigen Fluss. Durch den dabei entstehenden Wasserdampf und die beim Ausbruch freiwerdenden Gase bildete sich eine gigantische 300°C heiße, pyroklastische Wolke, die mit bis zu 400 km/h die umliegende Umwelt zerstörte (Schmincke, 2000).



Abbildung 12: Ausbruch des Mount St. Helens (United States Geological Survey, 1980)

4.1.3 Didaktische Anmerkungen zu „Dante´s Peak I“

Die im Folgenden vorgestellte Unterrichtseinheit für den Chemieunterricht an Realschulen umfasst einen Zeitraum von **8-10** Unterrichtsstunden. Die thematisierten In-



halte decken drei der geforderten vier Basiskonzepte Stoff-Teilchen-Konzept, Struktur-Eigenschaftsbeziehung, chemische Reaktion und energetische Betrachtung ab. **Das Stoff-Teilchen-Konzept** wird durch den atomaren Aufbau von Säuren und die Säure-Base-Theorie nach Arrhenius berücksichtigt. Ein Nachteil der Säure-Base-Theorie von Arrhenius ist, dass sie nur auf wässrige Lösungen anwendbar ist und keine Thematisierung des Gleichgewichtsgedankens ermöglicht. Dies stellt aber für den Chemieunterricht in der Sekundarstufe I der Realschule kein Problem dar.¹ Im Unterricht der Sekundarstufe II sollte man jedoch auf die Brönstedt-Lowry-Theorie zurückgreifen.

Stoff-Teilchen-Konzept	Struktur-Eigenschafts-Beziehung	Chemische Reaktion
<ul style="list-style-type: none"> - Aufbau von Säuren - Säure-Base-Theorie nach Arrhenius 	<ul style="list-style-type: none"> - Entstehung Oxonium-Ion - Säuren und ihre Wirkung 	<ul style="list-style-type: none"> - Säuren und Metalle - Säuren und Wasser - Bildung von Säuren durch das Einleiten von Nichtmetalloxiden

Tabelle 12: Überblick über die thematisierten Basiskonzepte

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen ergeben sich durch die saure Wirkung der Oxonium-Ionen.

Den Bereich der **chemischen Reaktion** tangiert man bei Reaktionen zur Bildung von Säuren durch das Einleiten von Nichtmetalloxiden in Wasser, die Entstehung der Oxonium-Ionen (Säurereaktion), und der Reaktion von Säure und Metall (Redoxreaktion).

Betrachtet man die Unterrichtseinheit und die Inhalte genauer, lassen sich mit der folgenden Unterrichtseinheit alle geforderten vier Kompetenzbereiche abdecken.

Im Bereich des **Fachwissens** vermittelt die Unterrichtskonzeption Inhalte zum pH-Wert, seiner Bestimmung und den Aussagen über Säuren und Basen, die damit getroffen werden können. Gängige Indikatoren sowie das pH-Wertmessgerät werden den Schülern vorgestellt. Die Säuredefinition nach Arrhenius wird eingeführt und die Dissoziation von Säuren in Wasser anhand von mehreren Beispielen gängiger ein- und mehrprotonigen Säuren besprochen. Die Entstehung der Säuren wird durch das Einleiten von Nichtmetalloxiden in Wasser thematisiert und die dabei ablaufenden Reaktionen an verschiedenen Beispielen erarbeitet. Typische Eigenschaften der Säuren, z.B. ihre ätzende Wirkung und ihre Reaktion mit Metallen werden erläutert

¹ Auch der pH-Wert wird vereinfacht ohne Thematisierung des Gleichgewichts betrachtet



und dabei zusätzlich der Bereich der Redoxchemie angesprochen sowie die Säurestärke an gängigen Beispielen thematisiert. Die Schülerinnen und Schüler wiederholen in der Unterrichtseinheit die Nachweisreaktionen von Wasserstoff und Sauerstoff und vertiefen ihre Fähigkeiten im Aufstellen von Reaktionsgleichungen. Im Bereich der Geographie erwerben die Lernenden Fachwissen über die Verbreitung, Entstehung, den Aufbau und den Ausbruch von Vulkanen.

Neuen **Erkenntnisgewinn** erreichen die Schülerinnen und Schüler durch das Testen und anschließende Vergleichen und Ordnen verschiedener Alltagssubstanzen im Hinblick auf ihren pH-Wert. Dabei üben sie die praktische Anwendung von Indikatoren und pH-Messgeräten. Durch das Messen der Leitfähigkeit verschiedener Säureverdünnungen werden fachwissenschaftliche Erkenntnisse der Brönstedt-Theorie verdeutlicht. Die ätzende Wirkung von Säuren und die damit verbundenen Sicherheitsbestimmungen werden im Experiment veranschaulicht. Die Schülerinnen und Schüler steigern ihre Fähigkeiten im Planen und Durchführen sowie Auswerten von Experimenten. Hierbei lernen sie gängige Laborgeräte kennen und arbeiten im Sinne der Sicherheitsregeln und Gefahrstoffverordnungen selbstständig und eigenverantwortlich. Sie lernen durch das Erstellen eines Concept-Maps bzw. einer Mind-Map strukturierende Lernmethoden kennen und wenden sie als Strukturierungshilfe auf den komplexen Themenbereich der Säuren an.

Im Bereich der **Kommunikation** erwerben die Schülerinnen und Schüler Kompetenzen durch das selbstständige Erarbeiten von Informationstexten. Ein Telefongespräch liefert erste Fakten zu Arrhenius Säuretheorie die herausgearbeitet und im Plenum diskutiert werden. Ein weiterer Informationstext beschäftigt sich mit der Entstehung von Vulkanen. Dabei wird das Anwenden der chemischen Fachsprache durch anschließende Diskussionen eingeübt und die Lesekompetenz der Schülerinnen und Schüler verbessert.

Ihre **Bewertungskompetenz** entwickeln die Lernenden dadurch, dass sie Filmszenen auf chemische Inhalte hin untersuchen, diese herausstellen und daraus Leitfragen entwickeln. Durch verschiedene Experimente lernen sie u.a. die Stärke von Säuren einzuschätzen und mit anderen Beispielen zu vergleichen. Eine abschließende Bewertung des Wahrheitsgehalts der gezeigten Filmszenen veranlasst die Schülerinnen und Schüler dazu, ihr erworbenes Fachwissen erneut anzuwenden und im Plenum darüber zu diskutieren.

Fachwissen	Erkenntnisgewinn	Kommunikation	Bewerten
- pH-Wert	- Messen mit Universalindikator	- Vorgänge bei einem Vulkanausbruch erarbeiten und diskutieren.	- Chemie in Film-szenen
- pH-Wertmessung	- pH-Vergleich von Alltagsprodukten	- Textarbeit Säuretheorie	- Leitfragen formulieren
- Indikatoren	- Messen mit pH-Meter	- Ergebnisse der Experimente besprechen und diskutieren	- Säurestärke im Experiment einschätzen.
- Säuredefinition	- Leitfähigkeitsmessung von Säuren.	- Lesekompetenz	- Szenen abschließend bewerten /diskutieren
- Oxonium-Ionen	- Experiment Säure und Metall	- Fachsprache korrekt einsetzen.	
- Ein- und mehrprotonige Säuren	- Säurestärke experimentell bestimmen		
- Entstehung von Nichtmetalloxiden	- Aussagen aus den Experimenten ableiten		
- Entstehung der Säure durch Einleiten von Nichtmetalloxiden in Wasser	- Ätzende Wirkung experimentell erarbeiten		
- Vulkanentstehung	- Concept-Map oder Mind-Map über Säure erstellen		
- Säurestärke			
- Säureeigenschaften			
- Nachweisreaktion Wasserstoff und Sauerstoff			

Tabelle 13: Inhalte der Basiskonzepte

4.1.4 Unterrichtseinheit „Dante’s Peak I“

Im Vorfeld der Unterrichtseinheit lernen die Schülerinnen und Schüler auf phänomenologischer Ebene Indikatoren durch das Testen von Alltagssubstanzen kennen. In einem weiteren Schritt wird durch das Messen mit einem pH-Meter den verschiedenen Farben Werte zugeordnet, so dass am Ende der ersten einführenden Doppel-



stunde ein pH-Strahl entsteht, auf dem die Lernenden verschiedenen Alltagsprodukten pH-Werte zuordnen können.

V1: Testen von Alltagsprodukten

Geräte und Chemikalien: Becherglas, 11 Plastikbecher, 6 Plastiklöffel, Universalindikatorpapier, Seife, Milch, Brezel, Zitronensaft, Mineralwasser, Essig, Waschmittel, Cola, Leitungswasser, Zucker, Natron

Durchführung und Beobachtung: Zu Beginn löst man etwas Waschmittel, Seife, Zucker, Essig, Zitronensaft und Natron in jeweils einem Plastikbecher in ca. 20 mL Wasser (mit dem Becherglas abmessen). Anschließend füllt man von den flüssigen Chemikalien ca. 20 mL in einen Plastikbecher. Jede Substanz wird nun mit einem Streifen Universalindikatorpapier (ca. 1 cm) überprüft. Dabei zeigen sich unterschiedliche Färbungen der Teststreifen. Durch eine anschließende Messung mit einem pH-Messgerät können den Farben Werte zugeordnet werden.

Erklärung und Interpretation: Die von den Schülern getesteten Alltagsprodukte lassen sich in basische, saure und neutrale Produkte einteilen. Saure Produkte zeigen eine gelb oder rötliche Verfärbung des Universalindikatorpapiers und einen pH-Wert unter 7. Neutrale Produkte liegen um den pH-Bereich 7 und färben das Universalindikatorpapier grün. Basische Produkte lassen sich an der blauen Verfärbung und einem pH-Wert über 7 erkennen.

In der darauf folgenden Unterrichtsstunde wird durch Zeigen des Kinotrailers des Spielfilms“ Dante´s Peak“ eine erste wichtige Motivationsphase geschaffen. Die Schüler werden mit dem Inhalt des Filmes vertraut gemacht und darüber informiert, dass in den nächsten Wochen mit Hilfe des Filmes chemische Inhalte erarbeitet und die aus dem Film gezeigten Szenen auf ihren Wahrheitsgehalt hin untersucht werden sollen. In dieser Phase des Unterrichts wird im Klassenraum ein Poster angebracht, auf das die Schüler während der gesamten Unterrichtseinheit ihnen wichtige Beobachtungen und Sachverhalte notieren können, die ihnen neben dem eigentlichen Unterrichtsgegenstand in den Sequenzen aufgefallen sind und denen sie gerne auf den Grund gehen würden.



Abbildung 13: pH-Wertmessung mit pH-Meter (Dante´s Peak, Universal, 1997)

Im Anschluss daran wird eine Szene des Filmes gezeigt. Sie zeigt die beiden Hauptdarsteller bei der pH-Wertmessung eines Sees in der Nähe des Vulkans (0:15:22 – 0:15:48).

Eine zweite, thematisch ähnliche Szene zeigt abgestorbene Bäume in der Nähe des übersäuerten



Gebirgssees (0:15:48 – 0:16:00). Auch hier stellt sich den Schüler die Frage, was dort passiert sein könnte und wie diese Szene zu der ersten in Bezug gesetzt werden kann.

Der Begriff der Säure im Zusammenhang mit dem gezeigten pH-Wert wird im Unterrichtsgespräch schnell fallen und dieser wird mit den Schülern nun gemeinsam erarbeitet. Fachlicher Inhalt ist hierbei die Säuredefinition nach Brönstedt, die die Schüler anhand eines fiktiven Telefongesprächs in Partnerarbeit erarbeiten. Das Telefongespräch wird mit der Äußerung Brönstedts zur sauren Lösung unterbrochen. Thematisiert wird nun die Reaktion einer Säure mit Wasser. Erkenntnisse hierzu liefert eine Leitfähigkeitsmessung von konzentrierter Essigsäure und ihrer Verdünnungen.

V2: Leitfähigkeitsmessung von Essigsäureverdünnungen

Geräte und Chemikalien: Spannungsquelle, Laborboy, Platin- oder Kohleelektroden, Stativmaterial, Amperemeter, Kabelmaterial, Erlenmeyerweithalskolben 250 mL, Becherglas 400 mL, Pipette, Pi-Pump, Eisessig (GHS 02, Gefahr; GHS 05 ätzend), Wasser

Durchführung und Beobachtung: Die Elektroden werden mit einer Spannungsquelle und Amperemeter in Reihe geschaltet und in einem Erlenmeyerkolben positioniert. Eine geeignete Stromstärke wird eingestellt. In den Erlenmeyerkolben gibt man 20 mL Eisessig und misst die Leitfähigkeit. Nun gibt man vorsichtig mit Hilfe eines Becherglases Wasser in den Erlenmeyerkolben und beobachtet die Leitfähigkeit, die sich durch die Zugabe ständig erhöht. Die sich verändernde Eintauchtiefe wird durch den Laborboy ausgeglichen.

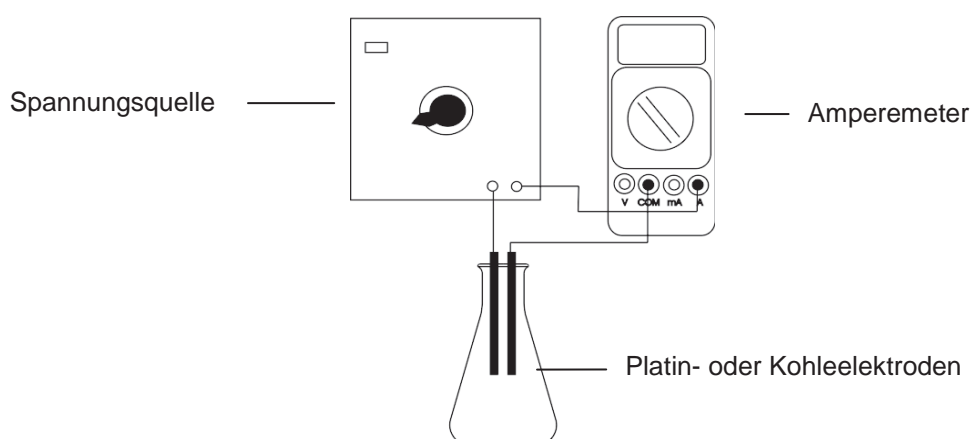


Abbildung 14: Leitfähigkeitsmessung

Erklärung und Interpretation: Die bei zunehmender Verdünnung ansteigende Leitfähigkeit weist darauf hin, dass durch die Zugabe von Wasser zu konzentrierter Säure Ionen gebildet werden. Auf dieser Erkenntnis aufbauend wird das Telefongespräch



weitergeführt und Protolysegleichungen der gängigsten ein- und mehrprotonigen Säuren formuliert sowie die Begriffe Oxonium-Ionen und Säurerest-Ionen eingeführt und gekennzeichnet.

In den nächsten Unterrichtsstunden stehen die Ereignisse im Vordergrund, die zur Versäuerung des Flusses und dem Absterben der Bäume geführt haben. Anhand des Filmtrailers konnten die Schüler bereits den Eindruck gewinnen, dass ein Vulkanausbruch Ursache der Umweltveränderungen sein muss. Mit Hilfe eines Arbeitsblatts werden die wichtigen Vorgänge bei einem Vulkanausbruch erarbeitet sowie die bei einem Vulkanausbruch entstehenden Gase aufgelistet. Auf dieses Wissen wird im Laufe der Unterrichtseinheit immer wieder zurückgegriffen. Unterstützend kann hier auf eine weitere Filmszene zurückgegriffen werden, in der mit Hilfe eines Hubschraubers die Zusammensetzung des am Vulkan aufsteigenden Gases untersucht wird (0:28:00 – 0:29:38).

Der weitere Gang im Unterricht führt zu den nächsten beiden Szenen (0:10:13 - 0:10:56 und 0:18:03 – 0:18:43). Diese zeigen ein junges Liebespaar, das während eines Bades in einer heißen Quelle ums Leben kommt. Die Schüler stellen Hypothesen auf und erarbeiten, dass möglicherweise die bei einem Vulkanausbruch frei werdenden Gase für den Tod verantwortlich sind. Im Schülerexperiment überprüfen die Schüler exemplarisch am Beispiel Kohlenstoffdioxid, dass durch das Einleiten von bestimmten Gasen in Wasser tatsächlich saure Lösungen entstehen.

V3: Wie entstehen Säuren?

Geräte und Chemikalien: Bunsenbrenner, Dreifuß mit Drahtnetz, Glasstab, zwei Bechergläser 100 mL, Kolbenprober 100 mL, Universalindikator, Wasser, Kohlenstoffdioxid (GHS 04, Achtung), Mineralwasser

Durchführung und Beobachtung: In ein Becherglas werden 20 mL Mineralwasser gefüllt und 20 Tropfen Universalindikator hinzugegeben. Anschließend erwärmt man das Mineralwasser mit dem Brenner und lässt es einige Zeit sieden. Die zu Beginn auftretende gelbe Färbung des Universalindikators verändert sich beim Sieden und wird grün. In ein zweites Becherglas werden 20 mL Leitungswasser gefüllt und mit 20 Tropfen Universalindikator versetzt. Nun fügt man mit Hilfe des Kolbenprobers langsam 100 mL Kohlenstoffdioxid in das mit Wasser und Universalindikator gefüllte Becherglas, dabei zeigt sich eine Verfärbung des Indikators von grün nach gelb. Zum Abschluss erhitzt man auch diese Flüssigkeit über dem Bunsenbrenner, wodurch eine Verfärbung des Universalindikators zu seiner Ausgangsfarbe Grün erfolgt.

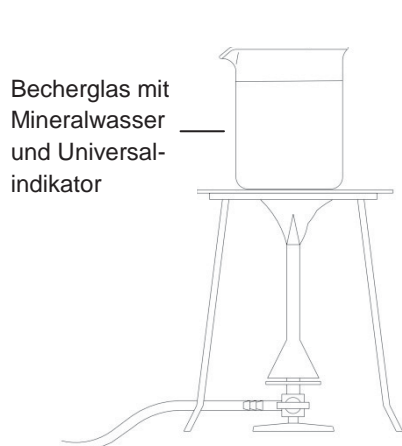


Abbildung 15: Erhitzen von Mineralwasser

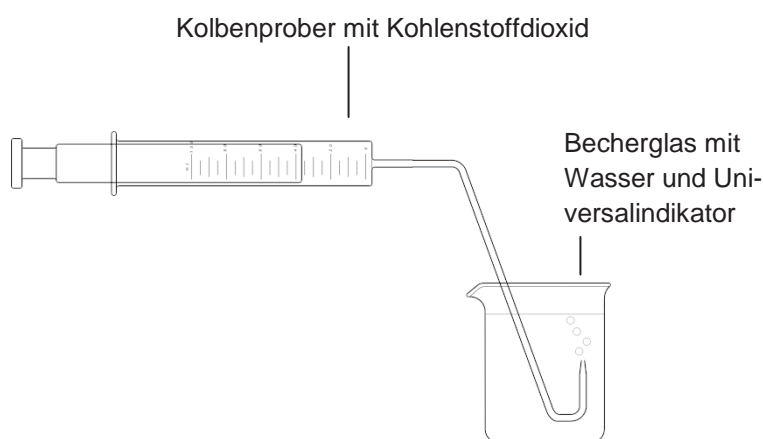


Abbildung 16: Einleiten von Kohlenstoffdioxid in Wasser

Erklärung und Interpretation: Durch das Einleiten von Kohlenstoffdioxid in Wasser entsteht eine saure Lösung. Diese verfärbt den Universalindikator gelb. Die Reversibilität dieser Reaktion kann durch Erhitzen der sauren Lösung aufgezeigt werden.



Oft stellen Schüler im Unterricht dann die Frage, ob die Reaktion eines Gases mit Wasser immer zum Entstehen einer sauren Lösung führt. Dass dies nicht der Fall ist, kann den Schülern durch das Einleiten von Sauerstoff in Universalindikatorlösung gezeigt werden.

Im weiteren Unterrichtsverlauf wird mit den Schülern erarbeitet, welche saure Lösung bzw. welches Gas für die tödlichen Verätzungen des Liebespaars verantwortlich sein könnte. Im Schülerexperiment werden die Herstellung von Kohlensäure und schweflige Säure aus Kohlenstoffdioxid bzw. Schwefeldioxid als Hauptkomponenten vulkanischer Gase einander gegenüber gestellt.

V4: Herstellung von schwefliger Säure / Kohlensäure

Geräte und Chemikalien: Kartuschenbrenner, Streichhölzer, Waage, Wägebepapier, schwer schmelzbares Reagenzglas mit seitlichem Ansatz, Spritze 20 mL, Siliconschlauchstück (d = 0,8 cm) ca. 2 cm, Siliconschlauchstück (d = 0,4 cm) ca. 2 cm, Schlauchverbindungsstück, Reagenzglasklammer, Spatel, Luftballon, Schwefelplättchen (GHS 07, Achtung) bzw. Aktivkohle gekörnt, Universalindikatorlösung, Sauerstoff (GHS 03, entzündend; GHS 04, Achtung)



Durchführung und Beobachtung: Zu Beginn verbindet man die beiden Schlauchstücke über das Verbindungsstück miteinander und befestigt sie am seitlichen Ansatz des Reagenzglas. Anschließend gibt man 0,05 g Schwefelplättchen bzw. 0,02 g Aktivkohle in das Reagenzglas, füllt 5 mL Universalindikatorlösung in die Spritze und befestigt sie am Schlauchende. Nun wird das Reagenzglas gründlich mit Sauerstoff gespült und mit einem Luftballon verschlossen.

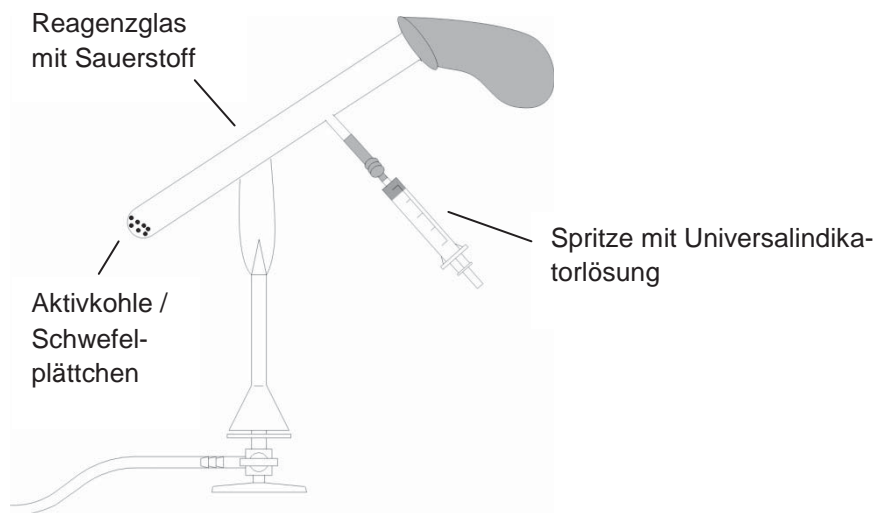
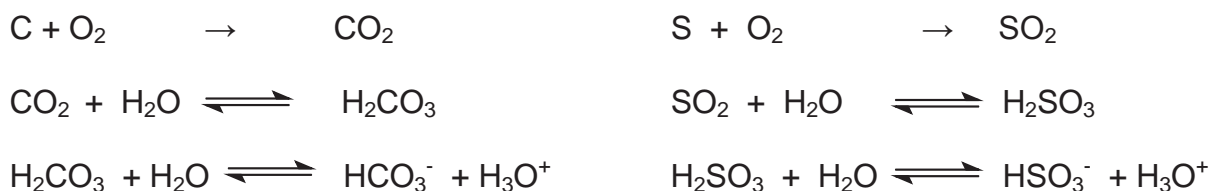


Abbildung 17: Herstellung Kohlen- / schweflige Säure

Unter ständigem Schütteln wird es nun vorsichtig über dem Brenner erhitzt, so dass der Schwefel bzw. die Aktivkohle möglichst vollständig reagieren. Das entstandene Gas wird 10-mal durch die Flüssigkeit in der Spritze gesaugt. Dabei darf keine Flüssigkeit ins Reagenzglas gelangen. Der Universalindikator verfärbt sich gelb bzw. rot.

Erklärung und Interpretation: Die Kohle bzw. der Schwefel verbrennt zu Kohlenstoffdioxid bzw. Schwefeldioxid. Wird das Gas in Wasser mit Universalindikator gelöst, entstehen saure Lösungen der Kohlensäure bzw. schwefligen Säure. Die Kohlensäurelösung verfärbt dabei den Universalindikator gelb, die saure Lösung der schwefligen Säure rot.



Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass die saure Lösung der Kohlensäure zu schwach ist, um starke Verätzungen zu verursachen und somit die Lösung der schwefligen Säure für die im Film gezeigten Verletzungen verantwortlich sein muss. Gleichzeitig wird deutlich, dass es unterschiedlich starke Säuren / Säurelösungen



gibt und dass die Säurestärke mit der Farbe des Universalindikators bzw. dem pH-Wert korreliert.

Eine vierte Szene des Filmes zeigt die dramatische Flucht der Hauptdarsteller in einem Metallboot über einen See, der durch die vulkanische Aktivität zur sauren Lösung wurde [(1:08:03–1:09:30) und (1:10:41–1:12:23) evtl. (1:14:05–1:15:33)]. Dabei wird das Boot von der sauren Lösung zerfressen und die Hauptdarsteller geraten in große Gefahr. Da die Schüler im Unterrichtsgang bisher die Lösung der schwefligen Säure als Verursacher der Verätzungen identifiziert haben, liegt bei ihnen schnell die Vermutung vor, dass im See eine saure Lösung der schwefligen Säure entstanden sein muss, die das Metall des Bootes angreift. Diese Vermutung wird in einem weiteren Experiment überprüft.

V5: Der Einfluss von saurer Lösung auf Zink, Eisen und Stahl

Geräte und Chemikalien: Stahlpulver, Stahlplatte, Eisenpulver, Reagenzglasständer, Eisennagel, Zinkpulver (GHS 02, Gefahr; GHS 09, Achtung), Zinkplatte, 6 Reagenzgläser, 6 Luftballons, schweflige Säure 6 % (GHS 05, ätzend; GHS 07, Achtung), Schwefelsäure 6 % (GHS 05, ätzend)

Durchführung und Beobachtung: Die Reagenzgläser werden jeweils mit 5 ml saurer Lösung gefüllt. Nun gibt man in drei Reagenzgläser ein Metallstück und verschließt sofort mit einem Luftballon. Es ist keine Reaktion zu beobachten. Auch die durch das Pulver bewirkte Vergrößerung der Oberfläche im analog durchgeführten Versuch zeigt keinerlei Wirkung. Dieser

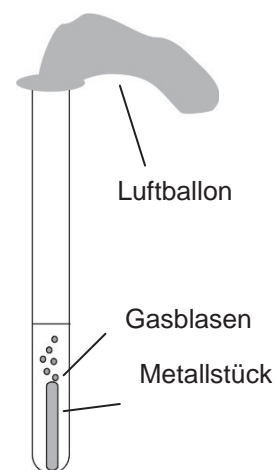


Abbildung 18: Metall und Säure

Teil des Versuchs ist für die Schüler durchaus verwunderlich. Die bisher als Ursache identifizierte Lösung der schweflig den Schülern eingangs formulierte Hypothese kann nicht bestätigt werden. Durch den Rückbezug auf die bei einem Vulkanausbruch freiwerdenden Gase wird das Schülerinteresse auf die Schwefelsäure gelenkt. Analog wird der Versuch mit 5 mL Schwefelsäurelösung wiederholt. Es zeigt sich eine deutliche Reaktion. Am Metall ist eine Gasentwicklung zu beobachten. Da bei diesem Experiment Schwefelwasserstoff durch naszierenden Wasserstoff entstehen kann, ist es unbedingt erforderlich das Reagenzglas mit einem Luftballon zu verschließend und während des Versuchs nicht zu öffnen.

Erklärung und Interpretation: Die im Versuch verwendeten Metalle reagieren mit Schwefelsäurelösung und ein Gas wird freigesetzt. Im Unterrichtsgeschehen wird anhand der Summenformel der Säure überlegt, um welches Gas es sich dabei han-

deln könnte. Schnell werden die Schüler Wasserstoff und Sauerstoff als Vermutungen äußern.

In einem weiteren Versuch wird das Gas pneumatisch aufgefangen und durch die entsprechenden Nachweisreaktionen eindeutig als Wasserstoff identifiziert.

V6: Die Reaktion von Säure mit Metallen

Geräte und Chemikalien: 4 Reagenzgläser, Stopfen mit Loch, gebogenes Glasrohr, pneumatische Wanne, Spatel, Streichhölzer, Kerze, Salzsäure 25 % (GHS 05, ätzend; 07, Achtung), Zinkgranalien, Wasser, Kerze

Durchführung und Beobachtung: In ein Reagenzglas gibt man 20 mL Salzsäure und 5 Zinkgranalien und verschließt es mit einem Stopfen mit Glasrohr. Das bei dieser Reaktion entstehende Gas wird pneumatisch im Reagenzglas aufgefangen. Das aufgefangene Gas wird durch die positive Knallgasprobe als Wasserstoff identifiziert.

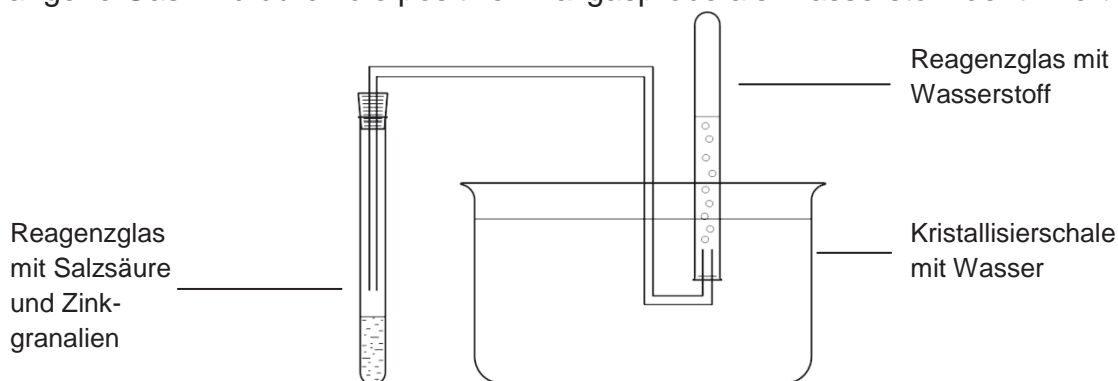


Abbildung 19: Reaktion von Säure mit Metall

Nach dieser weiteren erarbeiteten Eigenschaft von sauren Lösungen wird den Schülern schließlich das Ende des Filmes gezeigt, um den Spannungsbogen der Geschichte zu schließen [(1:23:49 – 1:25:39) und (1:34:10 – 1:35:57)]. Diese beiden Sequenzen zeigen zum einen die dramatische Flucht der Hauptdarsteller vor dem katastrophalen Vulkanausbruch in eine Mine, wo sie durch die gewaltige Explosion verschüttet werden und zum anderen die glückliche Rettung der Verschütteten zum Abschluss des Films.

Mit dem Ende des Filmes endet jedoch noch nicht die dargestellte Unterrichtseinheit; ein sehr wichtiger Baustein, mit Blick auf die zu vermittelnde Kritikfähigkeit der Schüler ist das erneute Betrachten der gezeigten Szenen und das Überprüfen des Wahrheitsgehalts. Die Schülerinnen und Schüler wenden ihr neu erworbenes Wissen auf die bereits bekannten Unterrichtssequenzen an.



Filmszene	Realistisch?	Hollywoodistisch?
Szene 1a: pH-Wertmessung eines Fließgewässers	Die Durchführung der pH-Wertmessung ist realistisch.	Der gemessene pH-Wert ist bei einem Fließgewässer unrealistisch.
Szene 1 b: abgestorbene Bäume	Schäden an Bäumen durch Kontakt mit Säuren sind vorstellbar.	Ausmaß und Zeitraum werden falsch bzw. übertrieben dargestellt. Effekt sehr stark eingegrenzt.
Szene 2: Liebespaar badet, Leichen werden gefunden.	Heiße Quellen in Vulkannähe sind durchaus verbreitet. Die Absenkung des pH-Werts durch einströmende Gase ist denkbar.	Der Tod des Pärchens in solch kurzer Zeit ist unmöglich. Eine Absenkung des pH-Werts durch einströmende Gase ist denkbar, jedoch nicht in diesem Maße.
Szene 3 a: Beim Überqueren des Sees wird das Boot zerstört	Säuren greifen tatsächlich Metalle an und zerstören diese.	Die Heftigkeit der Reaktion wird übertrieben dargestellt. Es ist unmöglich, dass der See so sauer ist, dass er Metalle angreift.
Szene 3 b: Oma wird beim Rettungsversuch schwer verletzt	Verätzungen der Haut durch starke Säuren sind möglich.	Ausmaß der Verletzungen ist unrealistisch. Es sind nur einzelne Personen betroffen, andere resistent. Fische sind unversehrt.
Szene 3 c: Oma stirbt an ihren Verätzungen	Starke Verätzungen sind durchaus schmerzhaft und heilen schwer ab.	Jedoch führen sie nicht in solch kurzer Zeit zum Tode.

Tabelle 14: Exemplarische Schülerbeobachtungen

Aus den sehr differenzierten Aussagen und Beobachtungen der Schüler im Hinblick auf die gezeigten Verätzungen der Darsteller lässt sich optional eine weitere Versuchsanordnung ableiten.

V7: Die Wirkung von Säure auf tierisches Gewebe

Geräte und Chemikalien: 6 Schraubdeckelgläschen, Pinzette, Fleischproben (Schweineschnitzel, Schweineschwänze o.ä.), Salzsäure 37 % (GHS 05, ätzend; GHS 07, Gefahr), Salzsäure 7 % (GHS 05, ätzend; GHS 07, Gefahr), Schwefelsäure 98 % (GHS 05, ätzend), Schwefelsäure 18 % (GHS 05, ätzend), Eisessig (GHS 02, Gefahr; GHS 05, ätzend), Essigsäure 12 % (GHS 02, Gefahr; GHS 05, ätzend)

Durchführung und Beobachtung: In die 6 Schraubdeckelgläser werden jeweils 10 mL der Säurelösungen gegeben. Mit der Pinzette legt man jeweils ein Stück Gewebeprobe hinzu und verschließt die Gläschen mit den Deckeln. Bereits nach einigen Mi-

nuten zeigt sich bei den Proben in konzentrierter Schwefelsäure sowie in konzentrierter Salzsäure eine deutliche Veränderung des Gewebes. Bei Eisessig und den weniger konzentrierten sauren Lösungen ist kaum eine Veränderung zu beobachten. Lässt man die Proben einige Tage stehen, so lösen sich die Gewebeproben in konzentrierter Salz- und Schwefelsäure komplett auf, in den anderen Gläsern zeigen sie geringere, aber deutlich sichtbare Veränderungen.

Erklärung und Interpretation: Die Einwirkung von konzentrierter Säurelösungen auf lebendes Gewebe führt zu einer Koagulationsnekrose, einer Gerinnung der Zellweiße an der betroffenen Hautstelle. Durch diese Schutzreaktion wird ein tieferes Eindringen der Säure in tiefere Gewebeschichten verhindert werden. Dies ist bei totem Gewebe nicht mehr der Fall und die Säure gelangt in tiefere Schichten und zerstört die Struktur des Gewebes und der Knorpel bzw. Knochen.

Als Abschluss der Unterrichtseinheit bietet sich das Anfertigen eines Concept-Maps an, um den Schülerinnen und Schülern die chemischen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Szenen und den erarbeiteten Unterrichtsinhalten noch einmal anschaulich zu präsentieren und festzuhalten.

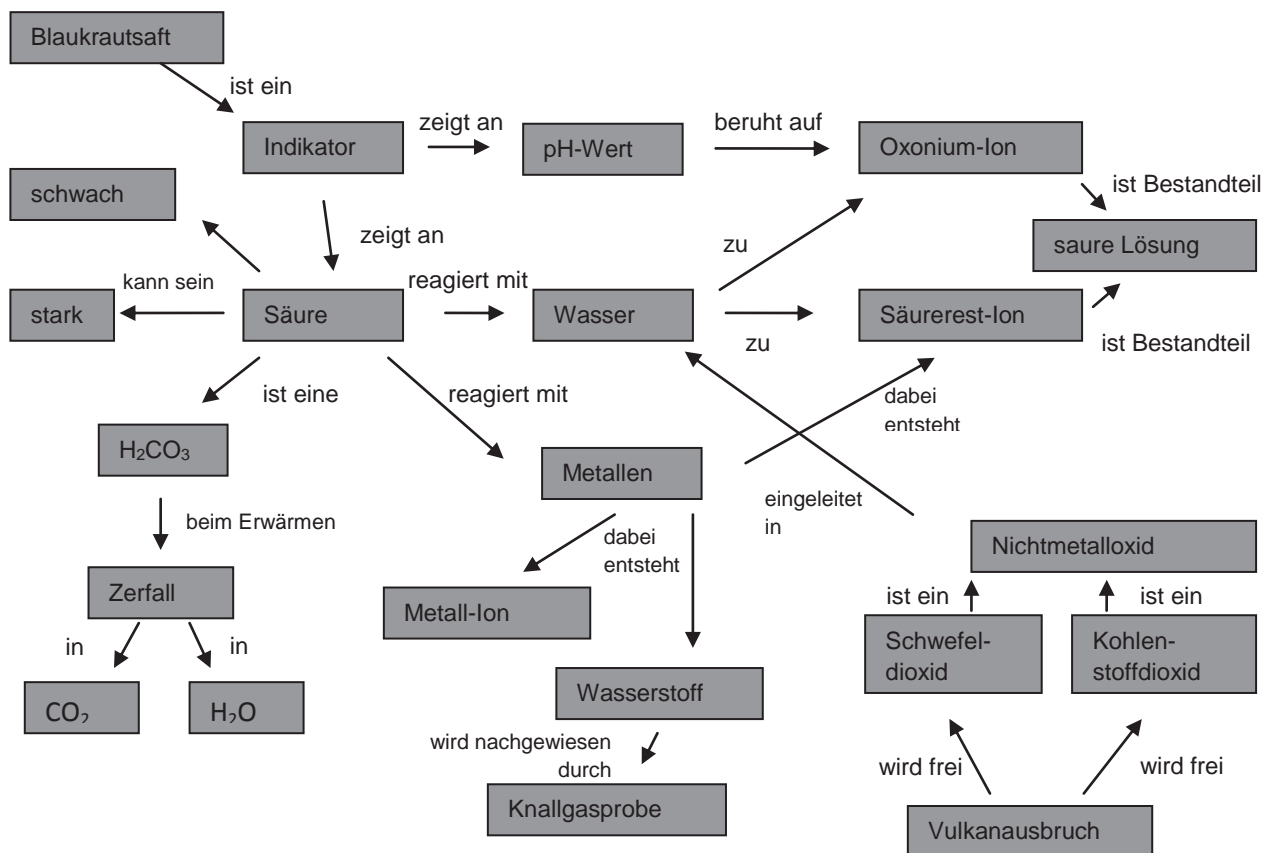


Abbildung 20: Concept-Map Säure

4.1.5 Tabellarischer Überblick der Unterrichtseinheit „Dante´s Peak I“

1. Doppelstunde der Unterrichtseinheit

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg / Problemstellung	Den Schülerinnen und Schülern werden verschiedene Substanzen gezeigt, die sie untersuchen sollen und nach einem Zusammenhang / Ordnung gefragt. Die Schüler versuchen gemeinsam eine Systematik in die vom Lehrer mitgebrachten Substanzen zu bringen.	<i>Proben:</i> Seife, Milch, Brezel, Zitronensaft, Mineralwasser, Essig, Waschmittel, Cola, Leitungswasser, Zuckerwasser, Natron
Erarbeitung I	Die Lernenden testen die verschiedenen Alltagssubstanzen mit Universalindikatorpapier. (Noch keine Zuordnung von Farbe und Zahl, nur die Farbe wird notiert.) Die individuellen Ergebnisse werden auf dem Arbeitsblatt notiert.	Versuchsmaterialien, Arbeitsblatt D 1.1
Erarbeitung II	Der pH-Wert der Substanzen wird mit dem pH-Messgerät gemessen und die Ergebnisse auf dem Arbeitsblatt festgehalten.	Versuchsmaterialien, Arbeitsblatt D1.1
Ergebnissicherung / Festigung	Die Substanzen und ihre Werte werden gemeinsam in den pH-Strahl eingetragen. Die Aussagen der ermittelten Werte werden diskutiert.	Arbeitsblatt D 1.2, Folie, OHP
Vertiefung	Gemeinsam wird überlegt, welche Säuren oder Laugen in welchen Alltagsprodukten enthalten sind, wie sie heißen könnten und welche Säuren und Laugen die Schüler aus ihrem Alltag kennen. Im Lehrerversuch werden die pH-Werte einiger gängigen Säuren und Laugen mit Universalindikator und pH-Messgerät bestimmt.	Versuchsmaterialien (Natronlauge, Salzsäure, Ammoniakwasser, Schwefelsäure und schweflige Säure), Tafel
Festigung und Abschluss	Die Lernenden ordnen die Substanzen der Stunde in die zwei Stoffgruppen, die sie nun kennen gelernt haben.	Proben

Tabelle 15: 1. Doppelstunde der Unterrichtseinheit „Dante´s Peak I“

2. Doppelstunde der Unterrichtseinheit

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Motivation	Die Schülerinnen und Schüler schauen den Kinotrailer an, um auf den Film eingestimmt zu werden.	Beamer, DVD-Spieler, Filmtrailer
Motivation	Der Lehrer gibt einen kurzen Überblick über den Film.	
Einstieg	Als erste Szenen werden die pH-Wertmessung des Sees und abgestorbene Bäume gezeigt. Den Schülerinnen und Schülern wird die Frage gestellt, was hier passiert sein könnte.	Beamer, DVD-Spieler, Filmszene D1, Filmszene D2
Hinführung	Im Klassenraum wird ein Plakat aufgehängt, auf dem die Schüler Fragen, Hinweise und Beobachtungen zu den	Plakat



	Szenen notieren, die sie überprüfen wollen. Die Leitfragen wird notiert: - Was ist eine Säure?	
Erarbeitung	Am 1. Teil des Telefongesprächs erarbeiten die Schüler und Schülerinnen eine erste Definition von Säuren / sauren Lösungen (Brönstedt).	Arbeitsblatt AB DR2
Vertiefung I	Das Telefongespräch wird unterbrochen. Es wird die Reaktion von Säure mit Wasser erarbeitet. Gemeinsam werden „saure Zungen“ getestet. Die Schüler erkennen, dass für den sauren Geschmack Wasser vorhanden sein muss. Durch das Messen der Leitfähigkeit von Essigsäure und ihrer Verdünnung wird dieses Phänomen genauer untersucht. Die Gleichung des Arbeitsblatts wird an der Tafel notiert, Oxonium-Ion und Rest benannt, der Wasserstoff markiert und der Protonenübergang eingezeichnet.	Saure Zungen Versuchsmaterial Lehrer-demo
Festigung	Durch das Fortsetzen des Telefongesprächs mit verteilten Rollen wird das Gelernte noch einmal zusammengefasst. Die mehrprotonigen Säuren werden eingeführt.	Arbeitsblatt AB DR3
Erarbeitung II	Auf dem Arbeitsblatt wird die Reaktion einer mehrprotonigen Säure mit Wasser nach gleichem Schema ergänzt.	Arbeitsblatt AB DR4
Festigung II	An der Tafel werden die Beispiele gemeinsam durchgesprochen.	Tafel
Abschluss	Abhaken der Leitfrage nach einer Säuredefinition.	Plakat

Tabelle 16: 2. Doppelstunde der Unterrichtseinheit Dante´s Peak II

3. Doppelstunde der Unterrichtseinheit

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg / Motivation	Die Schülerinnen und Schüler sehen noch einmal die Filmszene pH-Wertmessung des Gebirgssees.	Beamer, DVD-Spieler, Filmszene D1
Hinführung	Gemeinsam wird die neue Leitfrage formuliert: - Wie kann der See so sauer werden?	
Erarbeitung	Die Lernenden sehen noch einmal den Kinotrailer.	Beamer, DVD-Spieler, Kinotrailer
Vertiefung	Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten mit Hilfe des Arbeitsblatts die Vorgänge bei einem Vulkanausbruch.	Arbeitsblatt AB DR6
Sicherung	Im Lehrer-Schüler-Gespräch werden kurz die Fragen vom Arbeitsblatt besprochen.	Arbeitsblatt AB DR6
Erarbeitung	Die Lernenden sehen den Filmausschnitt „Liebespaar in der heißen Quelle“.	Beamer, DVD-Spieler, Filmausschnitt D4
Hinführung	Es werden Hypothesen aufgestellt, was passiert sein könnte. Die Leitfrage wird formuliert - Wie entsteht eine Säure?	Tafel
Hinführung	Hinführung der Schüler zur Erkenntnis, dass durch das Einleiten von Nichtmetalloxiden (Gasen) in Wasser Säuren entstehen können. Ein Lehrerdemonstrationsversuch zum Einleiten von Sauerstoff in Wasser und Universalindikatorlösung wird durchgeführt.	Versuchsmaterialien
Erarbeitung	Die Schülerinnen und Schüler gehen experimentell der Frage nach, wie durch das Einleiten von Gasen eine Säure entstehen kann.	Versuchsmaterialien Arbeitsblatt AB DR7

4. ChemCi – Unterrichtskonzeptionen

„Dante´s Peak I“

Festigung	Besprechen des Arbeitsblatts.	Arbeitsblatt AB DR7, Folie, OHP
Abschluss	Gemeinsam wird das Gelernte noch einmal zusammengefasst.	Beamer, DVD-Spieler, DVD Filmausschnitt D4

Tabelle 17: 3. Doppelstunde der Unterrichtseinheit Dante´s Peak I

4. Doppelstunde der Unterrichtseinheit

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg	Die Lernenden schauen gemeinsam die Szene Liebespaar.	DVD, Beamer, DVD-Spieler
Hinführung	Die Schülerinnen und Schüler nennen Gase die bei einem Vulkanausbruch frei werden und für die versauerte Quelle verantwortlich sein könnten. Gemeinsam legt man sich auf Kohlenstoffdioxid und Schwefeldioxid fest. Die Entstehung von Kohlenstoffdioxid und Schwefeldioxid beim Vulkanausbruch werden an der Tafel nachvollzogen.	Tafel
Erarbeitung	Im Schülerexperiment werden wässrige Lösungen von Kohlensäure und schwefliger Säure hergestellt.	Arbeitsblatt AB DR8, Versuchsmaterialien
Festigung	Die Ergebnisse der Gruppen werden verglichen und diskutiert und auf dem Arbeitsblatt ergänzt. Durch den Rückbezug auf Szene 1 mit pH-Messgerät erkennen die Schüler, dass nicht die Kohlensäure die Todesursache gewesen sein kann.	Arbeitsblatt AB DR8
Motivation	Die Lernenden sehen die Szene Flucht mit dem Boot.	DVD, Filmausschnitt D5, Beamer; DVD-Spieler
Hinführung	Die Filmaussage wird als Leitfrage auf dem Poster festgehalten.	Tafel
Erarbeitung	Die Filmaussage wird gemeinsam im Experiment überprüft (Teil I).	Versuchsmaterial, Arbeitsblatt AB DR9

Tabelle 18: 4. Doppelstunde der Unterrichtseinheit Dante´s Peak I

5. Doppelstunde der Unterrichtseinheit

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg / Motivation	Die Schülerinnen und Schüler schauen noch einmal die Szene Flucht mit dem Boot.	Beamer, DVD, DVD-Spieler, Filmszene D5
Hinführung	Der Rückbezug zur letzten Stunde wird hergestellt.	
Erarbeitung	Das Experiment Metall und Säure Teil II wird durchgeführt.	Versuchsmaterialien, AB DR9
Vertiefung	In einem weiteren Experiment wird Wasserstoff bei der Reaktion von Metall mit Säure aufgefangen und nachgewiesen.	Versuchsmaterialien, Arbeitsblatt AB DR10
Sicherung	Die Lernenden betrachten alle Szenen noch einmal und überprüfen sie auf ihren Wahrheitsgehalt.	Arbeitsblatt AB DR11
Abschluss	Das Happy End des Filmes wird gezeigt.	Beamer, DVD, DVD-Player, Filmszene D6

Tabelle 19: 5. Doppelstunde der Unterrichtseinheit Dante´s Peak I



6. Doppelstunde der Unterrichtseinheit

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg	Das Plakat der Unterrichtseinheit wird überprüft und letzte Fragen geklärt.	Plakat
Erarbeitung	Der Versuch „Ätzende Wirkung von sauren Lösungen auf tierisches Gewebe“ wird durchgeführt.	Versuchsmaterialien, Arbeitsblatt AB DR12
Festigung und Abschluss	Ein Concept-Map über das Themengebiet Säure wird angefertigt.	

Tabelle 20: 6. Doppelstunde zur Unterrichtseinheit Dante´s Peak I



4.2 Dante’s Peak II – Eine Unterrichtskonzeption zu Säuren, Säureentstehung, chemisches Gleichgewicht und Säurestärke für die Sekundarstufe II

Der Spielfilm Dante’s Peak bietet zusätzlich die Möglichkeit zur tiefergehenden Bearbeitung des Themas Säure in der gymnasialen Oberstufe.

4.2.1 Fachwissenschaftliche Hintergründe der Unterrichtseinheit „Dante’s Peak II“

Eine Erweiterung des Arrhenius-Konzepts stellt die Brönsted-Lowry-Theorie dar. Während Arrhenius Säuren und Basen als eine Stoffklasse definiert hat, sind sie nach Brönsted und Lowry als Teilchen mit bestimmten Eigenschaften zu betrachten.

Brönsted-Definition von Säuren

Eine Säure ist nach dem Brönsted-Lowry-Konzept von 1923 eine Substanz, die dazu fähig ist, Protonen abzugeben, man bezeichnet sie deshalb als Protonen-Donator.

Eine Base kann nach diesem Konzept Protonen aufnehmen und ist der Protonenakzeptor.

Reaktionen von Säuren und Basen werden deshalb als Protonenübertragungsreaktionen definiert. Freie H^+ -Ionen existieren dabei nicht, ein korrespondierendes Säure-Base-Paar muss vorhanden sein, wobei bestimmte Teilchen, z.B. das Wassermolekül, sowohl als Säure als auch als Base auftreten können. Diese Verbindungen nennt man amphoter.

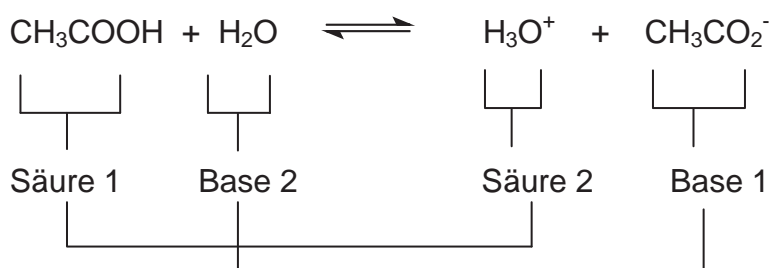


Abbildung 21: Säuren und Basen nach dem Brönsted-Lowry-Konzept

Diese Übertragungsmechanismen sind stets Gleichgewichtsreaktionen.

Das chemische Gleichgewicht

„Vermischt man Substanzen, die miteinander reversible chemische Reaktionen eingehen, so stellt sich ein dynamischer Gleichgewichtszustand ein.“ (Mortimer, 2003, S. 269)

Chemische Reaktionen streben stets nach einem Gleichgewicht. Dies hat zur Folge, dass Reaktionen nicht immer bis zu ihrem Ende (dem vollständigen Verbrauch der



Edukte) ablaufen. Dieses Gleichgewicht kann durch verschiedene Faktoren „gestört“ und dadurch auf die Seite der Edukte oder Produkte verschoben werden. Diese Faktoren der Beeinflussung sind die Reaktionsbedingungen. Ein Gleichgewicht kann also durch die Veränderung der herrschenden Konzentrationen, der Druckverhältnisse und der vorherrschenden Temperaturen beeinflusst werden.

Henri Le Chatelier formulierte 1884 hierzu das „Prinzip des kleinsten Zwanges“, welches das Ausweichen eines Gleichgewichtes hinsichtlich der als Zwang auf eine Reaktion einwirkenden Reaktionsbedingungen beschreibt. Vereinfacht bedeutet dies, bei Erhöhung der Konzentration der Edukte eine Verschiebung des Gleichgewichts auf die Seite der Produkte, um das Gleichgewicht wieder herzustellen. Möglich wäre auch eine Beeinflussung des Gleichgewichts auf die Seite der Produkte durch ihr Entfernen.

Bei Temperaturerhöhungen wird das Gleichgewicht dahingehend verschoben, dass die endotherm ablaufende Reaktion begünstigt wird. Eine Temperaturerniedrigung hat den umgekehrten Effekt einer Verschiebung zur exotherm ablaufenden Reaktion.

Druckveränderungen wirken sich hauptsächlich auf Gleichgewichtsreaktionen von Gasen aus. Dabei wird eine Druckerhöhung durch Begünstigung der Reaktion hin zur geringeren Anzahl an Mol ausgeglichen. Eine Erniedrigung des Drucks hat den gegenteiligen Effekt.

Katalysator

„Ein Katalysator ist ein Stoff, dessen Anwesenheit die Geschwindigkeit einer Reaktion erhöht, ohne dass er selbst verbraucht wird; er kann nach der Reaktion zurückerhalten werden.“ (Mortimer, 2003, S.263)

Ein Katalysator greift in das Reaktionsgeschehen ein und „eröffnet einen neuen Weg“ der Reaktion. Dieser zeichnet sich durch eine niedrigere Aktivierungsenergie aus, was eine höhere Reaktionsgeschwindigkeit nach sich zieht. Katalysierte Reaktionen können in homogene und heterogene Katalysen unterschieden werden.

Heterogene Katalysen zeichnen sich dadurch aus, dass Katalysator und an der Reaktion beteiligte Reaktanden in verschiedenen Phasen vorliegen. Meist handelt es sich beim Katalysator um einen Feststoff, an dessen Oberfläche die Reaktion stattfindet.

Homogene Katalysen liegen vor, wenn Katalysator und Reaktanden in der gleichen Phase vorliegen.



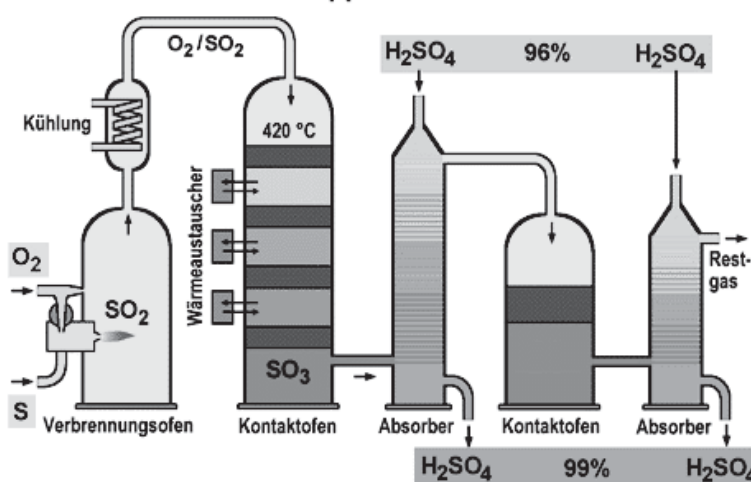
Eine Verwendung von Katalysatoren ist die Herstellung von Schwefelsäure im Kontaktverfahren.

Schwefelsäureherstellung

Aus einem beheizten Lagertank wird der Schwefel entnommen und in einen Verbrennungsofen eingespritzt, wo er bei 1200 °C verbrannt wird. Dabei verbinden sich Schwefel und Luftsauerstoff zu Schwefeldioxid.

In dem zweiten Reaktionsschritt bildet sich Schwefeltrioxid. Dieses resultiert aus der Reaktion von Schwefeldioxid mit Sauerstoff, die jedoch sehr langsam abläuft. Aus dem entstandenen Schwefeltrioxid und Wasser entsteht schließlich die Schwefelsäure. Für diese einfach aussehenden Reaktionsschritte sind aufwändige großtechnische Verfahren notwendig. Entscheidend für eine hohe Ausbeute an Schwefelsäure ist eine möglichst vollständige Umsetzung von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid. Durch Vanadiumpentoxid wird die Reaktion von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid katalysiert und dadurch beschleunigt. Ein großer Teil des Schwefeldioxids wird so zu Schwefeltrioxid oxidiert. Beim Kontaktverfahren muss darauf geachtet werden, dass sich die Temperatur nicht zu stark erhöht, da sonst das Schwefeltrioxid wieder zu Schwefeldioxid zerfällt. Im Verfahren erwärmt sich das Reaktionsgas von 450 °C auf 600 °C. Deshalb ist in der ersten Horde nur eine Ausbeute von 60 % Schwefeltrioxid möglich. Durch Abkühlen des Gases auf 450 °C wird in den weiteren Horden die verbliebene Schwefeldioxidmenge wieder zu 60 % umgesetzt. Am Ende der Horden wird das Schwefeltrioxid in konzentrierter Schwefelsäure gelöst und anschließend auf die entsprechenden Konzentrationen verdünnt.

Prinzip der Schwefelsäureherstellung nach dem Doppelkontaktverfahren



© Thomas Seilnacht

Abbildung 22: Kontaktverfahren (Seilnacht, 2011)

Saurer Regen

Durch Autoabgase und die Industrie werden die unterschiedlichsten Gase an die Umwelt abgegeben. Die Schadstoffe setzen sich hauptsächlich aus Schwefeldioxid,



Schwefeltrioxid, und Stickstoffdioxid zusammen. Diese lösen sich im in der Atmosphäre enthaltenen Wasser. Dabei entsteht u.a. Schwefelsäure, schweflige Säure, salpetrige Säure und Salpetersäure. Diese Säuren wirken sich durch den Niederschlag negativ auf die Umwelt aus. Sie verätzen die Blätter der Bäume und stören dadurch die Photosynthese, dies hat negative Auswirkungen auf das Wachstum und die Widerstandskraft der Pflanzen. Zusätzlich werden Nährstoffe aus dem Boden ausgewaschen, Lebewesen im Boden geschädigt und giftige Metallionen freigesetzt.

4.2.2 Didaktische Anmerkungen zu „Dantes Peak II“

Die Unterrichtseinheit „Dantes Peak II“ von Experimental- und Kontrollgruppe für die Sekundarstufe II hat einen Umfang von **6-8** Unterrichtsstunden.

Im Bereich des Fachwissens werden Bereiche aus den Themenfeldern **chemisches Gleichgewicht** (2-stündig) oder **Säure-Base-Gleichgewicht** (4-stündig) sowie **Energie in chemischen Reaktionen** (2-stündig) oder **Elektrochemie** (4-stündig) abgedeckt. Dabei werden der pH-Wert, seine Aussagen, die mathematische Begründung sowie Methoden zu seiner Ermittlung thematisiert. Die Säuredefinition nach Arrhenius wird durch die Brönsted-Definition ergänzt, im Besonderen wird dabei auf die Bildung der Oxonium-Ionen eingegangen. Die Entstehung von Säuren durch das Einleiten von Nichtmetalloxiden in Wasser wird an den Beispielen schweflige Säure, Kohlensäure und Schwefelsäure nachvollzogen. Diese Säuren lernen die Schülerinnen und Schüler im weiteren Unterrichtsverlauf hinsichtlich der Säurestärke und Eigenschaften kennen und voneinander zu unterscheiden. Sie wiederholen den Unterschied zwischen ein- und mehrprotonigen Säuren. Die Lernenden festigen ihr Wissen zum chemischen Gleichgewicht nach Le Chatelier am Beispiel der Säuredissoziation sowie am SO_2/SO_3 -Gleichgewicht und thematisieren verschiedene Einflussfaktoren einer Gleichgewichtsverschiebung. Der Begriff des Katalysators und seine Wirkungsweise werden ebenso diskutiert sowie anhand von Eisenoxid bzw. Vanadiumpentoxid am Beispiel nachvollzogen. Die Schüler und Schülerinnen lernen Pyrit als Schwefelquelle und das bei der Reaktion entstehende Eisenoxid als Katalysator für die natürliche Entstehung von Schwefeltrioxid kennen. Die Teilnehmer und Teilnehmerinnen der Kontrollgruppe erhalten Wissen über die technische Schwefelsäureherstellung, die Teilnehmer der Experimentalgruppe über die bei einem Vulkanausbruch ablaufenden Prozesse.

Unterschiedliche **Arbeitsweisen** der Chemie vertiefen die Schülerinnen und Schüler durch das Vergleichen verschiedener Säuren (schweflige Säure und Kohlensäure) hinsichtlich ihrer Säureentstehung im Experiment. Dabei üben sie neben den ge-



wöhnlichen Experimentierfähigkeiten die praktische Anwendung von Indikatoren und pH-Messgeräten. Die Lernenden steigern ihre Fähigkeiten im Planen und Durchführen sowie Auswerten von Experimenten. Sie stellen Leitfragen für den Unterricht auf, leiten davon Hypothesen ab und überprüfen diese im Experiment. Hierbei lernen sie gängige Laborgeräte kennen und arbeiten im Sinne der Sicherheitsregeln und Gefahrstoffverordnungen selbstständig und eigenverantwortlich. Sie lernen Ergebnisse der Experimente abzuschätzen z.B. bei der Wirkung von Säuren auf Metalle und auf größere Maßstäbe und Alltagsbedingungen zu übertragen.

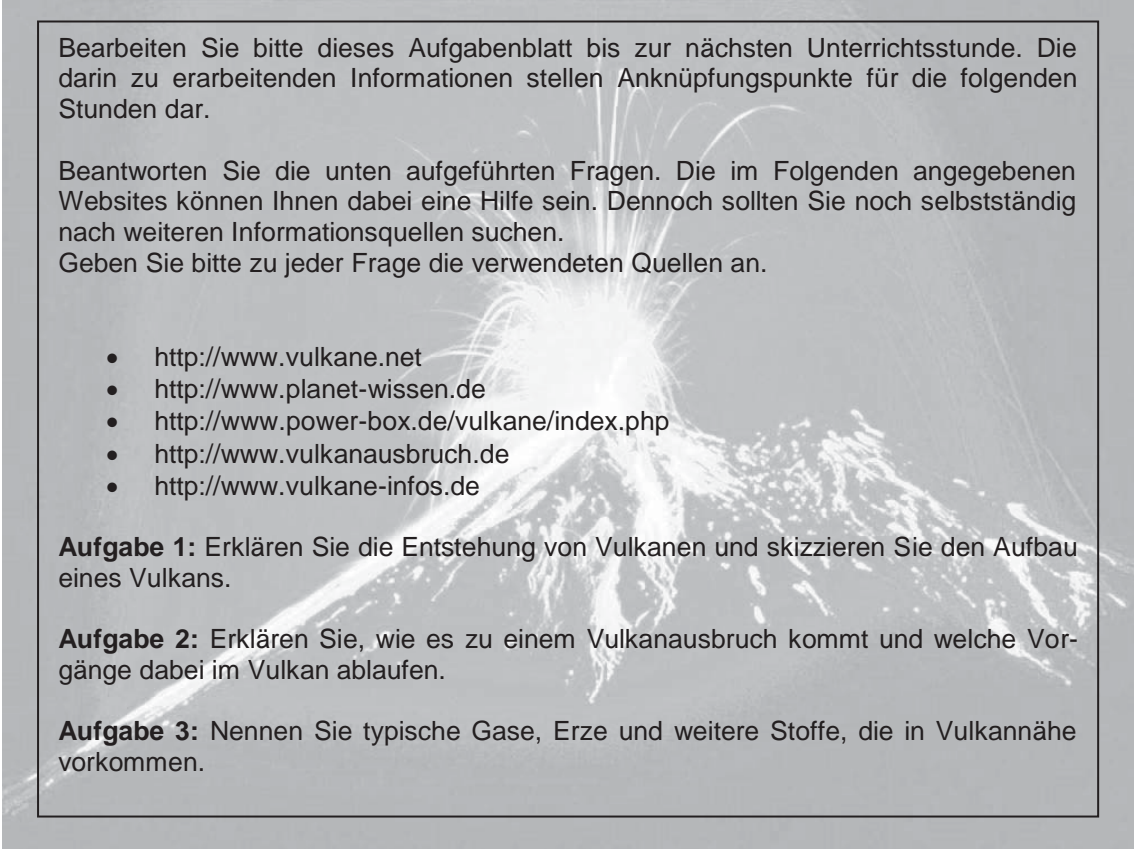
Die Leitlinie **Umwelt und Gesellschaft** wird durch Unterrichtsinhalte abgedeckt, die ihre Fähigkeiten in der Kommunikation verbessern, beispielsweise durch das Diskutieren der Ergebnisse ihrer Experimente untereinander. Dabei üben sie den korrekten Gebrauch der chemischen Fachsprache. Bewertungskompetenz erlangen die Schülerinnen und Schüler durch das Übertragen der gelernten Inhalte auf die gezeigten Spielfilmsequenzen und der daraufhin stattfindenden Überprüfung des Wahrheitsgehalts.

Leitlinien	Unterrichtsbestandteile
Stoffe und ihre Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - Indikatoren - Säuren nach Brönstedt - ein- und mehrprotonige Säuren - Säurestärke - Säureeigenschaften
Chemische Reaktionen	<ul style="list-style-type: none"> - Bildung von Oxonium-Ionen - Einleiten von Nichtmetalloxiden in Wasser - Chemisches Gleichgewicht nach Le Chatelier - Katalysatorbegriff - Redoxreaktionen
Ordnungsprinzipien	<ul style="list-style-type: none"> - pH-Wert - Säurestärke - ein- und mehrprotonige Säuren
Arbeitsweisen	<ul style="list-style-type: none"> - pH-Wertmessung mit Universalindikator - pH-Wertmessung mit pH-Meter - Planen, Durchführen und Auswerten von Versuchen - Leitfragen formulieren
Umwelt und Gesellschaft	<ul style="list-style-type: none"> - Technische Schwefelsäuredarstellung - Fachsprache - Saurer Regen

Tabelle 21: Thematisierte Leitlinien der Unterrichtseinheit Dante’s Peak II

4.2.3 Unterrichtseinheit „Dantes Peak II“

Vor dem Einstieg in die Unterrichtskonzeption erfolgt eine geleitete Internetrecherche, bei der die Schülerinnen und Schüler als Hausaufgabe Fragen rund um die Thematik Vulkanismus bearbeiten. Auf das Wissen aus dieser Internetrecherche wird während der Unterrichtseinheit laufend zurückgegriffen.



Bearbeiten Sie bitte dieses Aufgabenblatt bis zur nächsten Unterrichtsstunde. Die darin zu erarbeitenden Informationen stellen Anknüpfungspunkte für die folgenden Stunden dar.

Beantworten Sie die unten aufgeführten Fragen. Die im Folgenden angegebenen Websites können Ihnen dabei eine Hilfe sein. Dennoch sollten Sie noch selbstständig nach weiteren Informationsquellen suchen. Geben Sie bitte zu jeder Frage die verwendeten Quellen an.

- <http://www.vulkane.net>
- <http://www.planet-wissen.de>
- <http://www.power-box.de/vulkane/index.php>
- <http://www.vulkanausbruch.de>
- <http://www.vulkane-infos.de>

Aufgabe 1: Erklären Sie die Entstehung von Vulkanen und skizzieren Sie den Aufbau eines Vulkans.

Aufgabe 2: Erklären Sie, wie es zu einem Vulkanausbruch kommt und welche Vorgänge dabei im Vulkan ablaufen.

Aufgabe 3: Nennen Sie typische Gase, Erze und weitere Stoffe, die in Vulkannähe vorkommen.

Abbildung 23: Schülerarbeitsblatt Internetrecherche AB DG1

In der ersten Unterrichtsstunde (Kunze, Friedrich, Rubner & Oetken, 2012) wird den Schülern nach dem Einstimmen auf die Unterrichtseinheit durch das Vorführen des Kinotrailers der Inhalt des Filmes kurz erläutert. Im Anschluss daran wird die erste Filmszene gemeinsam betrachtet. Diese zeigt ein junges Liebespaar, das sich zu einem gemeinsamen Bad in einer heißen Quelle trifft. Durch im Hintergrund flüchtende Vögel, eine starke Gasentwicklung im Wasser und dem Schreien des Paares wird ein Spannungsbogen erzeugt (0:11:25 – 0:12:18). Dieser wird in einer zweiten Szene (0:19:45 – 0:20:18) dahingehend aufgelöst, dass die Leichen des Paares mit starken Verätzungen aufgefunden werden.

Die Schülerinnen und Schüler stellen im Unterrichtsgespräch Hypothesen auf, die den Tod des Liebespaares erklären und eine Ursache beschreiben sollen. Diese Hypothesen werden an der Tafel gesammelt.



Eine weitere Szene (0:17:10 – 0:17:45), die direkt im Anschluss gezeigt wird, stellt eine pH-Wertmessung eines Gebirgssees in der Nähe des Vulkanes dar. Im Hintergrund sind abgestorbene Bäume zu sehen.

Mit den Beobachtungen und Eindrücken sowie den Hypothesen der Liebespaarszenen sollen die Lernenden zu einer Hypothese gelangen die für beide Filmausschnitte zutreffend ist. Durch das gezeigte pH-Messgerät und den gemessenen pH-Wert von 3,51 liegt die Vermutung nahe, dass eine Säure bzw. eine daraus entstandene saure Lösung für den Tod des Paares und die abgestorbenen Bäume ursächlich sein muss.

Nun stellt sich im Unterricht die Frage wie eine solche Säure / saure Lösung entstanden sein könnte. Durch den Rückbezug auf die geleitete Internetrecherche wird gemeinsam die Entstehung von Säuren durch das Einleiten von Nichtmetalloxiden in Wasser erarbeitet. Die recherchierten Gase werden notiert und die mit Wasser entstehenden sauren Lösungen im Unterrichtsgespräch erschlossen. Hierbei wird auf die Säuredefinition von Brönsted zurückgegriffen und die Begriffe Säure und saure Lösung werden voneinander abgegrenzt, sowie Oxonium-Ionen als säurewirksame Teilchen spezifiziert. Um dieses theoretische Wissen experimentell zu festigen, werden exemplarisch die beiden bei einem Vulkanausbruch meist vorkommenden Gase Schwefeldioxid und Kohlenstoffdioxid untersucht (vgl. Kapitel 4.1, Versuch 4).

Dieses Experiment ermöglicht es die Schlussfolgerung zu ziehen, dass die Übersäuerung der Gewässer und die Verätzungen des Paares durch die stärkere schweflige Säure entstanden sind. Mit dieser Erkenntnis endet diese erste Doppelstunde der Unterrichtseinheit.

Zu Beginn der folgenden Unterrichtsstunde können bei Bedarf die Filmszene des badenden Liebespärchens und der pH-Wertmessung eines Gebirgssees noch einmal betrachtet werden.

Um an die Ergebnisse der letzten Stunden anzuknüpfen, wird in einem Demonstrationsexperiment Schwefeldioxid hergestellt und in Universalindikatorlösung eingeleitet.

V8: Herstellen von Schwefeldioxid und Einleiten in Universalindikatorlösung

Geräte und Chemikalien: Kolbenprober 250 mL, 2 Spatel, Uhrgläser, Glastrichter, Glaswolle, 3 Gummischlauchstücke, dickes Quarzglasrohr mit passenden durchbohrten Stopfen, 2 kurze Glasrohre, Magnesiumrinne, 2 Gaswaschflaschen, Bunsenbrenner, Universalindikatorlösung, Schwefelplättchen (GHS 07, Achtung), Sauerstoff (GHS 03, entzündend; GHS 04, Achtung)

Durchführung und Beobachtung: Die Apparatur wird der Skizze entsprechend aufgebaut und 0,1 g Schwefel in das Magnesiumschiffchen eingewogen.

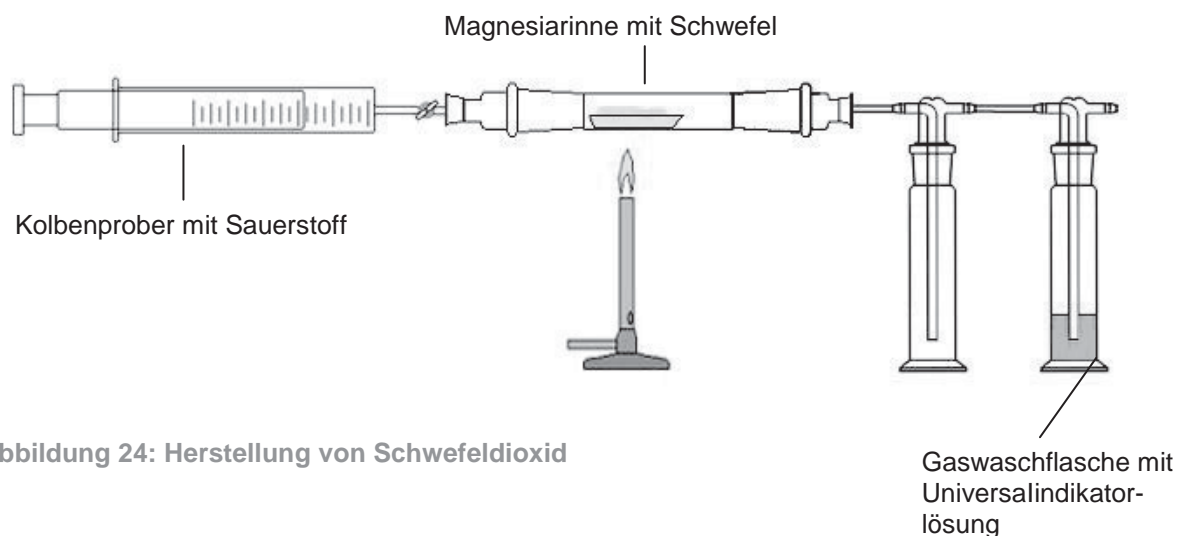


Abbildung 24: Herstellung von Schwefeldioxid

Nachdem der Kolbenprober mit Sauerstoff gefüllt wurde, kann der Schwefel im Quarzrohr gleichmäßig erhitzt werden. Dabei wird der Sauerstoff aus dem Kolbenprober vorsichtig übergeleitet.

Erklärung und Interpretation: Der Schwefel verbrennt mit der typischen blauen Flamme, das dabei entstehende Schwefeldioxid entfärbt den Universalindikator rot.

Nach kurzer Wiederholung der zugrunde liegenden Reaktionsgleichungen wird im weiteren Unterrichtsverlauf die Frage nach der Ursache der unterschiedlichen Säurestärke thematisiert.

An dieser Stelle besteht zusätzlich die Möglichkeit, mit den Schülerinnen und Schülern den pK_s -Wert einzuführen. Betrachtet man die pK_s -Werte der beiden Säuren ($pK_{s1}(\text{Kohlensäure}) = 6,46$, $pK_{s1}(\text{schweflige Säure}) = 1,96$), so unterscheiden sich diese deutlich, wobei die Säuren eine ähnliche Struktur aufweisen und zudem Kohlenstoff (EN: 2,5) und Schwefel (EN: 2,4) nahezu gleiche Elektronegativitätswerte haben.

Die nächsten Szenen (1:08:46 – 1:09:50 und 1:10:51 – 1:13:05 evtl. 1:14:56 – 1:16:30) erzählen die Geschichte des Vulkans Dante’s Peak weiter. In der Zwischenzeit ist der Vulkan ausgebrochen und die Hauptcharaktere des Films befinden sich auf der Flucht. Da alle Straßen von eingestürzten Gebäuden, Bäumen oder sonstigen Hindernissen blockiert sind, bleibt als einziger Ausweg die Flucht über einen See in einem Metallboot. Dieses wird nach kurzer Zeit vom Seewasser angegriffen. Es fallen folgende Aussagen, die für den weiteren Unterrichtsgang wichtig sind: „Die vulkanische Aktivität hat das Wasser zur Säure gemacht“ und „Die Säure zerfrisst das Metall“.



Mit diesen Aussagen kann die Frage aufgeworfen werden, ob es tatsächlich möglich ist, dass durch schweflige Säure eine derart starke Übersäuerung des Sees entstehen kann, dass ein Metallboot in diesem Ausmaß angegriffen wird. Dieser Frage wird experimentell nachgegangen (vgl. Kapitel 4.1, Versuch 5)

Damit stellt sich den Schülern und Schülerinnen die Frage, ob die Szene im Film unrealistisch ist, oder ob neben der schwefligen Säure noch eine weitere Säure entstanden sein könnte, die möglicherweise Grund für die Schäden sein könnte. Ein für die Lernenden nahe liegender Gedanke ist, den Versuch mit Schwefelsäure durchzuführen (vgl. Kapitel 4.1, Versuch 5)

Somit muss nun mit den Schülerinnen und Schülern die Frage diskutiert werden, wie es zur Schwefelsäureentstehung bei einem Vulkanausbruch kommen kann.

Durch einen neuerlichen Bezug zur Internetrecherche kommt Schwefeltrioxid als Ursache für die Bildung von Schwefelsäure in Betracht.

Dabei muss die Zusatzinformation gegeben werden, dass es sich bei Schwefeltrioxid um einen weißen Feststoff handelt, der nur in geringem Ausmaß direkt aus der Verbrennung von Schwefel entsteht, sondern erst durch Oxidation aus Schwefeldioxid in einem Folgeschritt gebildet wird.



Bei den durchgeführten Verbrennungen von Schwefel konnten die Lernenden jedoch keinen weißen Rauch im Reagenzglas bzw. der Gaswaschflasche erkennen.

Mit Hilfe der Gleichgewichtsreaktion und entsprechenden Diagrammen wird die klassische Diskussion um die Beeinflussung der Gleichgewichtslage durch verschiedene Einflussfaktoren eingeführt. Dabei werden die im Vulkan vorherrschenden Bedingungen und ihre Auswirkungen auf das Schwefeldioxid / Schwefeltrioxid-Gleichgewicht thematisiert. Dadurch soll den Schülerinnen und Schülern deutlich werden, dass eine ausreichende Reaktionsgeschwindigkeit für die Schwefeltrioxid-Entstehung letztlich nur durch einen Katalysator erreicht wird. Die in einem Vulkan vorliegenden katalytisch wirkenden Eisenoxide als möglichen Einflussfaktor müssen durch einen erneuten Bezug zur Internetrecherche vorgegeben werden.

In einem weiteren Experiment soll nun die Eignung von Eisenoxid als Katalysator überprüft werden.



V9: Die Verbrennung von Schwefel mit Katalysator

Geräte und Chemikalien: Kolbenprober mit Hahn 250 mL, Quarzrohr, 2 durchbohrte Stopfen mit Glasrohr, Brenner, 2 Gaswaschflaschen, Schlauchverbindungen, Magnesiumrinne, Schwefel (GHS 07, Achtung), Sauerstoff (GHS 03, entzündend; GHS 04, Gefahr), rotes Eisenoxid (GHS 07, Achtung), Universalindikatorlösung, Bariumchloridlösung $c = 1 \text{ mol/L}$ (GHS 06, Gefahr)

Durchführung und Beobachtung: Die Apparatur wird der Skizze entsprechend aufgebaut und 0,1 g Schwefel in die Magnesiumrinne eingewogen. Anschließend wird etwas rotes Eisenoxid in das Quarzglasrohr gegeben und der Kolbenprober mit 250 mL Sauerstoff gefüllt. Nun wird der Schwefel geschmolzen und anschließend der Sauerstoff übergeleitet, sodass der Schwefel vollständig mit blauer Flamme verbrennt. In der ersten Gaswaschflasche ist deutlich weißer Rauch zu erkennen und die Universalindikatorlösung in der zweiten Gaswaschflasche verfärbt sich rot.

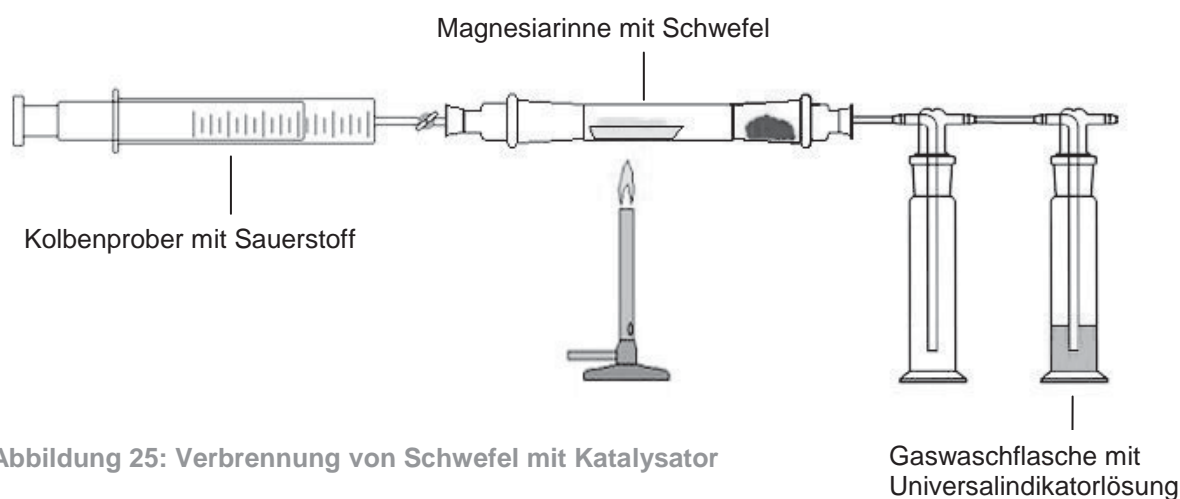
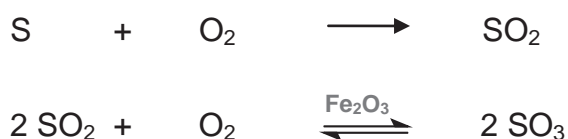


Abbildung 25: Verbrennung von Schwefel mit Katalysator

Erklärung und Interpretation: Ein erstes Indiz auf die Bildung von Schwefeltrioxid liefert der in der Gaswaschflasche zu erkennende weiße Rauch. Schwefel verbrennt zunächst zu Schwefeldioxid, welches mithilfe des Katalysators und mit Sauerstoff zu Schwefeltrioxid weiteroxidiert wird.



Anschließend kann durch den klassischen Sulfatnachweis mit Bariumchlorid-Lösung Schwefeltrioxid nachgewiesen werden.



Mit diesem Versuch kann gezeigt werden, dass im Rahmen eines Vulkanausbruchs neben schwefliger Säure tatsächlich auch die deutlich stärkere Schwefelsäure entstehen kann.

Betrachtet man jedoch die Schwefeltrioxid-Mengen, die bei vulkanischer Aktivität freigesetzt werden, so resultieren diese neben der Verbrennung von elementarem Schwefel auch aus der Verbrennung von Schwefel-Verbindungen. Diese liegen in großen Mengen in Form von sulfidischen Erzen, beispielsweise als Pyrit, im Vulkan vor. Mit dem nachfolgenden Experiment kann dieser Aspekt eingehender betrachtet werden.

V10: Rösten von Pyrit

Geräte und Chemikalien: 2 Kolbenprober 100 mL, Quarzrohr, 2 Siliconschlauchstücke, Brenner, Glaswolle (GHS 08, Achtung), Waage, Pyrit, Sauerstoff (GHS 03, entzündend; GHS 04, Achtung)

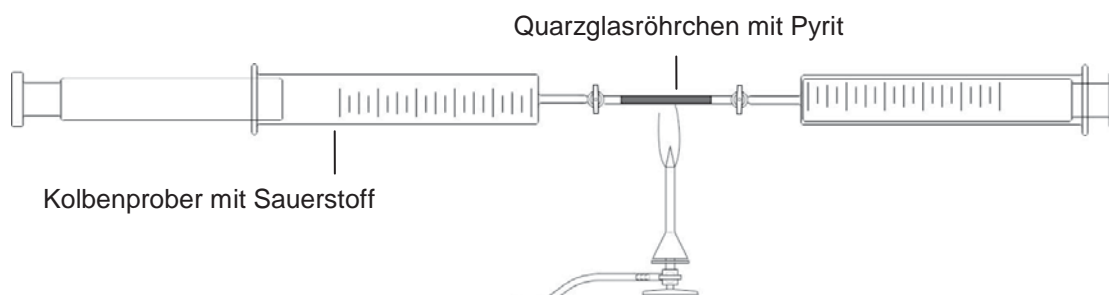


Abbildung 26: Rösten von Pyrit

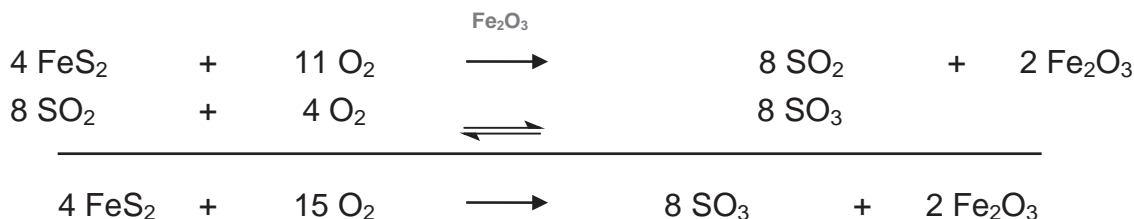
Versuchsdurchführung und Beobachtung: Das Quarzrohr wird mit 0,3 g Pyrit gefüllt und zu beiden Seiten mit Glaswolle verschlossen. Anschließend wird einer der beiden Kolbenprober mit 100 mL Sauerstoff gefüllt. Der Versuch wird der Skizze entsprechend aufgebaut und die Kolbenprober geöffnet. Unter ständigem Weitererhitzen wird der Sauerstoff darüber geleitet.

Der Pyrit glüht bei Überleiten des Sauerstoffs auf und im zweiten Kolbenprober sammelt sich weißer Rauch.

Erklärung und Interpretation: Das Ergebnis des Experiments ist verwunderlich, da statt des erwarteten, farblosen Schwefeldioxids der Kolbenprober deutlich erkennbar mit weißem Rauch gefüllt ist. Der weiße Rauch lässt die Vermutung aufkommen, dass es sich hier ebenfalls um Schwefeltrioxid handelt. Versucht man anhand der Strukturformel des Pyrits mögliche Reaktionsprodukte zu ermitteln, so liegt der Gedanke nahe, dass beim Rösten von Pyrit Eisenoxid entstehen kann.



Durch einen Rückbezug auf das vorangegangene Experiment wird deutlich, dass im weiteren Reaktionsverlauf Schwefeldioxid mit dem entstandenen Katalysator Eisenoxid reagiert und dadurch Schwefeltrioxid gebildet wird. Die Reaktion erfolgt nach folgendem Schema:



Die letzte Arbeitsphase der Unterrichtseinheit bildet nun eine erneute Betrachtung der im Unterricht verwendeten Filmszenen im Hinblick auf deren realistische oder hollywoodistische Inhalte.

Abschließend wird das Ende des Films den Schülern vorgeführt, indem die Hauptdarsteller nach erfolgreicher Flucht vor dem ausbrechenden Vulkan gerettet werden [(1:23:49 – 1:25:40) und (1:34:10 – 1:35:57)].

4.2.4 Tabellarische Übersicht der Unterrichtseinheit „Dantes Peak II“

1. Doppelstunde

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Motivation	Der Filmtrailer von Dante´s Peak wird vorgeführt.	Beamer, DVD-Spieler, Filmtrailer
Überleitung	Der Lehrer gibt einen kurzen Abriss der im Film geschehenen Ereignisse.	
Einstieg	In der ersten Szene wird ein Liebespaar gezeigt, das beim Baden in der heißen Quelle ums Leben kommt (0:10:13 - 0:10:56 und 0:18:03 –0:18:43).	Beamer, DVD-Spieler, Filmszene D4
Erarbeitung	Gemeinsam werden verschiedene Erklärungsansätze gesammelt und besprochen.	Tafel
Erarbeitung	Es wird die pH-Wertmessung eines Fließgewässers (0:15:22 - 0:15:48) gezeigt, in der Umgebung sind abgestorbene Bäume (0:15:48 – 0:16:00) zu sehen.	Beamer, DVD-Spieler, Filmszene D1 und D2
	Die Hypothesen werden an der Tafel gesammelt.	Tafel
Erarbeitung	Die von den Schülerinnen und Schülern durchgeführte Internetrecherche wird aufgegriffen und teilweise besprochen. Welche Gase entstehen bei einem Vulkanausbruch, was passiert wenn diese in Wasser geleitet werden?	
Erarbeitung	Die Lernenden stellen im Experiment ausströmende Gase (Kohlenstoffdioxid, Schwefeldioxid) und die Einleitung in den See nach.	Versuchsmaterialien, Arbeitsblatt AB DG2
Auswertung des Experiments	Die pH-Werte der Lösungen werden am pH-Meter gemessen. Im Plenum werden die Beobachtungen des Versuchs und die Erklärung besprochen.	Arbeitsblatt AB DG2, Folie, OHP, pH-Meter

Tabelle 22: 1. Doppelstunde der Unterrichtseinheit „Dante´s Peak II“

2. Doppelstunde

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg / Motivation	Die Filmszenen werden noch einmal geschaut.	Beamer, DVD-Spieler, Filmszenen D4 und D1
Festigung	Im Lehrerexperiment wird Schwefel verbrannt und in Universalindikator geleitet.	Versuchsmaterialien
Erarbeitung	Im Unterrichtsgespräch wird die unterschiedliche Säurestärke von Kohlensäure und schwefliger Säure thematisiert.	Tafel
Hinführung	Die Schülerinnen und Schüler sehen die Flucht der Hauptdarsteller in einem Boot über einen See (1:08:03–1:09:30 und 1:10:41–1:12:23 evtl. 1:14:05–1:15:33)	Beamer, DVD-Spieler, Filmszene D5
Erarbeitung	Im Schülerexperiment werden unterschiedliche Metalle in schweflige Säure und Schwefelsäure gegeben.	Versuchsmaterialien, Arbeitsblatt AB DG3
Vertiefung	Wie kann bei einem Vulkanausbruch Schwefeltrioxid entstehen? Thematisierung des Gleichgewichts, Faktoren der Gleichgewichtsverschiebung, Interpretieren einer Graphik zum SO_2/SO_3 -Gleichgewicht.	Arbeitsblatt AB DG4

Tabelle 23: 2. Doppelstunde der Unterrichtseinheit „Dante´s Peak II“

3. Doppelstunde

Phase	Inhalte der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg	Schüler schauen noch einmal die Szene Flucht über den See (1:08:03–1:09:30).	Beamer, DVD-Player, Filmszene D5
Vertiefung	Im Demonstrationsexperiment wird Schwefel mit Katalysator verbrannt.	Versuchsmaterialien, Arbeitsblatt AB DG5
Erarbeitung	Im Demonstrationsexperiment wird Pyrit geröstet.	Arbeitsblatt AB DG6, Versuchsmaterialien
Vertiefung	Die Schülerinnen und Schüler bewerten die in der Unterrichtseinheit verwendeten Filmszenen im Hinblick ihres Wahrheitsgehalts.	AB Hollywoodistisch- Realistisch
Abschluss	Gemeinsam wird die Unterrichtseinheit durch das Happy-End abgeschlossen [(1:23:49 – 1:25:40) und (1:34:10 – 1:35:57)].	Beamer, DVD-Player, Filmszene D6

Tabelle 24: 3. Doppelstunde der Unterrichtseinheit Dante´s Peak II

4.2.5 Unterrichtseinheit Kontrollgruppe

Zu Beginn der Unterrichtseinheit bekommen die Schülerinnen und Schüler Bilder von abgestorbenen Bäumen und Schäden an Kulturdenkmälern sowie eine Übersicht aus dem Waldschadensbericht 2008 zur Verfügung gestellt.

In Kleingruppen wird ihnen die Aufgabe gestellt über mögliche Ursachen dieser Schäden zu diskutieren. Die dabei aufgestellten Vermutungen werden im weiteren Verlauf des Unterrichts an der Tafel gesammelt und eine Hypothese daraus formuliert, die festgehalten wird und weiter überprüft werden soll. Die Entstehung des sauren Regens tritt somit in den Fokus des Interesses der Schülerinnen und Schüler.

Gemeinsam werden Luftschadstoffe gesammelt, die den sauren Regen verursachen könnten. Unterstützend wird ein Schema über die Entstehung des sauren Regens in der Atmosphäre gezeigt.

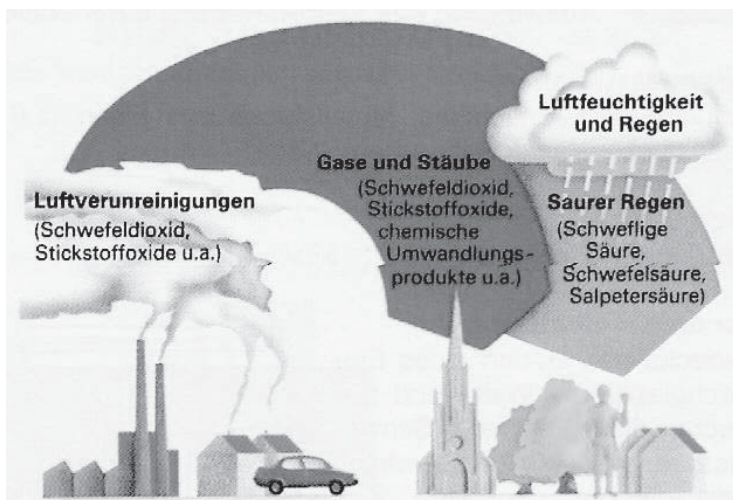


Abbildung 27: Die Entstehung von saurem Regen (Klett, 1995)

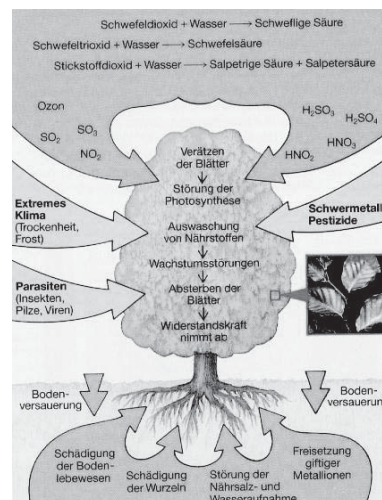


Abbildung 28: Schädigungen durch sauren Regen (Schroedel, 1994)

Es wird thematisiert, wie aus den vorhandenen Luftschadstoffen eine saure Lösung entstehen kann und die zugrunde liegenden Reaktionsgleichungen an der Tafel notiert. Durch einen Artikel über den Zusammenhang von Vulkanausbrüchen und der Entstehung des sauren Regens treten Kohlenstoffdioxid und Schwefeldioxid als Hauptverursacher hervor. In einem ersten Experiment sollen die Schüler und Schülerinnen dieser Hypothese auf den Grund gehen (vgl. Kapitel 4.1, Versuch 4).

Jährlich werden durch Vulkanausbrüche etwa 6 bis 20 Millionen Tonnen Schwefeldioxid freigesetzt. Bei einem einzelnen großen eruptiven Ausbruch kann die Masse aber auch über 100 Millionen Tonnen betragen. Große Vulkanausbrüche beeinflussen die Luftzusammensetzung und damit auch das Klima. Die bei einem Ausbruch in die Luft geschleuderten Mengen an Kohlenstoffdioxid und Schwefeldioxid bilden mit dem Regenwasser den sauren Regen. Dieser führt zum Waldsterben.

Abbildung 29: Ausschnitt einer Folie der Unterrichtseinheit F DG2

Eine im Anschluss durchgeführte Messung mit dem pH-Meter ermöglicht den Lernenden die Gegenüberstellung der konkreten pH-Werte der sauren Lösungen. So zeigt sich, dass die Lösung der Kohlensäure bei ca. pH 6 liegt, die saure Lösung der schwefligen Säure bei pH-Wert ≤ 2 . Aufgrund dieser Messwerte vermuten die Schüler schnell, dass Schwefeldioxid als Hauptverursacher des sauren Regens angenommen werden muss. In einer weiteren Doppelstunde wird durch einen Artikel die Hauptrolle des Schwefeldioxids bei der Entstehung des sauren Regens bestätigt.



Abbildung 30: Regen
(Peppitext, 2010)

Auch ohne den Einfluss menschlicher Aktivitäten ist das Regenwasser niemals neutral. Da sich das Kohlenstoffdioxid der Luft in Wolken und Regenwasser löst, bildet sich die schwach saure Kohlensäure. Daher ergibt sich ein natürlicher pH-Wert des Regens von ca. 5,6. Als sauren Regen bezeichnet man Niederschläge mit einem pH-Wert unter 5,6.

Er entsteht durch Luftverschmutzungen, die beim Verbrennen von Holz, Kohle oder Erdöl entstehen. Diese so genannten fossilen Brennstoffe enthalten Schwefel, der beim Verbrennen den Luftschadstoff Schwefeldioxid bildet. Sobald es regnet löst sich das Schwefeldioxid in Wasser und es bildet sich schweflige Säure. Dadurch sinkt der pH-Wert und der Regen wird sauer.

Abbildung 31: Ausschnitt aus einer Folie der Unterrichtseinheit F DG 4

Die Entstehung des Schwefeldioxids wird in einem Lehrerdemonstrationsexperiment noch einmal dargestellt (vgl. Kapitel 4.2, Versuch 8). Anschließend wird die Frage nach der Ursache der unterschiedlichen Säurestärke von Kohlensäure und schwefliger Säure mit den Lernenden geklärt.

Ein Zeitungsartikel über Schäden an Autos und Fahrrädern stellt den Schülern realitätsnah die Frage, ob Metalle von schwefliger Säure und der dazugehörigen sauren Lösung angegriffen und beschädigt werden können. Diese Vermutung wird im Anschluss von den Schülerinnen und Schülern experimentell überprüft (vgl. Kapitel 4.1, Versuch 5).

Freiburg: Das Umweltministerium hat diese Woche für den Raum Freiburg eine Warnung an alle Auto- und Fahrradbesitzer herausgegeben:

„Für die Verkleidung unserer Autos sind jegliche Formen von sauren Flüssigkeiten schädlich und damit auch der Regen, der in Deutschland vom Himmel fällt. Es ist deshalb nicht ratsam das Auto solchen Umweltbedingungen ungeschützt auszusetzen“



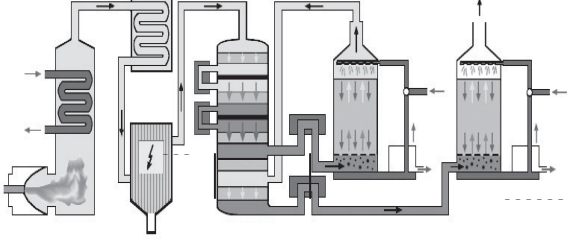
Abbildung 32: Auto im Regen
(Solarlumax, 2010)

Kurz gesagt, der saure Regen der letzten Wochen stelle eine Bedrohung für alle Fahrzeuge aus Metall dar, diese sollten bei Beginn des Regens sofort in Sicherheit gebracht werden. Panische Reaktionen der Autofahrer waren die Folge, die Werkstätten mit besorgten Autofahrern gefüllt, die davon überzeugt waren, ihr Auto löse sich auf. Vertreter der Autoindustrie jedoch geben Entwarnung und reagieren ärgerlich auf die ihrer Meinung nach völlig übertriebene Meldung des Umweltministeriums. Saurer Regen wäre nicht stark genug, die bei der Autoherstellung verwendeten Metalle überhaupt anzugreifen. Zwischen dem Umweltministerium und der Autoindustrie ist daraufhin ein heftiger Streit entbrannt.

Abbildung 33: Folie Saurer Regen und seine Auswirkungen auf Autos und Fahrräder D2.3

Den Schülerinnen und Schülern wird nun die Frage gestellt, ob es nicht sein kann, dass saurer Regen nicht auch eine wässrige Lösung der Schwefelsäure sein kann und wie diese in der Atmosphäre entstehen könnte. Dies führt zur Thematisierung des Schwefeldioxid- / Schwefeltrioxid-Gleichgewichts. Die Einflussfaktoren Druck und Temperatur werden besprochen und an einem Schaubild der Schwefelsäuredarstellung diskutiert. Der Katalysatorbegriff wird wiederholt und der Einfluss eines Katalysators auf das Gleichgewicht durch ein Experiment bestätigt (vgl. Kapitel 4.2 Versuch 9).

Dieser Versuch leitet zur klassischen Schwefelsäuresynthese durch das Kontaktverfahren als weiteren Unterrichtsgegenstand über. Mit Hilfe eines Informationstextes ziehen die Schüler die technische Herstellung von Schwefelsäure anhand eines Schaubildes nach und ergänzen dieses.



Beschreiben Sie stichpunktartig welche Vorgänge in den einzelnen Stationen ablaufen. Ergänzen Sie wenn möglich mit Reaktionsgleichungen.
Warum wird im Kontaktkessel jede Horde wieder auf 450°C herunter gekühlt, obwohl dies einen enormen technischen Aufwand darstellt?
Erklären Sie den Begriff des Doppelkontaktverfahrens.

Abbildung 34: Kontaktverfahren (Klett, 2010)

Abbildung 35: Ausschnitt aus einem Arbeitsblatt der Unterrichtseinheit AB DG16

Der Zusammenhang zum Kernproblem der Unterrichtseinheit, dem Entstehen des sauren Regens in der Atmosphäre, wird man durch das nun anschließende Suchen nach natürlich vorkommenden Katalysatoren gerecht. Im Pyrit bzw. dem bei der Reaktion entstehenden Eisenoxid kann dieser Katalysator gefunden werden (vgl. Kapitel 4.2, Versuch 10).

Mit dieser Verknüpfung zu einer natürlichen Quelle des Schwefeltrioxids und der dadurch erklärbaren Entstehung einer sauren Lösung der Schwefelsäure ist die Unterrichtseinheit der Kontrollgruppe abgeschlossen.



4.2.6 Tabellarischer Überblick der Unterrichtseinheit „Kontrollgruppe“

1. Doppelstunde

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg	Die Schülerinnen und Schüler bekommen Bilder von abgestorbenen Bäumen und zerstörten Kulturschätzen und diskutieren in der Kleingruppe über die Ursachen.	Laminierte Kärtchen AB DG8
Hypothesenfindung	Die Vermutungen der Lernenden werden gesammelt und an der Tafel notiert, daraus wird gemeinsam eine Hypothese formuliert.	Tafel, Arbeitsblatt AB DG9
Vertiefung	Verschiedene Luftschadstoffe werden gesammelt, die Entstehung des sauren Regens besprochen.	Folie F DG2, OHP, Arbeitsblatt AB DG8
Erarbeitung II	An der Tafel wird thematisiert wie Säuren entstehen, aus welchen Abgasen Säuren entstehen können und wie die Säuren wirken.	Tafel
Festigung	Schwefeldioxid und Kohlenstoffdioxid als Gase werden in einem Artikel zu Vulkanismus als Verursacher für sauren Regen bestätigt.	Folie F DG1, OHP
Versuch	Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten die unterschiedliche Säurestärke von Kohlensäure und schwefeliger Säure im Experiment.	Versuchsmaterialien, Arbeitsblatt AB DG10
Ergebnissicherung	Die Ergebnisse des Versuchs werden gemeinsam besprochen, die pH-Werte mit einem pH-Meter genau ermittelt.	OHP, pH-Meter
Hausaufgabe	Die Frage wird in den Raum gestellt, warum schwefelige Säure und Kohlensäure so unterschiedlich stark sind, trotz ähnlicher Summenformeln. Die Schülerinnen und Schüler notieren sich diese Fragestellung als Hausaufgabe.	

Tabelle 25: 1. Doppelstunde Kontrolleinheit „Dante´s Peak II“

2. Doppelstunde

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg	Ein Lehrerdemonstrationsexperiment zur Entstehung von Schwefeldioxid bzw. der sauren Lösung der Schwefelsäure wird durchgeführt.	Versuchsmaterialien
Bestätigung / Wiederholung	Auf der Folie wird der Zusammenhang vom pH-Wert des Regens und Kohlenstoffdioxid in der Luft aufgegriffen und Schwefeldioxid als Verursacher des sauren Regens bestätigt.	Folie F DG4, OHP
Vertiefung	Anhand der Strukturformel wird die unterschiedliche EN von Schwefel und Kohlenstoff thematisiert sowie der Einfluss auf die Polarität der Wasserstoffbindung in Bezug auf die Säurestärke dargestellt.	Tafel
Hinführung	Ein Zeitungsartikel wird aufgelegt. Die Frage wird in den Raum gestellt, ob schwefelige Säure in der Lage ist Metalle anzugreifen	Folie F DG3, OHP
Erarbeitung I	Im Demonstrationsversuch werden verschiedene Metalle im unterschiedlichen Zerteilungsgrad mit schwefeliger Säure versetzt.	Versuchsutensilien, Arbeitsblatt AB DG11, OHP
Erarbeitung II	Analog wird der Versuch mit Schwefelsäure durchgeführt.	

Tabelle 26: 2. Doppelstunde der Kontrolleinheit „Dante´s Peak II“



3. Doppelstunde

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg	Der Zeitungsartikel der letzten Woche wird noch einmal aufgelegt	Folie F DG3, OHP
Erarbeitung	Es wird der Frage nachgegangen, wie Schwefelsäure entstanden sein könnte. Das $\text{SO}_2 / \text{SO}_3$ Gleichgewicht und versch. Einflussfaktoren darauf werden kurz thematisiert.	Arbeitsblatt AB DG12
Vertiefung	Um die Wirkung des Katalysators auf das $\text{SO}_2 / \text{SO}_3$ Gleichgewicht zu veranschaulichen wird im Demonstrationsversuch Schwefel unter Einwirkung des Katalysators Eisenoxid verbrannt.	Versuchsmaterialien, Arbeitsblatt AB DG10, OHP
Erarbeitung	Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten mit Text und Abbildung die Schwefelsäuredarstellung durch das Kontaktverfahren.	Arbeitsblatt AB DG15 und AB DG16
Überleitung	Natürliche Quellen des Katalysators Eisenoxid werden gesucht und in Pyrit gefunden.	
Erarbeitung	Im Versuch wird gezeigt, dass Pyrit sowohl Schwefelquelle ist sowie den Katalysator bereitstellt.	Versuchsutensilien, Arbeitsblatt AB DG17

Tabelle 27: 3. Doppelstunde der Kontrolleinheit „Dante´s Peak II“

4.3 „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“: Das Thema Apnoetauchen als fächerverbindender Unterrichtsgegenstand in den Fächern Chemie, Biologie und Physik für die Sekundarstufe I

4.3.1 Filmbeschreibung und Szenenüberblick „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“

Im Rausch der Tiefe

Im Rausch der Tiefe ist ein Kinofilm von Luc Besson aus dem Jahr 1987 und lehnt sich stark an den Biographien zweier berühmter Apnoetaucher, Jaques Mayol und Enzo Maiorica, an. Die Geschichte beginnt in der Kindheit von Jaques und Enzo, die auf derselben griechischen Insel aufwachsen. Bereits in jungen Jahren zeigen sich große charakterliche Unterschiede trotz der gemeinsamen Begeisterung für das Apnoetauchen. Nach dem tragischen Unfall seines Vaters verlässt Jaques die Insel und arbeitet mit Sportmedizinern an der Erforschung der physiologischen Hintergründe des Apnoetauchens. Währenddessen zieht Enzo von Wettkampf zu Wettkampf und sammelt Erfolge. Für ihn gibt es schlussendlich nur noch Jaques als ernst zu nehmenden Konkurrenten und er fordert ihn schließlich zum Wettstreit heraus. Jacques nimmt die Herausforderung an und der Wettkampf entbrennt vor der sizilianischen Küste zu einem packenden Duell der Beiden. Im Rausch des Ehrgeizes endet der Weltrekordversuch jedoch tödlich für Enzo. Von diesem neuerlichen Tauchunfall traumatisiert und „Im Rausch der Tiefe“, startet Jacques einen nächtlichen selbstmörderischen Tauchgang und verschwindet ebenfalls in den Tiefen des Meeres.



Abbildung 36: Im Rausch der Tiefe (Les Films de Loup, 1987)

Zeit	Inhalt der Filmsequenz	Wichtige Aussagen	
0:1:30 – 0:2:50	Die beiden Hauptdarsteller tauchen als Kinder nach Münzen im Hafenbecken.		R 1
0:9:35 – 0:14:07	Enzo wird gerufen einen in Not geratenen Taucher aus einem Schiffswrack zu befreien. Er taucht nach ihm und kann ihn retten.	„Wie lange kann er das durchhalten?“	R 2
1:53:00- Ende	Nach einem besonders tiefen Tauchgang folgen in der Nacht Wahnvorstellungen, Blut kommt aus Ohren und Nase, wahnhaft fährt Jaques auf das Tauchboot hinaus und taucht für immer ab.		R 3

Tabelle 28: Szenenüberblick "Im Rausch der Tiefe"



Freediver - in der Tiefe lauert der Tod

Freediver ist ein Film aus dem Jahr 2005 und erzählt die Geschichte der jungen Danai, die aufgrund ihrer besonderen Begabung im Apnoetauchen die Möglichkeit erhält, mit einem Sportmediziner zusammenzuarbeiten. Dieser erkennt sehr schnell ihr enormes Potenzial und arbeitet ein spezielles und hartes Trainingsprogramm für sie aus, um den bestehenden Weltrekord im Tieftauchen der Frauen sowie den der Männer zu brechen.

Während des Trainings wird bei Danai jedoch ein Herzfehler festgestellt, der das Tauchen in extreme Tiefen lebensgefährlich macht. Vom Ehrgeiz getrieben halten sie und ihr Trainer jedoch an den Plänen fest und sie bricht im Wettkampf gegen die Amerikanerin Maggie Stone tatsächlich den Rekord. Dieser Tauchgang wird ihr dabei zum Verhängnis und sie stirbt in den Armen ihres Freundes.

Zeit	Inhalt der Filmsequenz	
1:06:20 – 1:08:20	Bei ihrem Weltrekordversuch wird die amerikanische Taucherin Maggie bewusstlos.	F 1
1:15:00 – 1:15:20	Tod von Danai nach Weltrekord im Tieftauchen.	F 2

Tabelle 29: Szenenüberblick "Freediver"

Apnoe-Taucher – Im Tiefenrausch

Die 2003 abgedrehte Geo 360°-Reportage gibt Einblicke in den Sport des Apnoetauchens. Der Apnoetaucher Sven Penszuk wird auf dem Weg zu seinem persönlichen Tiefenrekord begleitet und dabei diverse medizinische und physikalische Aspekte des Apnoetauchens erläutert.

Zeit	Inhalt der Filmsequenz	
0:12:11 – 0:13:45	Die besondere Atemtechnik eines Apnoetauchers vor einem Tauchgang wird gezeigt. Dabei wird das Hyperventilieren angesprochen.	G 1
0:13:45 – 0:14:05	Das Phänomen des Blackouts wird angesprochen und kurz erläutert.	G 2

Tabelle 30: Szenenüberblick "Apnoe-Taucher - Im Tiefenrausch"



4.3.2 Fachwissenschaftliche Hintergründe der Unterrichtseinheit „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“

Allgemein betrachtet ist Tauchen das Eindringen des gesamten Körpers in das Medium Wasser. Hierbei können mehrere Varianten unterschieden werden, wobei im engeren Sinne das Schnorcheln nicht als Tauchsportart bezeichnet werden kann und eher dem Schwimmen zugerechnet wird.

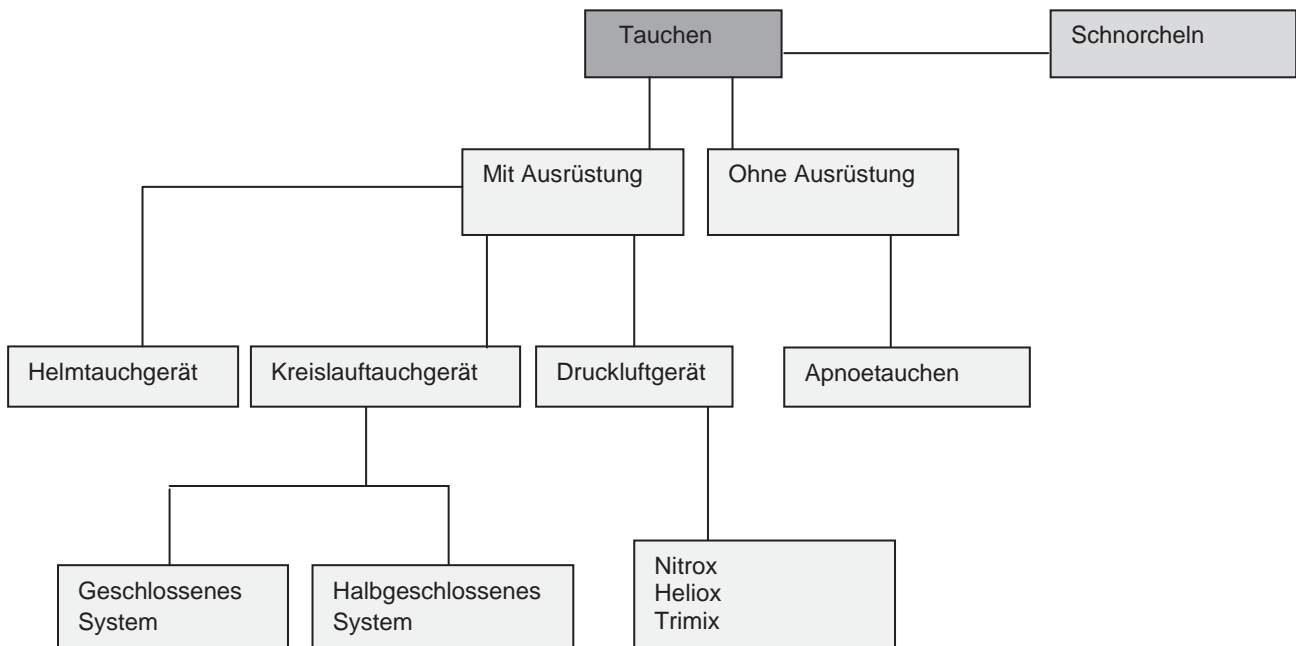


Abbildung 37: Überblick über die verschiedenen Taucharten

Beim Tauchen unterscheidet man in erster Linie zwischen Tauchsportvarianten mit und ohne Ausrüstung. „Das Tauchen mit angehaltenem Atem ohne jegliche Hilfsmittel stellt die älteste und ursprünglichste Form des Tauchens dar.“ (Scholz, 2010, S. 7) Im folgenden Kapitel wird das Apnoetauchen genauer betrachtet. Das Tauchen mit einem Helmtauchgerät sowie das Tauchen mit Drucklufttauchflaschen werden in Kapitel 4.4 genauer erläutert. Halb geschlossene Kreislaufgeräte werden in Kapitel 4.5 und geschlossene Kreislaufgeräte in Kapitel 4.6 ausführlich behandelt.

Unter Apnoetauchen versteht man das Tauchen mit angehaltenem Atem, ohne eine externe Atemluftversorgung. Der Taucher ist dabei lediglich mit Flosse, Anzug und Brille ausgerüstet. Apnoetauchen findet man heute als Berufssport bei Perlen- und Schwammtauchern, als Extrem- und Wettkampfsport sowie als Breitensport. Seit 1992 finden regelmäßige Wettkämpfe und Weltmeisterschaften in den verschiedensten Disziplinen (Zeittauchen, Flossentauchen, Tieftauchen mit konstantem Gewicht, Tieftauchen mit variablem Gewicht, Tieftauchen mit Schlitten) statt (Scholz, 2010).



So stellte Loic Leferme 2010 einen neuen Rekord auf, indem er mit Hilfe eines Tauchschlittens 152 m tief tauchte (Hedewig, 2002).

„*Tauchen bereitet aus zwei Gründen Atmungsprobleme.*“ (Silbernagl 2003, S. 134)

Das erste Problem ist in der Isolation des Tauchers von der Atemluft begründet, das zweite Problem ist der unter Wasser mit zunehmender Tauchtiefe zunehmende Druck, der auf den Körper einwirkt. Im Folgenden werden zunächst physiologische Grundlagen der Atmung erläutert, um daran anschließend die Auswirkungen des Drucks nachvollziehen zu können.

Der Atemvorgang des Menschen beginnt in der Nase und dem Rachen. Die Luft wird gefiltert und erwärmt. Sie gelangt anschließend über die Luftröhre in die Lunge. Zu den oberen Atemwegen gehören die Nasenhöhlen und der obere und mittlere Teil



Abbildung 38: Bild einer präparierten Schweinelunge

des Rachens. Das Bindeglied zwischen den oberen und unteren Atemwegen ist der Kehlkopf. Zu den unteren Atemwegen zählt man die Luftröhre, die Stammbronchien und den Bronchialbaum. Die Luftröhre des Menschen teilt sich dabei in zwei Bronchialäste auf, die in den rechten und den linken Lungenflügel führen und sich dort immer weiter verzweigen, bis zu den ca. 300 Millionen Lungenbläschen. Hier findet der Austausch von Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff statt. Der Sauerstoff aus der eingeatmeten Luft wird an das Hämoglobin des Blutes gebunden, das Kohlenstoffdioxid wird vom Blut an die Luft abge-

geben und dieses gelangt so aus dem Körper an die Umgebung. Die Lunge des Menschen ist etwa 400 g schwer, wobei der linke Lungenflügel etwa um 10 % kleiner ist, da er vom Herzen eingeengt wird (Moll, 2006). Die Lunge grenzt im schützenden Brustkorb an Zwerchfell, Rippen und Wirbelsäule. Die Lungenflügel sind vom Lungenfell umgeben. Der Brustkorb ist auf der Innenseite mit dem Rippfell ausgekleidet. Zwischen Rippfell und Lungenfell befindet sich der flüssigkeitsgefüllte Pleuraspalt, der ein aneinander gleiten von Ripp- und Lungenfell bei der Atmung ermöglicht.

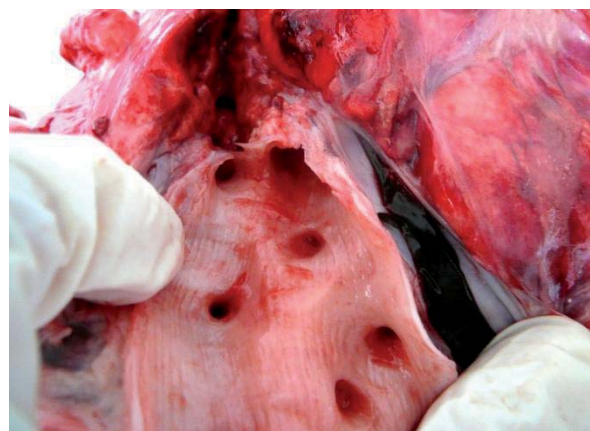


Abbildung 39: Schnitt entlang eines Bronchialasts einer Schweinelunge



Die Atembewegungen werden vom Atemzentrum im verlängerten Mark gesteuert (Faller, 1999). Beim normalen Ein- und Ausatmen ist der Luftaustausch nicht komplett. Man atmet in Ruheatmung etwa 0,5 L Luft ein und auch wieder aus, dies wird als Atemzugsvolumen bezeichnet. Von diesen 500 mL werden etwa 350 mL umgesetzt, der Rest von 150 mL verbleibt ungenutzt, dies ist das Totvolumen. Bei maximaler Einatmung lassen sich weitere 1,5 – 2 L einatmen (inspiratorisches Reservevolumen). Atmet man kräftig aus, so können weitere 1,5 -2 L abgeatmet werden (expiratorisches Reservevolumen). Nach tiefst möglicher Ausatmung bleiben 1,2-1,5 L in der Lunge zurück, dies wird als Residualvolumen bezeichnet. Die Vitalkapazität ergibt sich aus inspiratorischem Reservevolumen, expiratorischem Reservevolumen und Atemzugsvolumen und liegt bei den meisten Menschen bei ca. 4,5 L. Sportler können durch gezieltes Training ihre Vitalkapazität erhöhen und das Residualvolumen erniedrigen.

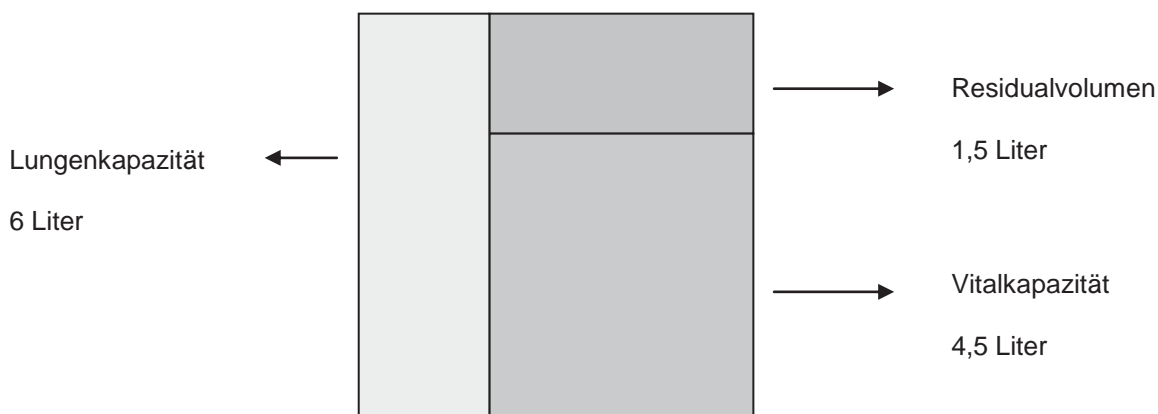


Abbildung 40: Zusammensetzung der Lungenkapazität

Ursächlich für eine funktionierende Inspiration bzw. Expiration sind Druckunterschiede zwischen der Lunge des Menschen und der ihn umgebenden Umgebungsluft. Um Einatmen zu können, muss der Druck in der Lunge geringer sein als der Umgebungsdruck, zum Ausatmen ist dies umgekehrt erforderlich. Die unterschiedlichen Druckdifferenzen werden durch Vergrößerung bzw. Verkleinerung des Brustkorbes erreicht. Dazu stehen dem Körper zwei unterschiedliche Mechanismen zur Verfügung. Bei der Brustatmung wird die Vergrößerung bzw. Verkleinerung durch Heben und Senken des Brustkorbes, durch die Zwischenrippenmuskulatur erreicht. Der zweite zur Verfügung stehende Mechanismus ist die Bauchatmung. Die Einatmung wird hierbei durch das Anspannen und ein damit verbundenes Abflachen des Zwerchfells erreicht (Silbernagl, 2003). Bei körperlicher Arbeit wird die Brustatmung, im Ruhezustand die Bauchatmung vorwiegend durchgeführt (Hedewig, 2002).



Der Begriff der Atmung ist im biologischen Sinne mehrdeutig. Zum einen kann damit der Vorgang des Gasaustausches gemeint sein, zum anderen beschreibt der Begriff „innere Atmung“ die Umwandlung von Sauerstoff in Kohlenstoffdioxid im Körper unter Energiegewinnung. Für diesen Prozess der Energiebereitstellung benötigt der Körper etwa 0,3 L Sauerstoff pro Minute, das dabei entstehende Kohlenstoffdioxid (0,25 L/min) wird abgeatmet (Silbernagl, 2003).

Die Fähigkeit den Atem willkürlich anzuhalten, ist bei den Menschen unterschiedlich ausgeprägt und hängt von Alter, Geschlecht, Konstitution, Trainingszustand usw. ab. Untrainierte Personen können das Luftholen 40 Sekunden unterdrücken, trainierte Apnoetaucher 4 Minuten (Weineck, 2004). Dieser Wert lässt sich rechnerisch relativ einfach überprüfen. Geht man von einem Lungenvolumen von 6 L aus, sind davon 1,26 L Sauerstoff. Bei einem Verbrauch von 0,3 L pro Minute können die Organe des Menschen 4,2 min ausreichend mit Sauerstoff versorgt werden.

Diese Leistung ist Apnoetauchern möglich, da sie ihr Atemzentrum an einen höheren Anteil an Kohlenstoffdioxid im Blut „gewöhnt“ haben. Das überschüssige Kohlenstoffdioxid wird dann im Gewebe und den Knochen gespeichert und nach dem Auftauchen abgeatmet oder über den Urin ausgeschieden (Ehm, 2007).

Beim Apnoetauchen wird der Brustkorb des Tauchers durch den in der Tiefe zunehmenden Schweredruck des Wassers bis auf das Volumen des Residualvolumens zusammengedrückt. Durch spezielle Anpassungen, das Bloodshift (Blutumverteilung im Körper trainierter Taucher) oder die glossopharyngealen Atmung ist es den Tauchern möglich, die Tauchtiefe und die Tauchzeit über den rechnerischen Wert hinaus zu erhöhen. Bei der glossopharyngealen Atmung wird nach tiefem Einatmen durch ein komplexes Schluckmanöver weitere Luft in die Lunge gepresst. Diese Technik soll die verfügbaren Sauerstoffvorräte erhöhen und den Druckausgleich verbessern (Scholz, 2010).

Die größte Gefahr beim Apnoetauchen ist der Flachwasserblackout, der beim Auftauchen bis einige Minuten nach Beendigung des Tauchgangs auftreten kann. *„Der Begriff Blackout stammt aus dem Englischen und bedeutet eine plötzliche, ohne Vorwarnung und Anzeichen eintretende Bewusstlosigkeit.“* (Stibbe, 1997, S. 116) Dem Blackout ist zumeist eine Hyperventilation vor dem Tauchgang vorausgegangen. Als Hyperventilation bezeichnet man ein schnelles und flaches Atmen, welches zu einem deutlich erniedrigten Kohlenstoffdioxidgehalt im Blut führt. Dadurch wird der Atemreflex ausgesetzt und es ist möglich länger die Luft anzuhalten. Taucht der Apnoetaucher nun ab, wird durch den auf ihn und seine Lunge ausgeübten Druck mehr Sauerstoff aus dem Alveolarraum im Blut gelöst, als unter Normdruck (Silbernagl, 2003).



Die Rezeptoren im Körper gehen dadurch von einer ausreichenden Sauerstoffversorgung aus. Durch das Hyperventilieren wird der Atemreiz zurückgedrängt und beim Auftauchen und Entlasten der Lunge und dem damit verbundenen Sauerstoffverlust des Bluts, sinkt der Sauerstoffgehalt schlagartig unter einen für den Körper zu tolerierenden Wert und der Taucher wird ohnmächtig und ertrinkt.

Der auf den Lungen lastende Druck wird in der Literatur definiert als Kraft pro Fläche.

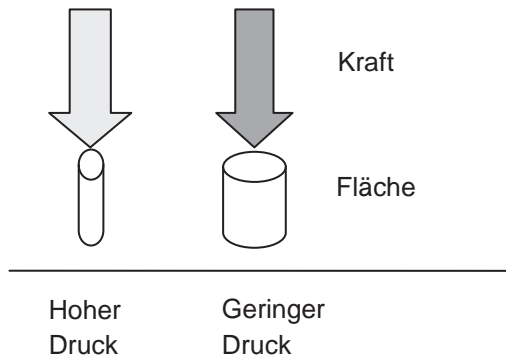


Abbildung 41: Druck als Kraft pro Fläche

Beim Tauchen setzt sich die wirkende Kraft aus der Gewichtskraft des Wassers plus den auf der Wasseroberfläche lastenden Luftdruck zusammen. Dieser Druck nimmt mit zunehmender Wassertiefe nach folgender Gleichung zu:

$$\text{Druck auf die Lunge} = \frac{\text{Tauchtiefe in m}}{10 \text{ m}} \text{ bar} + 1 \text{ bar} \quad p = \frac{\Delta h}{10 \text{ m}} \text{ bar} + 1 \text{ bar}$$

Eine Zunahme der Tauchtiefe um 10 m bedeutet somit eine Steigerung des Drucks um 1 bar.

Das Problem der fehlenden Umgebungsluft unter Wasser kann durch die Verwendung von Schnorcheln, zumindest bis zu einer Tiefe von 112 cm, behoben werden. Ein längerer Schnorchel ist aufgrund des zu starken Wasserdrucks nicht möglich, da das inspiratorische Maximum erreicht wird (Silbernagl, 2003). Zudem kommt es durch die unterdruckbedingte Sogwirkung zu einer Blutanreicherung im Lungenkreislauf und damit letztendlich zu einem Lungenödem (Weineck, 2004).



4.3.3 Didaktische Anmerkungen

Die Unterrichtseinheit über das Apnoetauchen, unterstützt durch die Filme „Im Rausch der Tiefe“, „Freediver“ und „Geo-Apnoe-Taucher – Im Tiefenrausch“ erstreckt sich über **10** Unterrichtsstunden und ist für die 8. Klassenstufe ausgelegt. Dabei werden Fachinhalte der Unterrichtsfächer Chemie, Biologie und Physik miteinander motivierend verknüpft.

Im Bereich des Fachwissens der **Biologie** werden Inhalte aus dem Basiskonzept **Struktur und Funktion**, durch das genaue Betrachten des Lungenaufbaus, erarbeitet. Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten und benennen die Bestandteile der Lunge und ihre Funktionen sowie ihre Lage im Körper des Menschen. Dabei lernen sie die beiden Atmungstechniken (Bauch- und Brustatmung) und die dafür notwendigen Mechanismen (Zwischenrippenmuskulatur und Zwerchfell) kennen.

Die Lunge ist ein Bestandteil des **Systems** Mensch. Die Atmung ist ein notwendiger Gasaustausch, um das System Mensch am Leben zu erhalten. Die Lernenden werden über den Atemreflex und seine Steuerung durch das Atemzentrum informiert. Dabei werden die Wege des Sauerstoffs und Kohlenstoffdioxids während der Ein- und Ausatmung verfolgt und der Transport der Atemgase im Körper erläutert. Durch die Thematisierung der Bauch- und Brustatmung wird zudem die Möglichkeit der Anpassung der Atmung auf unterschiedliche Anforderungen deutlich. Die Notwendigkeit des Sauerstoffs für Stoffwechselprozesse und die Energiegewinnung des Körpers (Berechnung des Grundumsatzes) werden in dieser Unterrichtseinheit ebenso thematisiert, wie die Anpassung der Lungen an den jeweiligen Lebensstil (trainiert / untrainiert) sowie die Möglichkeit einer positiven oder negativen Beeinflussung. Die Lernenden werden sich zudem über die Auswirkungen unterschiedlicher Einflussfaktoren und Konsequenzen für die Lunge und den Menschen bewusst. Weiter lernen sie unterschiedliche Taucherkrankheiten, die Symptome sowie Schädigungen kennen.

Struktur und Funktion	System	Entwicklung
- Aufbau der Lunge	- Gasaustausch	- Spezifität der menschlichen Lunge
- Lungenvolumen	- Atemreflex und Atemzentrum	
- Lage der Lunge	- Transport der Atemgase	
- Atemtechniken	- Stoffwechselprozesse, Energiegewinnung, Berechnung GU	
- Atemmechanik	- Anpassung	
	- Einflussfaktoren	
	- Taucherkrankheiten	

Tabelle 31: Überblick über die thematisierten Basiskonzepte der Biologie



Der **entwicklungsgeschichtliche** Aspekt wird durch die Spezifität der menschlichen Lunge ersichtlich. Diese hat sich optimal an den Lebensraum des Menschen angepasst und unterscheidet sich deutlich von den Atmungsorganen der Fische oder Insekten.

Chemisches Fachwissen erhalten die Schülerinnen und Schüler während der Unterrichtseinheit rund um das **Stoff-Teilchen-Konzept**, indem sie durch die Beschäftigung mit Gasen, Einblicke in die kinetische Gastheorie bekommen.

Die Eigenschaften der Gase werden durch ihren Aufbau erklärt, dies ist Bestandteil des **Struktur-Eigenschaft-Konzepts**. Dabei wird zusätzlich die Druckabhängigkeit der Löslichkeit von Gasen thematisiert. Diesem Bereich zugehörig, ist ebenfalls die Entstehung einer sauren Lösung durch Einleiten von Kohlenstoffdioxid in Wasser. Nachgewiesen wird die Entstehung einer sauren Lösung durch Färbung von Indikatoren. Dabei kann die Entstehung von Oxonium-Ionen thematisiert werden, den Schülern sollten hierbei das Oxonium-Ion und seine Entstehung sowie dessen Eigenschaften bekannt sein.

Das Basiskonzept der **chemischen Reaktion** wird unter anderem durch die reversible Reaktion von Kohlenstoffdioxid und Wasser sowie der Reaktion von Kohlenstoffdioxid mit Kalkwasser als Kohlenstoffdioxidnachweis bearbeitet. Eine weitere chemische Reaktion, wird durch die Verbrennung von Glucose zu Kohlenstoffdioxid und Wasser, besprochen. An dieser Reaktion führen die Schülerinnen und Schüler stöchiometrische Berechnungen durch.

Dadurch erarbeiten sie zusätzlich die Energiebereitstellung im menschlichen Körper und decken so Inhalte des Basiskonzepts **Energie** ab.

Stoff-Eigenschaft	Struktur-Eigenschaft	Chemische Reaktion	Energie
- Kinetische Gas-theorie	- Gase - Druckabhängigkeit bei der Löslichkeit von Gasen - Entstehung von sauren Lösungen - Saure Lösungen und ihre Eigenschaften - Oxonium-Ion	- Reversible Reaktionen - Kohlenstoffdioxid und Wasser - Glucose und Sauerstoff - Kohlenstoffdioxid und Kalilauge - Stöchiometrische Berechnungen	- Energiebereitstellung im Körpers durch chemische Reaktionen

Tabelle 32: Überblick über die thematisierten Basiskonzepte der Chemie

Fachinhalte aus dem Bereich **Physik** werden durch den hydrostatischen Druck und seiner Zunahme mit steigender Tiefe thematisiert. Dies kann dem Basiskonzept **System** zugeordnet werden. Darüber hinaus wird das Boyle-Mariotte-Gesetz, die Zu-



nahme des Drucks durch Verkleinerung des Volumens, besprochen. Die Einheit bar für die Beschreibung des Drucks wird eingeführt und durch mehrere Berechnungen gefestigt.

Weiterhin wird durch die Teilchenebene bei Veranschaulichung des Boyle-Mariotte-Gesetzes das Konzept der **Materie** bedient.

System	Materie
- Schweredruck - Boyle-Mariotte-Gesetz - Einheit bar	- Teilchenebene von Gasen

Tabelle 33: Überblick über die thematisierten Basiskonzepte der Physik

Die Handlungsdimensionen der drei Fächer werden gemeinsam betrachtet.

Die handlungsorientierte Kompetenz des **Erkenntnisgewinns** steht bei dieser Unterrichtseinheit im Vordergrund, die Schülerinnen und Schüler erarbeiten die meisten Inhalte durch Lernzirkel, Gruppenarbeit sowie Versuche selbständig. Die Lernenden erfahren dabei ihren eigenen Körper und begreifen seine Abhängigkeit von äußeren Gegebenheiten sowie seine Reaktionen darauf. Durch eine Lungenpräparation bekommen sie zudem die Möglichkeit neben Skizzen und Abbildungen einen realistischeren Eindruck der Lunge zu erhalten. Die Lernenden bekommen in der Unterrichtseinheit die Möglichkeit Gesetzmäßigkeiten durch Experimente nachzuvollziehen und teilweise selbst aufzustellen. Durch die Interpretation von Diagrammen, Tabellen und Abbildungen lernen sie sich Informationen eigenständig zu erarbeiten und diese in Experimenten zu überprüfen.

Durch die selbstständige Arbeit der Schülerinnen und Schüler wird zudem der Kompetenzbereich **Kommunikation** stark unterstützt. Sie sind in der Lage, Informationen sach- und fachbezogen zu erschließen und auszutauschen. Dabei üben sie unter anderem den richtigen Gebrauch der Fachsprache ein.

Bewertungskompetenz erreichen die Lernenden durch die Verknüpfung dreier Naturwissenschaften am Kontext Tauchen. Sie erkennen die Auswirkungen sonst eher isoliert betrachteter Gesetzmäßigkeiten in Bereichen des alltäglichen Lebens und der Freizeitbeschäftigung. Dies ermuntert sie dazu, mehr auf naturwissenschaftliche Sachverhalte im Alltag zu achten und die Fächer Chemie, Biologie und Physik nicht als isolierte Einzeldisziplinen zu betrachten.



Die Schülerinnen und Schüler üben durch die Verankerung an Spielfilmsequenzen naturwissenschaftlich relevante Informationen von unwichtigen zu unterscheiden und die gezeigten Ausschnitte hinsichtlich ihres Wahrheitsgehalts zu bewerten.

Durch eine Befragung von 187 Realschülerinnen und Schülern der Klassen 7-10 wurde im Vorfeld Wissen rund um das Themengebiet der Atmung abgefragt.

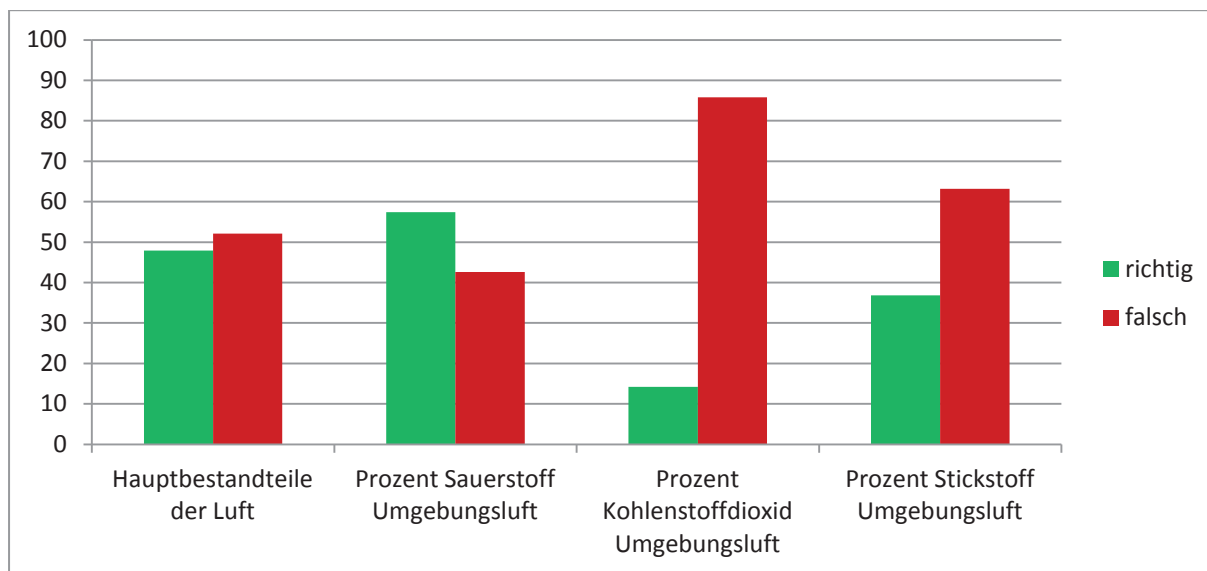


Abbildung 42: Umfrageergebnisse Tauchen I

Dabei zeigten sich durchaus erstaunliche Ergebnisse. So konnten nur 48 % der Schülerinnen und Schüler die beiden Hauptbestandteile der Luft nennen. Besonders wenige Lernende wussten den genauen prozentualen Anteil an Kohlenstoffdioxid in der Atemluft (14 %).

Wie oft ein Mensch im Ruhezustand atmet, konnten 40 % der Schülerinnen und Schüler beantworten, wie viel Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid ausgeatmet wird wussten 34 % bzw. 36 %.

Erstaunlich ist dieses Ergebnis vor allem, da im NWA-Unterricht die Atmung und die Zusammensetzung unserer Luft als wichtige Themenfelder im Bildungsplan genannt werden. So kann davon ausgegangen werden, dass das im Unterricht Gelernte wieder vergessen wurde oder dieser Themenbereich kein Bestandteil im Unterricht war.

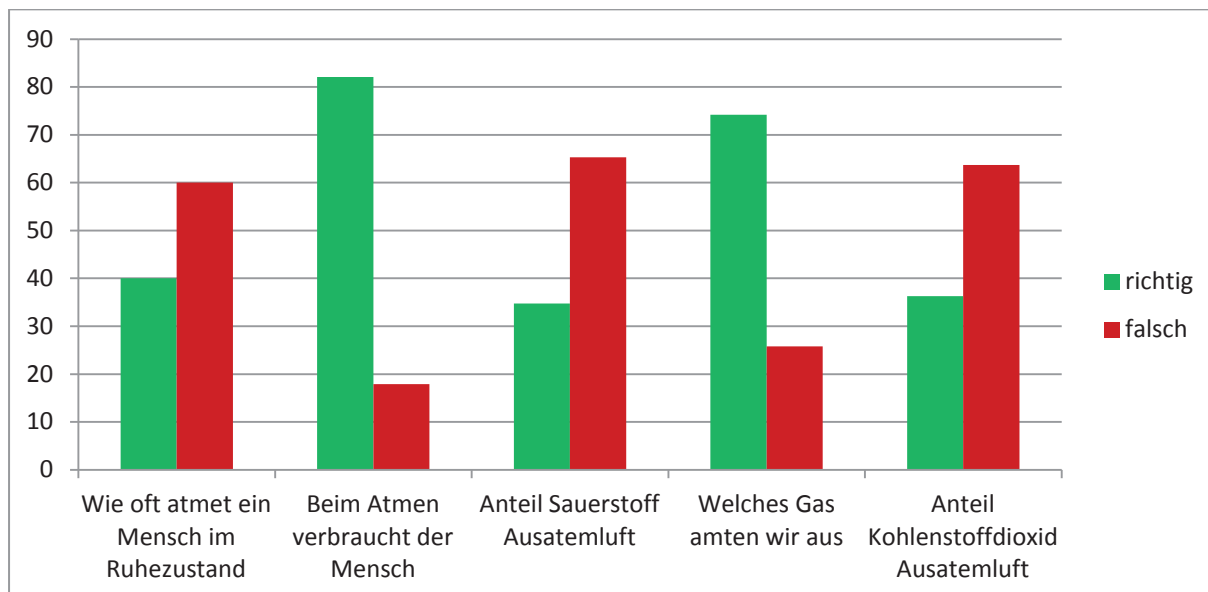


Abbildung 43: Umfrageergebnisse Tauchen II

Aus diesem Grund scheint es in besonderem Maße wichtig zu sein, das Interesse der Schülerinnen und Schüler für diesen Themenbereich zu wecken und ihnen die Bedeutung im Alltag und Freizeit aufzuzeigen und sie Erfahrungen und Eindrücke am eigenen Körper sammeln zu lassen.

Kompetenzbereiche	Inhalt
Fachwissen	<ul style="list-style-type: none"> - Aufbau der Lunge - Lungenvolumen - Atemtechniken - Atemmechanik - Gasaustausch und Transport der Atemgase - Atemreflex und Atemzentrum - Stoffwechselprozesse und Energiegewinnung - Anpassung - Einflussfaktoren - Taucherkrankheiten - Kinetische Gastheorie - Druckabhängigkeit bei der Löslichkeit von Gasen - Entstehungen von sauren Lösungen - Reversible chemische Reaktionen - Energiebereitstellung durch Verbrennung von Glucose - Nachweise von Kohlenstoffdioxid - Stöchiometrische Berechnungen - Schweredruck / Druck - Einheit des Drucks - Das Boyle-Mariotte-Gesetz

Erkenntnisgewinn	- Versuche am eigenen Körper - Lungenpräparation - Nachvollziehen von Gesetzmäßigkeiten - Interpretation von Diagrammen, Tabellen und Abbildungen
Kommunikation	- Informationen erschließen und austauschen - Fachsprache verwenden
Bewerten	- Naturwissenschaftliche Sachverhalte im Alltag erkennen - Bedeutungen naturwissenschaftlicher Gesetze erfahren - Informationen analysieren und einschätzen

Tabelle 34: Thematisierte Kompetenzbereiche der Unterrichtseinheit

4.3.4 Unterrichtseinheit „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“

Den Einstieg in diese fächerverbindende Unterrichtseinheit bildet der Kinotrailer zum Film „Im Rausch der Tiefe“. Nach dieser ersten Einstimmung in das Themengebiet des Apnoetauchens wird die Thematik des Filmes kurz zusammengefasst und eine erste Szene des Filmes gezeigt.

Darin wird der Apnoetaucher Enzo, einer der beiden Hauptcharaktere des Films, bei einem Rettungstauchgang gezeigt (0:9:35 – 0:14:07). Die Schülerinnen und Schüler sollen während der Szene darauf achten, wie lange Enzo es schafft die Luft unter Wasser anzuhalten. Im Anschluss daran testen die Schülerinnen und Schüler in Zweier-Teams, wie lange es ihnen möglich ist, die Luft in Ruhe und unter Anstrengung anzuhalten.

V11: Wie lange kannst du die Luft anhalten?

Geräte und Materialien: Stoppuhr, Seil, Stift und Papier

Durchführung und Beobachtung: In einem ersten Versuchsdurchgang wird die Luft im Ruhezustand angehalten und die Zeit gestoppt und anschließend notiert. Nach zwanzig Kniebeugen wird die Luft erneut so lange wie möglich angehalten und das Ergebnis notiert. Im letzten Durchgang wird die Luft nach 1 min Seilspringen angehalten.

Ruhezustand	20 Kniebeugen	1 min Seilspringen
60 Sekunden	30 Sekunden	20 Sekunden

Tabelle 35: Durchschnittliche Ergebnisse einer 10. Klasse (25 Schüler) zu Versuch 11

Erklärung und Interpretation: Im Ruhezustand kann ein normal trainierter gesunder Mensch die Luft ca. 1 min anhalten. Diese Zeit wird bei körperlicher Anstrengung deutlich geringer, da der Körper bei Anstrengung mehr Sauerstoff benötigt und die im



Blut vorhandene Menge schneller zu Kohlenstoffdioxid ungesetzt wird. Dadurch wird schneller ein für den Atemreflex notwendiger Wert erreicht. Der Drang zu atmen lässt sich nicht länger unterdrücken.

Diese Erfahrung am eigenen Körper leitet zu einem Unterrichtsgespräch über das Vorwissen und Fragen der Schüler zum Themenbereich Atmung über. Mit diesen Impulsen, die auf einem Plakat im Klassenraum festgehalten werden, wird die Leitfrage erarbeitet, wie die Vorgänge der Atmung im Körper ablaufen. Mit Hilfe eines Lernzirkels wird dies von den Schülerinnen und Schülern erarbeitet. Der Lernzirkel gliedert sich dabei in sechs Stationen, die in beliebiger Reihenfolge absolviert werden können.

Die erste Station thematisiert der Aufbau der Lunge und ihre Lage im Körper. Dabei vergleichen die Lernenden einen Lungenabguss mit einer Schemazeichnung und beschriften diese.

Die zweite Station beschäftigt sich mit dem Atemvorgang und zeigt den Lernenden den Unterschied zwischen Bauch- und Brustatmung auf, indem sie zum einen ein Modell zur Bauchatmung herstellen und diese daran simulieren und zum anderen beim bewussten Atmen genau auf ihren Körper achten und diese Beobachtungen festhalten.

V12: Die Simulation der Bauchatmung.

Geräte und Materialien: Plastikflasche, 3 Luftballone, y-Glasrohr, 3 durchbohrte Stopfen

Durchführung und Beobachtung: Von einer Plastikflasche wird der Boden abgeschnitten. Im Anschluss daran werden mit Hilfe der durchbohrten Stopfen die Luftballone am y-Rohr befestigt. Mit einem dritten Stopfen wird alles mit dem Flaschenhals verbunden. Am dritten Luftballon wird der Hals abgetrennt und der Rest über den Flaschenboden gestülpt. Zieht man nun am Zwerchfell-Luftballon, blähen sich die Lungenflügel-Luftballons auf (Vorsicht: Modellkritik und Fehlvorstellungen thematisieren)

Erklärung und Interpretation: Durch das Ziehen am Zwerchfell-Luftballon wird das Flaschenvolumen (Brustkorb) vergrößert und es entsteht ein Unterdruck in der Flasche. Dadurch wird Luft von außen in die Flasche gesaugt. Dies kann

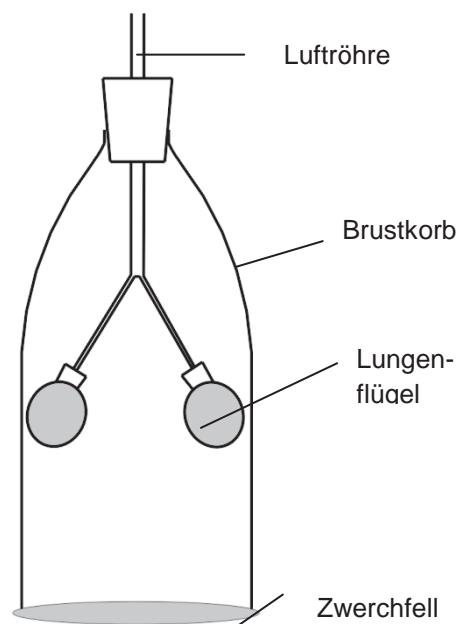


Abbildung 44: Schemazeichnung Simulation der Bauchatmung



ausschließlich durch das y-Rohr erfolgen und die am Ende angebrachten Luftballons (Lungenflügel) blähen sich auf. Kehrt der Zwerchfell-Ballon in seine Ausgangslage zurück, wird die angesaugte Luft wieder aus den Lungenflügel-Ballons durch das y-Rohr aus der Flasche gedrückt.

Inhalt der dritten Station ist der Gasaustausch in den Lungenbläschen. Thematisiert werden dabei die Zusammensetzung von Raumluft und Ausatemluft hinsichtlich des Kohlenstoffdioxid- und Sauerstoffgehalts. Die Lernenden führen in dieser Station einen Versuch zur Unterscheidung von Raumluft und ausgeatmeter Luft durch.

V13: Die Unterscheidung von Raumluft und ausgeatmeter Luft

Geräte und Chemikalien: 2 Gaswaschflaschen, Siliconschlauch, Kolbenprober 100 mL, sauberes Glasrohr als Mundstück, Kalkwasser

Durchführung und Beobachtung: Beide Gaswaschflaschen werden mit Kalkwasser gefüllt. Nun wird in den ersten Kolbenprober 100 mL Raumluft gefüllt und der Kolbenprober an der Gaswaschflasche befestigt. Beim Entleeren des Kolbenprobers in die Gaswaschflasche zeigt sich keine Trübung des Kalkwassers. Der zweite Kolbenprober wird mit 100 mL Ausatemluft gefüllt und in die zweite Gaswaschflasche entleert. Es zeigt sich eine deutliche Trübung des Kalkwassers.

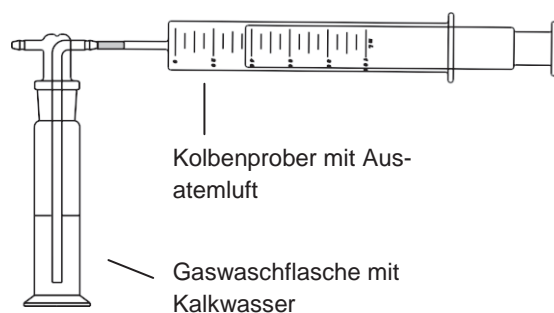
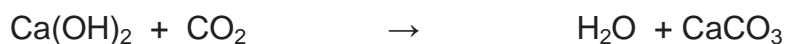


Abbildung 45: Schemazeichnung Unterscheidung Raumluft / ausgeatmete Luft

Erklärung und Interpretation: Kalkwasser (Calciumhydroxid) reagiert mit Kohlenstoffdioxid zu Calciumcarbonat, welches ausfällt und eine Trübung der Lösung verursacht.



Umgebungsluft enthält einen Kohlenstoffdioxidanteil von 0,03 %. Dieser Anteil ist so gering, dass keine mit dem Auge erkennbare Menge von Calciumcarbonat ausfällt. Bei ausgeatmeter Luft ist durch die im Körper ablaufenden Stoffwechselprozesse der Kohlenstoffdioxidgehalt mit 4 % höher und dadurch eine deutliche Trübung zu erkennen.

Die Zellatmung ist Bestandteil der vierten Station. Thematisiert wird dabei die Stoffwechselgleichung von Glucose und Sauerstoff zu Wasser, Kohlenstoffdioxid und Energie. Die Lernenden führen hierbei stöchiometrische Berechnungen durch.



Glucose + Sauerstoff → Wasser + Kohlenstoffdioxid + Energie

1g Glucose verbraucht 750 mL Sauerstoff, um dem Körper 15,5 kJ Energie zu liefern

1) Ermittle deinen individuellen Grundumsatz

$GU = 4 \text{ kJ} \cdot \text{Gewicht in kg} \cdot \text{h}$

2) Wie viel Glucose musst du aufnehmen, um deinen GU zu decken?

3) Wie viel Sauerstoff benötigst du, um die errechnete Menge an Glucose umzusetzen (pro Tag, Stunde und Minute)?

Abbildung 46: Auszug aus einem Arbeitsblatt der Unterrichtseinheit AB R5

Die fünfte Station verdeutlicht den Schülerinnen und Schülern ihre individuelle Atemfrequenz. In einem Experiment erkennen die Lernenden, dass sich körperliche Anstrengung auf ihre Atemfrequenz auswirkt.

V14: Wie oft atmet ein Mensch in der Minute?

Versuchsmaterialien: Stoppuhr, Hüpfseil, Papier und Stift

Durchführung und Beobachtung: Zu Beginn des Versuchs werden eine Minute lang die Atemzüge gezählt und die Atmung ganz bewusst wahrgenommen, während man entspannt auf einem Stuhl sitzt. Diese Zahl ist die Ruheatemfrequenz. Sie wird zusammen mit den Beobachtungen notiert. Anschließend werden 10 Kniebeugen durchgeführt und danach wieder eine Minute lang die Atemzüge gezählt und die Atmung bewusst beobachtet. Auch dieses Ergebnis wird notiert. Im letzten Durchgang werden die Atemzüge nach 1 min Seilspringen gezählt und beobachtet.

Ruhezustand	20 Kniebeugen	1 min Seilspringen
14 Atemzüge	16 Atemzüge	18 Atemzüge

Tabelle 36: Durchschnittliche Ergebnisse einer 10. Klasse zu Versuch 14 (25 Schüler)

Erklärung und Interpretation: Durch den Versuch lässt sich von den Schülern die Gesetzmäßigkeit ableiten, dass durch körperliche Anstrengung die Atemfrequenz ansteigt und die Brustatmung deutlich stärker wird, während in Ruhe meist über die Bauchatmung geatmet wird.

Die sechste und letzte Station des Lernzirkels beschäftigt sich mit der Lungenkapazität und deren Unterteilung in Residualvolumen und Lungenkapazität.



V15: Die Bestimmung der Vitalkapazität

Versuchsmaterialien: Glasglocke mit Messskala, gebogenes Glasrohr, Schlauch (jeder Schüler benützt ein eigenes Schlauchstück), Klötzchen, Wanne, Wasser

Durchführung und Beobachtung: Der Atemmesser wird der Abbildung entsprechend aufgebaut. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die Glasglocke vollständig mit Wasser gefüllt ist. Nun wird normal eingeatmet und in die Glocke ausgeatmet und das abgelesene Volumen notiert. Die Glocke wird wieder vollständig mit Wasser gefüllt und normal eingeatmet

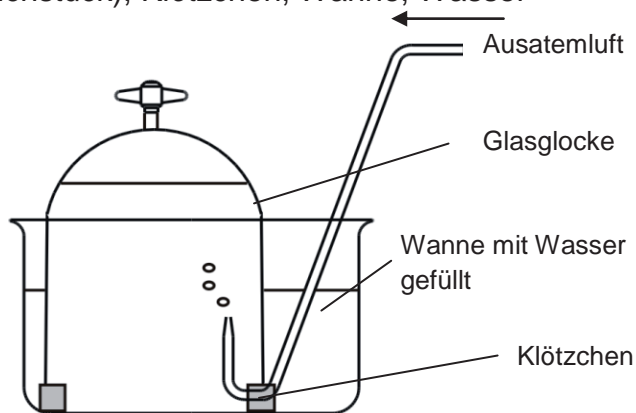


Abbildung 47: Schemazeichnung Vitalkapazität

und anschließend so stark wie möglich ausgeatmet. Im dritten Versuch atmet man so kräftig ein wie möglich und danach so kräftig wie möglich aus.

Erklärung und Interpretation: In Ruheatmung werden etwa 0,5 L Luft ein- und wieder ausgeatmet, dies wird als Atemzugsvolumen bezeichnet (1. Messung). Bei maximaler Einatmung lassen sich weitere 1,5 – 2 L einatmen (inspiratorisches Reservevolumen). Atmet man kräftig ein, so können weitere 1,5 - 2 L abgeatmet werden (expiratorisches Reservevolumen). Nach tiefst möglicher Ausatmung bleiben 1,2 -1,5 L in der Lunge zurück, dies wird als Residualvolumen bezeichnet. Die Vitalkapazität bezeichnet die Summe aus inspiratorischem Reservevolumen, expiratorischem Reservevolumen und Atemzugsvolumen und liegt bei den meisten Menschen bei ca. 4,5 L.

In einem „Taucherhandbuch“ halten die Schüler die Ergebnisse aus den Stationen fest.

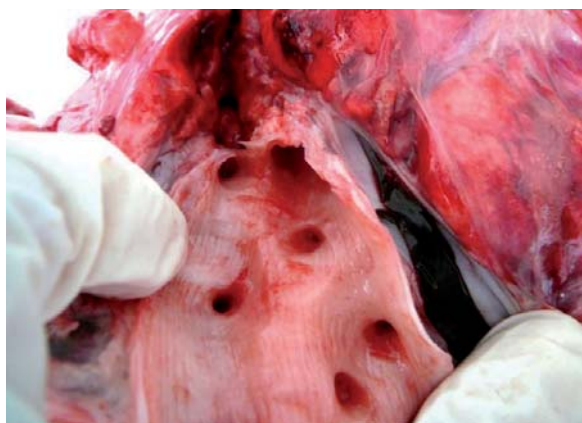


Abbildung 39: Schnitt entlang eines Bronchialasts einer Schweinelunge

Zur Vertiefung der gelernten Inhalte wird im Anschluss eine gemeinsame Lungenpräparation durchgeführt. Dabei vergleichen die Schülerinnen und Schüler die Schweinelunge mit Schemazeichnungen und benennen die Bestandteile der Lunge. Durch einen Strohhalm blasen die Schüler einen Lungenflügel auf (Vorsicht: oft sind beim Metzger bestellte Lungen eingeschnitten, da sie auf Krankheitserreger un-

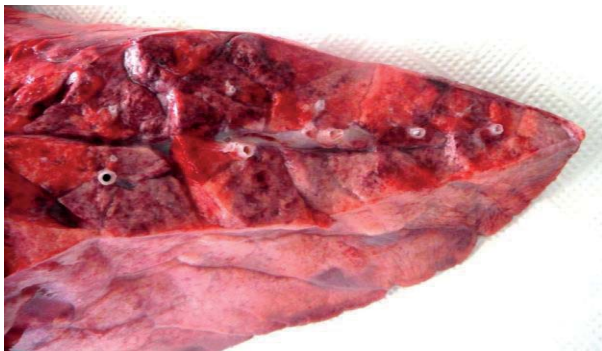


Abbildung 48: Schnitt in die Lungenspitze

tersucht werden und können nicht mehr aufgeblasen werden). Durch das Aufschneiden einer Bronchie wird die Verzweigung in viele kleine Bronchiolen und die damit einhergehende Oberflächenvergrößerung der Lunge deutlich. Die schwammartige Struktur der Lunge wird durch Betasten der Lungenflügel und dem Aufschneiden der Lungenspitze besonders anschaulich.

Zur Überleitung in den chemischen Unterrichtsbaustein wird den Schülern eine weitere Szene aus dem Kinofilm „Im Rausch der Tiefe“ gezeigt. Zu sehen sind die beiden Hauptdarsteller als Kinder, die nach einer Münze im Hafenbecken tauchen und vor dem Tauchgang hyperventilieren (0:1:30 – 0:2:50).

Hierbei wird der Fokus noch einmal auf die Fragestellung gelenkt, was beim Luftanhalten im Körper, bzw. Blut genau abläuft und dies auf dem Poster festgehalten. Im Fokus des Interesses steht hierbei das reversible Lösen von Kohlenstoffdioxid im Blut. Um das Interesse an dieser Fragestellung zu festigen, kann unterstützend eine Szene aus einer Dokumentation über das Thema Apnoetauchen gezeigt werden (0:12:11 - 0:13:45). Anschließend erarbeiten die Schülerinnen und Schüler anhand eines Versuchs die Reversibilität des Lösens von Kohlenstoffdioxid in Wasser.

V16: Reversible Reaktion von Kohlenstoffdioxid und Wasser

Geräte und Chemikalien: Bunsenbrenner, Dreifuß mit Drahtnetz, Glasstab, zwei Bechergläser 100 mL, Kolbenprober 100 mL, Universalindikator, Wasser, Kohlenstoffdioxid (GHS 04, Achtung), Mineralwasser mit Kohlensäure

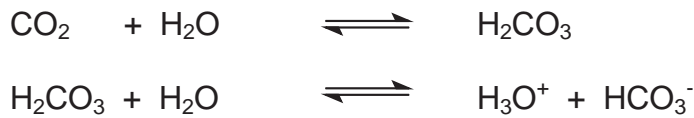
Durchführung und Beobachtung: In einem Becherglas werden 20 mL Mineralwasser mit 20 Tropfen Universalindikator versetzt, es zeigt sich eine gelbe Verfärbung des Indikators. Anschließend wird das Mineralwasser über dem Bunsenbrenner erhitzt, dabei wird der Indikator zunehmend grüner.

In einem zweiten Becherglas werden 20 mL Wasser mit 20 Tropfen Universalindikator vermischt. Zu dieser grün gefärbten Lösung fügt man mit dem Kolbenprober 100 mL Kohlenstoffdioxid hinzu. Dabei lässt sich eine Verfärbung des Indikators nach gelb beobachten. Anschließend wird auch diese Flüssigkeit über dem Bunsenbrenner erhitzt, wobei sich die grüne Ausgangsfärbung wieder herstellt.



„Im Rausch der Tiefe“

Erklärung und Interpretation: Mineralwasser ist oft mit Kohlenstoffdioxid versetzt. Leitet man Kohlenstoffdioxid in Wasser ein, entstehen Oxonium-Ionen, die durch eine gelbe Färbung des Universalindikators nachgewiesen werden.



Die Reaktion von Kohlenstoffdioxid und Wasser ist reversibel, so dass es möglich ist durch die Zufuhr von Wärme das Kohlenstoffdioxid wieder auszutreiben. Dadurch liegen immer weniger Oxonium-Ionen in der Lösung vor und der Universalindikator verfärbt sich wieder grün.

Wie lange ein Mensch tatsächlich die Luft anhalten kann, erarbeiten die Schüler anhand einer stöchiometrischen Berechnung.

Ein Mensch atmet pro Minute durchschnittlich 15-mal, dabei besitzt er ein Atemzugsvolumen von 500 mL. Luft besitzt einen Anteil von 21 % Sauerstoff, ausgeatmete Luft von 17 %.

- Wie viel Sauerstoff verbraucht ein Mensch pro Minute?
- Wie lange kann er mit einem Lungenvolumen von 6 L das Gewebe mit Sauerstoff versorgen?
- Wie viel Kohlenstoffdioxid produziert ein Mensch pro Sekunde?

Abbildung 49: Auszug aus Arbeitsblatt AB R10

Durch die bei einem Atemzug eingeatmeten 500 mL Luft ergibt sich ein Sauerstoffumsatz von 20 mL Sauerstoff pro Atemzug. In einer Minute bei durchschnittlich 15 Atemzügen werden 300 mL Sauerstoff umgesetzt. Bei 6 L Lungenvolumen stehen dem menschlichen Körper 1,26 L Sauerstoff zur Verfügung. Geht man von dem berechneten Verbrauch von 300 mL pro Minute aus, so kann der Körper 4,2 min ausreichend mit Sauerstoff versorgt werden. Pro Minute werden im durch die Atmung 300 mL Kohlenstoffdioxid an die Umgebung abgegeben. Dies entspricht einer Produktion von 5 mL pro Sekunde.

Diesen Sachverhalt überprüfen die Schülerinnen und Schüler in einem weiteren Experiment.

V17: Überprüfen des Kohlenstoffdioxidgehalts mit Universalindikator

Geräte und Chemikalien: drei Reagenzgläser mit seitlichem Ansatz, drei passende durchbohrte Stopfen, 3 lange gebogene Glasrohre, Kolbenprober 100 mL, Siliconschlauch, sauberes Glasrohr als Mundstück, Becherglas 100 mL, Wasser, Universalindikatorlösung



Durchführung und Beobachtung: Zu Beginn werden in ein Becherglas 100 mL Leitungswasser gefüllt und mit Universalindikatorlösung versetzt, bis eine deutlich grün gefärbte Universalindikatorlösung entsteht. Von dieser Lösung werden jeweils 20 mL in jedes der drei Reagenzgläser gegeben und mit einem Stopfen verschlossen. In die Stopfen werden die gebogenen Glasrohre so gesteckt, dass ihr Ende in die Universalindikatorlösung eintaucht.

Nun werden 100 mL in den Kolbenprober ausgeatmet und dieser am Glasrohr des ersten Reagenzglases befestigt und entleert. Dabei verfärbt sich der Universalindikator nur leicht gelb.

Anschließend wird die Luft 20 Sekunden lang angehalten und in den Kolbenprober ausgeatmet und in das zweite Reagenzglas gegeben. Dabei zeigt sich eine deutliche Gelbfärbung des Universalindikators.

Für den letzten Durchgang wird die Luft so lange wie möglich vor dem Ausatmen angehalten und in das dritte Reagenzglas gegeben. Der Universalindikator ist gelb gefärbt.

Zum Abschluss des Versuchs setzt man den leeren Kolbenprober seitlich am ersten Reagenzglas an und zieht 100 mL Luft durch die Universalindikatorlösung. Dabei verfärbt sich der Indikator wieder nach grün.

Erklärung und Interpretation: Ausgeatmete Luft enthält einen Kohlenstoffdioxidanteil von 4%. Dieser Kohlenstoffdioxidgehalt steigt mit Anhalten der Luft stetig an. Je länger die Luft angehalten wird, desto mehr Kohlenstoffdioxid ist in ihr enthalten. Löst man dieses in Wasser mit Universalindikator, so zeigt sich durch die entstehenden Oxonium-Ionen eine gelbe Verfärbung des Universalindikators.

Der dritte Unterrichtsbaustein widmet sich dem physikalischen Aspekt des Apnoetauchens. Dieser wird mit dem Filmtrailer zu „Freediver“ eingeführt.

Eine erste verwendete Szene des Films zeigt einen Weltrekordversuch im Apnoetauchen durch die Amerikanerin Maggie Stone, Danais Konkurrentin, die dabei ohnmächtig wird (1:06:20 – 1:08:20). Die Schülerideen zu dieser Szene und den Ursachen des Ohnmachtsanfalls werden auf dem Poster notiert. Mit diesen Fragen wird zur Erarbeitung des Schweredrucks übergeleitet und in den Fokus genommen, welchen Kräften und Belastungen der Körper unter Wasser ausgesetzt ist.

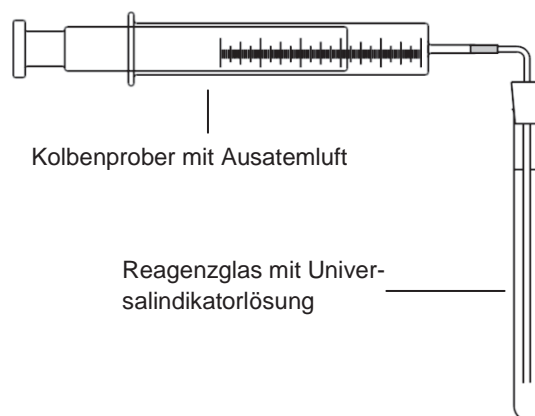


Abbildung 50: Schemazeichnung Überprüfung des CO_2 -Gehalts mit Universalindikator



Einen ersten Eindruck von den unter Wasser herrschenden Kräften bekommen die Schülerinnen und Schüler durch die Durchführung eines Versuchs zum hydrostatischen Händedruck.

V18: Der hydrostatische Händedruck

Geräte und Chemikalien: Gummihandschuh (locker sitzend), Wassereimer, Wasser

Durchführung und Beobachtung: Ein Wassereimer wird mit Wasser gefüllt. Die Hand mit Handschuh wird langsam Zentimeter für Zentimeter in den Wassereimer getaucht. Dabei ist wichtig, dass kein Wasser in den Handschuh gelangt. Umso tiefer die Hand ins Wasser taucht, desto stärker ist der Druck auf die Hand zu spüren.

Erklärung und Interpretation: Wasser übt von allen Seiten einen gleichmäßigen Druck auf Gegenstände aus. Mit zunehmender Tiefe nimmt die auf der Hand lastende Flüssigkeitssäule zu und damit erhöht sich der Druck. Der Druck von den Seiten auf einen Gegenstand bleibt hingegen gleich.

Dieser Einstiegsversuch lädt dazu ein, die Kraft des Drucks genauer zu betrachten. Mit Hilfe eines nächsten Versuchs soll geklärt werden, wovon der Druck abhängt.

V19: Wovon hängt der Druck ab?

Materialien: Bleistift gespitzt, Hand

Durchführung und Beobachtung: Zu Beginn wird der Bleistift mit dem flachen Ende moderat gegen die Handfläche gedrückt. Anschließend wird die gleiche Kraft mit dem gespitzten Ende auf die Handfläche ausgeübt.

Dabei ist ein deutlicher Unterschied erkennbar. Die Berührung mit dem flachen Ende des Stiftes ist kaum wahrnehmbar, wohingegen die Spitze des Bleistifts deutlich und unangenehm zu spüren ist.

Erklärung und Interpretation: Der Druck ist definiert als Kraft pro Fläche. Das bedeutet, wird dieselbe Kraft auf eine kleinere Fläche ausgeübt, so steigt der Druck. Deshalb ist die Empfindung bei der Spitze des Bleistiftes deutlich stärker, da sich die eingesetzte Kraft auf eine kleinere Fläche verteilt.

V20: Woher kommt der Druck?

Materialien: 20 mL Spritze, Luft

Durchführung und Beobachtung: Die Öffnung der Spritze wird mit dem Finger verschlossen und der Stempel so kräftig wie möglich hineingedrückt. Es ist trotz großem Kraftaufwand nicht möglich, den Stempel komplett in die Spritze zu drücken.



Erklärung und Interpretation: Luft ist nicht beliebig komprimierbar, da sie aus kleinsten Teilchen besteht, die einen gewissen Raum für sich beanspruchen. Diese Teilchen stoßen, da sie sich in einer ständigen Bewegung befinden, an die Spritzenwand und verursachen so einen gewissen Druck. Engt man die Teilchen ein, dann wird die Wahrscheinlichkeit größer, dass Teilchen an die Wand stoßen und der Druck steigt.

Dieser Zusammenhang von Volumen und Druck wird durch das Boyle-Mariotte-Gesetz beschrieben.

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

Durch Übungsaufgaben zum Boyle-Mariotte-Gesetz wird diese neue Gesetzmäßigkeit gefestigt und die Einheit bar eingeführt.

Den Schülerinnen und Schülern wird die Druckzunahme beim Tauchen durch die folgende Gleichung verdeutlicht.

$$\text{Druck auf die Lunge} = \frac{\text{Tauchtiefe in m}}{10 \text{ m}} \text{ bar} + 1 \text{ bar}$$

$$p = \frac{\Delta h}{10 \text{ m}} \text{ bar} + 1 \text{ bar}$$

- 1) Der Weltrekord im No-Limit-Apnoetauchen wird heute vom Österreicher Herbert Nietsch gehalten (Lungenvolumen 12,2 L). Er liegt bei 214 m.
 - a) Wie hoch ist der der Druck auf die Lunge in 214 m?
 - b) Auf welches Volumen wird seine Lunge in 214 m zusammengedrückt?
 - c) Auch Herbert Nitsch beherrscht Atemtechniken, um sein Residualvolumen auf 55 % zu senken. Wie groß ist sein natürliches Residualvolumen?
 - d) Wie hoch ist seine Vitalkapazität?

- 2) Ein durchschnittlich trainierter Taucher mit einem Residualvolumen von 1,5 L und einer Vitalkapazität von 4,5 L taucht 30 m tief.
 - a) Auf welches Volumen wird sein Lungenvolumen unter diesem Druck zusammengesprengt (Boyle-Mariotte-Gesetz)
 - b) Vergleiche das Volumen mit dem Residualvolumen.

- 3) Pipin Ferreras (eine Legende im Apnoetauchen) besitzt ein Residualvolumen von 1,2 L und eine Vitalkapazität von 9,6 L.
 - a) Wie tief kann er rechnerisch tauchen?
 - b) Tatsächlich liegt sein Rekord deutlich tiefer. Durch spezielle Atemtechniken ist es möglich das Residualvolumen auf 55 % zu senken. Wie tief kann er mit dieser Technik tauchen?

Abbildung 51: Ausschnitt Arbeitsblatt AB R13

Durch die eingeführte Formel zur Berechnung des Drucks mit zunehmender Wassertiefe ist es den Schülerinnen und Schülern möglich eine Druckzunahme auf 4 bar in



30 m Tiefe zu berechnen. Durch Einsetzen in das Boyle-Marriotte-Gesetz ergibt sich eine Volumenverkleinerung der Lunge auf 1,5 L, dies entspricht dem Residualvolumen der Lunge.

Da die Lunge anatomisch nicht weiter komprimierbar ist, wäre ein tieferer Tauchgang für einen untrainierten Menschen lebensbedrohlich.

Der Weltrekordtaucher Pipin Ferras besitzt durch Training und gute körperliche Voraussetzungen ein Lungenvolumen von 11,0 L. Um seine Lunge auf 1,5 L zu komprimieren sind 9,16 bar notwendig. Somit kann er 81,6 m tief tauchen.

Unterstützend kann zu Aufgabe 2 ein Weltrekordtauchgang von Pipin Ferreras aus „Apnoe-Taucher im Tiefenrausch“ gezeigt werden. Durch die spezielle Atemtechnik ist es rechnerisch möglich, 156 m in die Tiefe zu tauchen.

Ein letztes Rechenbeispiel untersucht den bestehenden Weltrekord des Österreichers Herbert Nietsch. In 214 m Tiefe lastet ein Druck von 22,4 bar auf seinem Körper. Seine Lunge wird unter diesen Bedingungen auf ein Volumen von 0,54 L zusammengepresst. Daraus ergeben sich ein Residualvolumen von 0,98 L und eine Vitalkapazität von 11,22 L.

Den Abschluss der Unterrichtseinheit bildet die Erarbeitung der Abhängigkeit der Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten vom herrschenden Druck. Dieser Sachverhalt ist die Ursache des Flachwasserblackouts.

Eingestimmt werden die Lernenden durch die bereits bekannte Szene aus dem Film „Freediver“ (1:06:20 – 1:08:20), die einen Blackout der Taucherin Maggie während eines Apnoetauchgangs zeigt.

Zur Bereicherung kann eine weitere Szene aus Apnoe-Taucher im Tiefenrausch gezeigt werden, in der die Problematik eines Blackouts und die Gefährlichkeit für die Taucher angesprochen wird (0:13:45 – 0:14:05).

Mit Hilfe der Abbildung 52 erarbeiten die Schülerinnen und Schüler selbstständig die dem Flachwasserblackout zugrunde liegenden Bedingungen (vgl. 4.3.2).

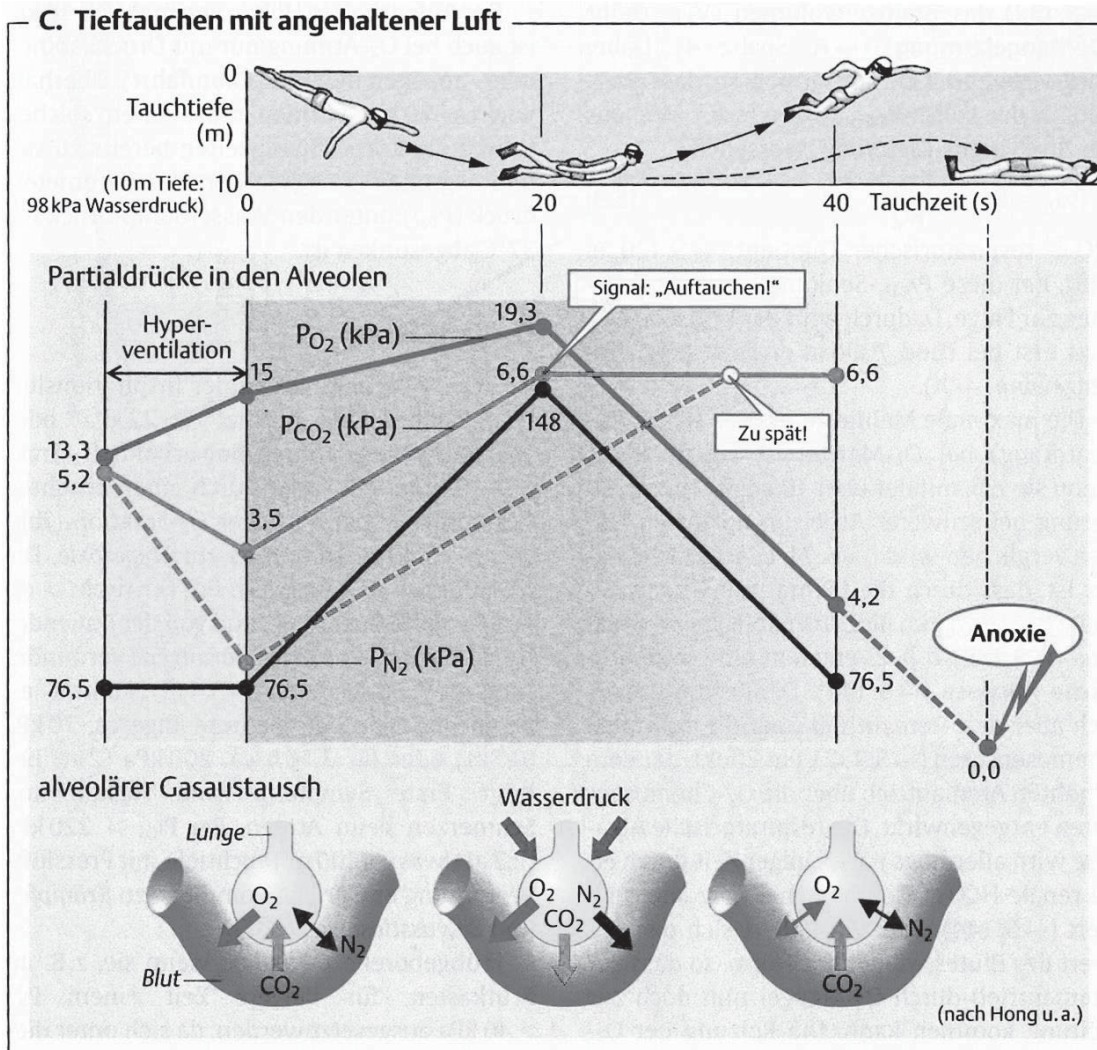


Abbildung 52: Tieftauchen mit angehaltener Luft (Silbernagl, 2003, S. 135)

V21: Druckabhängigkeit der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid

Geräte und Chemikalien: a) Reagenzglas mit durchbohrtem Stopfen, gebogenes Glasrohr, Kolbenprober 100 mL, Siliconschlauchstück, Stativmaterial, nicht mehr perlendes Mineralwasser

b) Kolbenprober, Becherglas, Universalindikatorlösung, Kohlenstoffdioxid (GHS 04, Achtung)

Durchführung und Beobachtung: a) In ein Reagenzglas werden 20 mL nicht perlendes Mineralwasser gefüllt und es mit einem durchbohrten Stopfen mit Glasrohr verschlossen. Am Glasrohr wird über den Schlauch der Kolbenprober angeschlossen. Anschließend wird der Stempel des Kolbenprobers vorsichtig herausgezogen, in dieser Stellung kurz gehalten und anschließend wieder hineingedrückt. Zieht man den Stempel des Kolbenprobers heraus, beginnt das Mineralwasser erneut zu perlen. Dieser Effekt verschwindet, wenn der Kolbenprober wieder entleert ist.



b) In das Becherglas werden 100 mL Wasser und 20 Tropfen Universalindikatorlösung gegeben. Anschließend werden 20 mL dieser Lösung in einen Kolbenprober gesaugt und 30 mL Kohlenstoffdioxid hinzugegeben. Nachdem der Hahn des Kolbenprobers verschlossen wurde, schüttelt man kräftig und drückt dabei den Stempel des Kolbenprobers fest hinein. Dabei kann man eine deutliche gelbe Färbung des Universalindikators beobachten. Danach wird der Stempel mit verschlossenem Hahn so weit wie möglich zurückgezogen, dabei beobachtet man eine grüne Verfärbung des Universalindikators.

Erklärung und Interpretation: a) Die Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten ist abhängig vom herrschenden Druck. Wird im Versuch der Stempel aus dem Kolbenprober heraus gezogen, so verringert sich der Druck und es kann sich weniger Kohlenstoffdioxid in der Flüssigkeit lösen und die Gasbläschen steigen auf. Wird der Druck wieder erhöht kann dieser Vorgang umgekehrt werden.

b) Durch das Schütteln des Kolbenprobers löst sich etwas Kohlenstoffdioxid in Wasser. Drückt man den Kolben beim Schütteln fest hinein und erhöht so den Druck, erhöht sich ebenfalls die Löslichkeit des Kohlenstoffdioxids im Wasser. Dies wird durch eine Gelbfärbung des Universalindikators angezeigt. Zieht man den Stempel heraus und erniedrigt den Druck, perlt Kohlenstoffdioxid aus der Flüssigkeit aus und der Universalindikator verfärbt sich grün.

Ein letzter gemeinsamer Blick auf das zu Beginn eingeführte Plakat wiederholt noch einmal Gelerntes und klärt eventuell unbeantwortete Fragen. Den Abschluss der Unterrichtseinheit bildet eine Reflektion der im Unterricht bearbeiteten Filmszenen hinsichtlich des biologischen, chemischen oder physikalischen Hintergrunds.

Der Spannungsbogen wird durch das gemeinsame Betrachten der Schlusszenen von „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“ geschlossen (ab 1:53:00 und 1:15:00 - 1:15:20).



4.3.5 Tabellarischer Überblick der Unterrichtseinheit „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“

1. Unterrichtsblock (4 h): Die Lunge

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg / Motivation	Die Schülerinnen und Schüler bekommen zum Einstieg den Kinotrailer des Films „Im Rausch der Tiefe“ gezeigt und erhalten einen kurzen Überblick über die Handlung des Films.	DVD, DVD-Player, Beamer
Hinführung	Eine erste Szene des Films wird gezeigt, in der Enzo einen verunglückten Wracktaucher vor dem Ertrinken rettet (0:9:35 – 0:14:07). Die in der Filmszene genannte Zeit wird an der Tafel notiert. Es wird als Leitfrage notiert: - Wie lange kann ein Mensch die Luft anhalten?	DVD, DVD-Player, Beamer, Filmszene R1
Erarbeitung	In einem Schülerexperiment erarbeiten die Schülerinnen und Schüler wie lange sie selbst in der Lage sind die Luft anzuhalten.	Arbeitsblatt AB R2, Versuchsmaterialien
Erarbeitung II	Auf einem Poster wird gesammelt, welches Wissen die Schüler bereits über den Vorgang der Atmung haben und welche Fragen sie noch gerne klären würden.	Poster
Vertiefung I	Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten in einem Lernzirkel biologische Aspekte zur Lunge.	Lernzirkel mit Materialien AB R2 – AB R7, Taucherhandbuch AB R8
Ergebnissicherung	Jede Station des Lernzirkels wird von einer Gruppe präsentiert.	Folien, OHP
Festigung	Der im Lernzirkel erarbeitete Aufbau der Lunge wird nun durch eine gemeinsame Lungenpräparation gefestigt.	Arbeitsblatt AB R9, Schweinelungen, Präparationsutensilien
Abschluss	Abschließender Blick auf das Poster.	Poster

Tabelle 37: 1. Unterrichtsblock (4h) der Einheit „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“

2. Unterrichtsblock (2 h): Die Atmung / Die reversible Reaktion des Lösens von Kohlenstoffdioxid in Wasser

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg / Motivation	In einer Filmszene werden Kinder gezeigt, die im Hafenbecken nach versunkenen Münzen tauchen (0:1:30 – 0:2:50).	DVD, Beamer, DVD-Player, Filmszene R1
Vertiefung	Eine Szene aus der Apnoe-Doku vertieft den gezeigten Sachverhalt des Hyperventilierens (0:12:11 – 0:13:45). Die Leitfrage des Unterrichtsblocks wird notiert: - Wie funktioniert Hyperventilieren?	DVD, Beamer, DVD-Player, Filmszene A1
Erarbeitung I	Im Schülerexperiment wird das Lösen von Kohlenstoffdioxid im Blut nachgestellt. Die Reversibilität dieser Reaktion wird dabei besonders in den Fokus genommen.	Arbeitsblatt AB R10, Versuchsmaterialien
Erarbeitung II	Mit den Lernenden wird rechnerisch ermittelt,	

4. ChemCi – Unterrichtskonzeptionen

„Im Rausch der Tiefe“

	wie lange man die Luft anhalten kann.	
Vertiefung und Abschluss	Durch Experimente mit Universalindikator wird bestätigt dass der Kohlenstoffdioxidanteil durch das Anhalten des Atems stetig ansteigt.	Arbeitsblatt AB R11

Tabelle 38: 2. Unterrichtsblock der Einheit "Im Rausch der Tiefe" und "Freediver"

3. Unterrichtsblock (2 h): Der Schweredruck

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg	Die Schülerinnen und Schüler sehen sich gemeinsam den Filmtrailer zum Film „Freediver“ an und bekommen den Inhalt des Filmes kurz erläutert.	DVD, DVD-Player, Beamer
Einstieg	Die Lernenden bekommen eine Filmszene gezeigt, in der die Taucherin Maggie beim Weltrekordtauchgang ohnmächtig wird (1:06:20 – 1:08:20).	DVD, DVD-Player, Beamer, Filmszene F1
Hinführung	Im Plenum wird überlegt, was für diese Ohnmacht der Taucherin verantwortlich sein könnte. Die Leitfragen werden formuliert - Kann der Druck unter Wasser verantwortlich sein? - Was ist der Druck?	
Erarbeitung I	Die Schülerinnen und Schüler erfahren in einem Experiment die Zunahme des Schweredruckes mit der Tiefe.	Arbeitsblatt AB R12
Erarbeitung II	Die Lernenden erarbeiten durch Versuche den Zusammenhang von Kraft pro Fläche. Das Boyle-Mariotte-Gesetz wird thematisiert und die Einheit bar für den Druck eingeführt.	Arbeitsblatt AB R12
Vertiefung	Mit dem erworbenen Wissen wird gemeinsam das Phänomen des hydrostatischen Drucks erklärt. Die Einheit des Drucks (bar) wird eingeführt.	Arbeitsblatt AB R12
Zusammenfassung und Transfer	Zur Festigung werden verschiedene Übungsaufgaben zum Druck und dem Boyle-Mariotte-Gesetz gerechnet.	Arbeitsblatt AB R13

Tabelle 39: 3. Unterrichtsblock der Einheit "Im Rausch der Tiefe" und "Freediver"

4. Unterrichtsblock (2 h): Der Einfluss des Drucks auf die Löslichkeit von Gasen

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg	Die Schülerinnen und Schüler sehen zur Einstimmung noch einmal die Szene aus Freediver (1:06:20 – 1:08:20) Zusätzlich wird durch eine Szene der Tauchdokumentation unterstützt (0:13:45 – 0:14:05)	DVD, DVD-Player, Beamer, Filmszene F1



Hinführung	Die Leitfrage wird formuliert - Was sind die Ursachen eines Flachwasserblackouts?	Poster
Erarbeitung	Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten in Gruppen mit Hilfe der Abbildung die Vorgänge bei einem Flachwasserblackout.	Arbeitsblatt AB R14
Vertiefung	Die Druckabhängigkeit der Löslichkeit von Gasen wird experimentell in zwei Versuchen überprüft.	Arbeitsblatt AB R15, Versuchsmaterialien
Ergebnissicherung	Die Ergebnisse der Experimente werden mit der Abbildung des Flachwasserblackouts verglichen und interpretiert.	
Zusammenfassung	Gemeinsam wird anhand des Posters überprüft, ob alle Fragen geklärt und ausreichend beantwortet wurden.	Poster
Abschluss	Das Ende von „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“ (1:15:00 – 1:15:20 und 1:53:00 bis Ende) wird gezeigt.	DVD, DVD-Player, Beamer, Filmszene R3, F2

Tabelle 40: 4. Unterrichtsblock der Einheit "Im Rausch der Tiefe" und "Freediver"

4.4 „Men of Honor“: Das Thema Helmtauchen sowie Tauchen mit Druckgasflaschen als Unterrichtsgegenstand für die Erarbeitung der Gasgesetze in der Sekundarstufe II

4.4.1 Filmbeschreibung „Men of Honor“ und Szenenüberblick

In „Men of Honor“, erschienen 2000, beschreibt der Regisseur George Tillmann die Lebensgeschichte des ersten afroamerikanischen Marinetauchers Carl Brashear. Als Hauptcharaktere sind Cuba Gooding Jr. und Robert De Niro zu sehen.

Der junge Carl ist Koch und träumt davon eine Tauchausbildung bei der US Navy zu beginnen. Nach langem Bemühen wird ihm dies genehmigt, doch in der Ausbildung schlagen ihm Vorurteile und Ablehnung entgegen. In seinem Ausbilder und vielen seinen Kameraden hat er ausdauernde Gegner gefunden. Durch besonderen Fleiß und Ehrgeiz kann er seine schulischen Schwächen überwinden und besteht trotz aller Manipulationen die Abschlussprüfung. Während seiner danach folgenden Arbeit als Bergungstaucher wird er so stark verletzt, dass ihm ein Unterschenkel amputiert werden muss und er zunächst seinen Beruf nicht mehr ausüben darf. Aber selbst dadurch lässt er sich nicht von seinem Traum abbringen und geht gerichtlich gegen seine Pensionierung vor. In seinen ehemaligen Ausbilder findet er Unterstützung und erhält die Erlaubnis auch als Behinderter seinen Beruf weiter auszuüben. Somit hat er zwei Mal in seinem Leben Navy-Geschichte geschrieben.



Abbildung 53: Men of Honor (Men of Honor, Fox, 2000)

Zeit	Inhalt der Filmsequenz	Wichtige Aussagen
0:28:26 – 0:29:04	Mitten in der Nacht wird Carl von seinem Ausbilder geweckt und mit kaltem Wasser abgespritzt. Dabei soll er das Boyle'sche Gesetz und seine Auswirkungen auf einen Taucher erläutern.	„Raus aus den Federn Cookie, Zeit fürs Training. Bist du mit dem Prinzip des Boyle'schen Gesetzes vertraut? [...] Das Boyle'sche Gesetz besagt, dass sich das Volumen eines komprimierten idealen Gases bei konstanter Temperatur entgegengesetzt zu seinem Druck verhält. Und warum ist dieses Gesetz beim Tauchen so wichtig? Ich weiß nicht Chief.“
0:38:45 – 0:39:09	Gemeinsam mit der angehenden Ärztin Jo lernt Carl in der Bibliothek. Er rezitiert das Gesetz und benennt die wichtigen Aspekte für den Tauchsport.	„Das Boyle'sche Gesetz beschreibt das Verhalten von Gasen unter variierendem atmosphärischen Druckverhältnissen, d.h. wenn ein Taucher in 100 Fuß Tiefe die Luft anhält und sie weiter anhält während er auf 10 Fuß hochsteigt, dehnen sich die Gase in seiner Lunge um das Vierfache aus. Und warum ist das für einen Taucher so wichtig?“

		Wenn er auf dem Weg nach oben nicht ausatmet, werden seine Lungen platzen.“	
0:41:28 – 0:43:13	Während eines Übungstauchgangs wird der Versorgungsschlauch eines Helmtauchers eingeklemmt. Dieser ist dadurch Bewegungsunfähig und muss gerettet werden.	„Negativ, was das raufkommen betrifft, H3 Overdeck, Isaacs Luftschlauch hat sich verfangen.“ „Mein Luftschlauch ist eingeklemmt!“	

Tabelle 41: Szenenüberblick "Men of Honor"

4.4.2 Fachwissenschaftliche Hintergründe „Men of Honor“

Gerätetauchen bezeichnet das Tauchen mit externer Atemluftversorgung. Dies kann durch ein Drucklufttauchgerät, ein Kreislaufauchgerät oder ein Helmtauchgerät realisiert werden. Bei der Marine wird die altertümlich anmutende Tauchvariante des Helmtauchens auch heute noch verwendet (Struckhof, 2011).

Das wichtigste Ausrüstungsstück beim Helmtauchen ist der Helm, der mit dem Taucheranzug verbunden und über einen Schlauch mit der Oberfläche und der Atemluft verbunden ist. Die verbrauchte Luft kann durch den Helm ins Wasser entlassen werden. Ein Risiko des Helmtauchens ist das Auftreten einer Kohlenstoffdioxidvergiftung (Essoufflement) durch zu geringen Luftaustausch (Kromp, 1999). Zusätzlich ist der Taucher mit Gewichten an Brust und Füßen ausgestattet, um Arbeiten unter Wasser zu ermöglichen und den durch Helm und Anzug entstehenden Auftrieb auszugleichen.

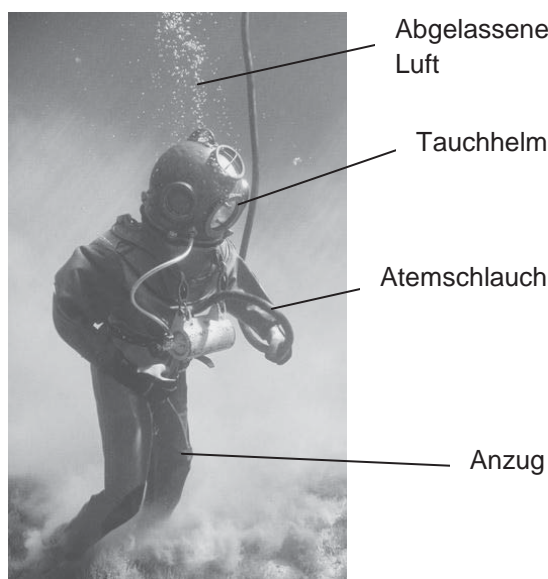


Abbildung 54: Helmtaucher (Kant, 2010)

Durch die Luftversorgung von der Wasseroberfläche ist der Taucher in seinem Radius beschränkt, deshalb werden in der Praxis zusätzlich Tauchgeräte mit Druckluftflaschen verwendet. Dabei wird der Druck der Inspirationsluft (Gasgemisch in der Taucherflasche) immer auf den umgebenden Wasserdruck eingestellt (Silbernagl, 2003). Dadurch wird ein Einatmen auch in größeren Tiefen, über 112 cm, ermöglicht.



Drucklufttauchgerät

Ein modernes Drucklufttauchgerät besteht aus Druckluftflasche, Atemregler und Jacket mit Trage- sowie Sicherheitseinrichtungen (Reserveschaltung, Finimeter) (Kromp, 1999).

„Der Atemregler hat die Aufgabe, den in unserem Tauchgerät vorhandenen Druck so zu reduzieren, dass dem Taucher im Rhythmus der Einatmung ständig Luft unter dem Umgebungsdruck und die dem Bedarf angemessener Menge zufließt.“ (Kromp 1999, S. 224)

Die zugeführte Luftmenge ist demnach nicht kontinuierlich, sondern wird individuell an den Bedarf des Tauchers angepasst. Die in der Praxis verwendeten Druckluftflaschen haben meist die Größe von 20 L. Der höchstzulässige Druck liegt bei 200 bar (Kromp, 1999).

Die kinetische Gastheorie, das Boyle-Mariotte-Gesetz, das 1. Gesetz von Gay-Lussac und das Gesetz von Amonton

Nach der kinetischen Gastheorie bestehen Gase aus Teilchen, die verteilt und die vernachlässigbar klein im Vergleich zum Gesamtvolumen eines Gases sind. Die Anziehungskräfte zwischen den Teilchen sind so gering, dass sie vernachlässigt werden können. Die Teilchen eines Gases befinden sich in einer ständigen, ungerichteten Bewegung, während der sie immer wieder miteinander oder mit der Gefäßwand kollidieren. Dabei geht keine Energie verloren, sie kann lediglich übertragen werden. Diese kinetische Energie eines Gases hängt von der Temperatur ab, je höher die Temperatur eines Gases ist, desto höher ist seine kinetische Energie und desto stärker ist die Teilchenbewegung.

Die Zustandsgleichung eines idealen Gases lautet:

$$p \cdot V = r \cdot n \cdot T$$

Diese Zustandsgleichung wurde aus mehreren Einzelgesetzen abgeleitet. Eines dieser grundlegenden Gesetze wurde 1662 von Robert Boyle und 1676 von Edme Mariotte erforscht und formuliert. Das Boyle-Mariotte-Gesetz besagt, dass bei gleicher Temperatur und gleicher Stoffmenge, das Volumen eines Gases umgekehrt proportional zum Druck ist.

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

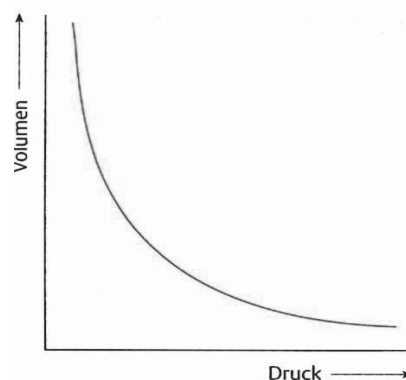


Abbildung 55: Druck-Volumen-Abhängigkeit eines idealen Gases (Mortimer, 2003, S. 147)



Zusätzlich lassen sich zwei Gay-Lussac-Gesetze formulieren, von denen das zweite oft auch als Gesetz des Amontons bezeichnet wird.

$$V_1 T_2 = V_2 T_1$$

Im ersten Gesetz von Gay-Lussac wird der Einfluss der Temperatur auf das Volumen von Gasen ersichtlich. Wird ein Gas erwärmt, so vergrößert sich sein Volumen. Dies kann durch die vermehrte Teilchenbewegung und das damit verbundene Ausdehnen eines Gases durch das Zuführen von Wärmeenergie erklärt werden.

Diese Gesetzmäßigkeit liegt auch dem Joule-Thomson-Effekt zugrunde. Ein komprimiertes Gas dehnt sich beim Entlassen aus und kühlt deshalb deutlich ab.

$$p_1 T_2 = p_2 T_1$$

Das zweite Gesetz von Gay-Lussac beschreibt den Zusammenhang von Druck und Temperatur. Steigt die Temperatur eines Gases in einem Gefäß, so können sich die Gase durch die räumliche Begrenzung nicht ausdehnen und stoßen durch ihre stärkere Teilchenbewegung öfter an die Gefäßwand an.

Barotrauma

„Alle durch Druckänderungen in den luftgefüllten Hohlräumen des Körpers verursachten Schäden werden als Barotraumen bezeichnet.“ (Holzapfel, 1995, S. 54)

Druckdifferenzen ab 0,07 bar, was einer Wassertiefe von 70 cm entspricht, können zu einer Blutanschoppung im betroffenen Gewebebezirk und damit zu einem Ödem, Blutaustritt und starkem Schmerz führen (Stibbe, 1997).

Beim Abtauchen wird auf das Trommelfell ein steigender Druck ausgeübt, der mit der Tauchtiefe zunimmt. Dadurch wölbt sich das Trommelfell nach innen und drückt auf die Gehörknöchelchen, dies führt zu einem heftigen Schmerz. Durch zu starken Druck, kann das Trommelfell auch einreißen und Wasser dringt in das Innenohr vor. Der Taucher verliert dadurch seinen Gleichgewichtssinn (Holzapfel, 1995). Grundsätzlich können Taucher diese Taucherkrankheit durch einen Druckausgleich vorbeugen.

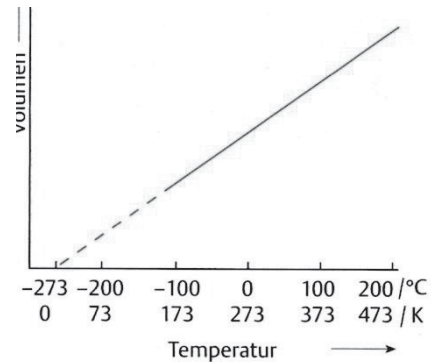


Abbildung 56: Temperatur-Volumen-Abhängigkeit (Mortimer, 2003, S. 147)



Barotraumen können ebenfalls in den Nasennebenhöhlen, den Stirnhöhlen, der Kieferhöhlen und dem Magen-Darm-Trakt auftreten.

Die Lunge ist, als der größte mit Luft gefüllte Raum im Körper, in besonderem Maße von Druckeinwirkungen betroffen. Taucht man zu schnell auf und atmet nicht gleichmäßig dabei aus, so kann es zu einer gefährlichen Lungenüberdehnung kommen. Bei geringen Tiefen kommt es dabei zu Kreislaufstörungen und Schwindelanfällen, bei größeren Tiefen platzen Gefäße und es kommt zum Lungenriss und einem Zusammenfall der Lunge. Taucht man zu tief ab, entsteht durch die anatomischen Gegebenheiten in der Lunge ein Unterdruck und es sammelt sich Flüssigkeit in der Lunge an. Auch beim Schnorcheltauchen mit zu langem Schnorchel oder verunglückten und absinkenden Helmtauchern tritt diese Krankheit auf.

4.4.3 Didaktische Anmerkungen zur Unterrichtseinheit „Men of Honor“

Die Unterrichtseinheit bietet hauptsächlich physikalische Unterrichtsinhalte, mit Schnittmengen aus Chemie und Biologie. Für die Realisierung im Unterricht ist dabei ein Zeitrahmen von **6** Unterrichtsstunden angedacht.

Voraussetzung für die Unterrichtseinheit sind grundlegende Kenntnisse über Gase und das Teilchenmodell bzw. die kinetische Gastheorie sowie das Phänomen Druck.

In der **Physik** lässt sich der Inhalt der Unterrichtseinheit dem Bereich der **Quantenphysik** zuordnen.

Physik als **erfahrungsgeleitete Theoriewissenschaft** sowie Physik als **Naturbeobachtung** sind Leitlinien, die nicht anhand eines Themas erarbeitet werden können, sondern eine Grundhaltung, die dem Unterricht zu Grunde liegen sollte. Dabei wird den Schülerinnen und Schülern stets aufgezeigt, dass Modelle und Gesetze Grenzen ihrer Beschreibung besitzen und nur ein vages Abbild der Realität liefern.

Der Forderung nach **Formalisierung und Mathematisierung** wird durch das Ableiten von Gleichungen aus den Versuchsergebnissen praxisnah entsprochen. Durch diese Gleichungen ist es den Schülerinnen und Schülern möglich, ihre gemessenen Werte einzusetzen und zu überprüfen. Darüber hinaus wird ein motivierendes Umfeld für die rechnerische Anwendung der aufgestellten Gleichungen geschaffen.

Als **spezifisches Methodenrepertoire** ist das Planen, Durchführen und Auswerten von Versuchen zu sehen. Besonderer Wert wird hierbei auf die Auswertung der Versuche gelegt. Beim Auftragen der Messwerte in Diagramme wird der Zusammenhang zwischen den physikalischen Größen, Volumen und Druck, bzw. Volumen und Tem-



peratur, verdeutlicht. Darüber hinaus werden das Verstehen und die Anwendung der physikalischen Fachsprache unterstützt.

Der **Anwendungsbezug** zeigt sich in den Auswirkungen der Gesetzmäßigkeiten auf den menschlichen Körper beim Tauchen. Dies macht verständlich, warum sie ein wichtiger und unbedingt notwendiger Bestandteil jeder Tauchausbildung darstellen. Es wird der Einfluss des mit der Tauchtiefe steigenden Wasserdrucks auf die Lunge des Menschen betrachtet. Das Barotrauma als Taucherkrankheit wird thematisiert und Verhaltensregeln für einen Taucher daraus abgeleitet.

Grundlegende **physikalische Größen** sind die in der Unterrichtseinheit thematisierten Gasgesetze, die das Verhalten eines idealen Gases unter verschiedenen Einflussfaktoren beschreiben. Den Zusammenhang von Volumen und Druck bei konstanter Temperatur beschreibt das Boyle-Mariotte-Gesetz. Das Volumen in der Abhängigkeit von der Temperatur bei gleichbleibendem Druck erarbeiten die Schülerinnen und Schüler durch das 1. Gesetz von Gay-Lussac. Das zweite Gesetz von Gay-Lussac / Amontons beschreibt die Koppelung von Temperatur und Druck.

Technische Entwicklungen, die zur Überwindung physikalischer Gesetzmäßigkeiten entwickelt wurden oder physikalische Grundlagen nutzen, recherchieren die Lernenden in einer Internetrecherche und setzen sich mit Anwendungsgrenzen, Vor- und Nachteilen auseinander.

Leitlinien	Inhalte
Physik als erfahrungsgeladene Theoriewissenschaft	- Modellvorstellungen der Gase / der Gasgesetze entwickeln
Physik als Naturbetrachtung	- Sich der Grenzen von Modellen bewusst sein
Formalisierung und Mathematisierung	- Ableiten von Gleichungen aus Messwerten - Messwerte rechnerisch überprüfen
Spezifisches Methodenrepertoire	- Planen, durchführen und auswerten von Experimenten - Auftragen von Messwerten in Diagramme - Zusammenhang Volumen und Druck, Volumen und Temperatur im Experiment - Fachsprache verstehen und einsetzen
Anwendungsbezug und gesellschaftliche Relevanz	- Auswirkungen der Gesetze auf Taucher - Taucherkrankheiten
Grundlegende physikalische Größen	- Gesetz von Boyle-Mariotte - 1. Gesetz von Gay-Lussac - 2. Gesetz von Gay-Lussac / Amontons
Technische Entwicklungen	- Funktion eines Helmtauchergeräts / von Druckluftflaschen

Struktur der Materie

- Teilchenmodell / kinetische Gastheorie als Grundlage

Tabelle 42: Erfüllte Leitlinien des Physikunterricht durch die Unterrichtseinheit „Men of Honor“

Die **Struktur der Materie** wird durch eine Vertiefung bzw. Wiederholung des Teilchenmodells bzw. der kinetischen Gastheorie zur Erklärung der Druckzunahme bei Gasen genauer betrachtet.

Im Bereich der **Chemie** lassen sich Übereinstimmungen der thematisierten Unterrichtsinhalte mit **Leitlinien des Kompetenzerwerbs** finden, auch wenn sie keinem explizit geforderten fachlichen Thema zugeordnet werden können. Durch die Thematisierung von Gasen und ihrem Verhalten unter unterschiedlichen Bedingungen (Druck, Temperatur und Volumen) werden die Leitlinien **Stoffe und ihre Eigenschaften** und bei der Erklärung auf Teilchenebene **Stoffe und ihre Teilchen** vertieft.

Schnittmengen mit der **Biologie** sind durch die Auswirkungen des Drucks auf den menschlichen Körper, insbesondere auf die Lunge vorhanden.

4.4.4 Unterrichtseinheit „Men of Honor“

Durch den Filmtrailer zu „Men of Honor“ werden die Schülerinnen und Schüler in die Welt des Tauchens, insbesondere in die des Helmtauchens, eingeführt. Die erste Szene (0:28:26 - 0:29:04) zeigt Carl mitten in der Nacht, als er von seinem Ausbilder Billy Sundaе unsanft geweckt wird, und das Gesetz von Boyle-Mariotte und seine Bedeutung für den Tauchsport darlegen soll. Da er dies nicht kann, fasst sein Ausbilder das Gesetz kurz zusammen: *„Das Boyle´sche Gesetz besagt, dass sich das Volumen eines komprimierten idealen Gases bei konstanter Temperatur entgegengesetzt zu seinem Druck verhält.“* (Men of Honor, 2000) An diesem Punkt wird die Filmszene gestoppt und die Schülerinnen und Schüler notieren die Aussage des Ausbilders und versuchen zusätzlich seine Aussage in eigenen Worten zu beschreiben.



Abbildung 57: Nächtliches Lernen (Men of Honor, Fox, 2000)

Gemeinsam wird ein Versuch entwickelt, der die aufgestellten Behauptungen überprüfen soll.



V22: Versuch zum Boyle'schen Gesetz

Geräte und Chemikalien: Kolbenprober mit Hahn 100 mL, Siliconschlauchstück (l = 5 cm), Manometer (z.B. Conrad electronics, 11 Euro, Bnr: 540-148-05), Luft

Durchführung und Beobachtung: Ein Kolbenprober wird mit 100 mL Luft gefüllt und über das Siliconschlauchstück mit dem Manometer verbunden. Anschließend wird der Stempel in 10 mL Schritten in den Kolbenprober gedrückt und der Druck abgelesen und notiert.

Der Hahn des Kolbenprobers bleibt während des Versuchs geöffnet.

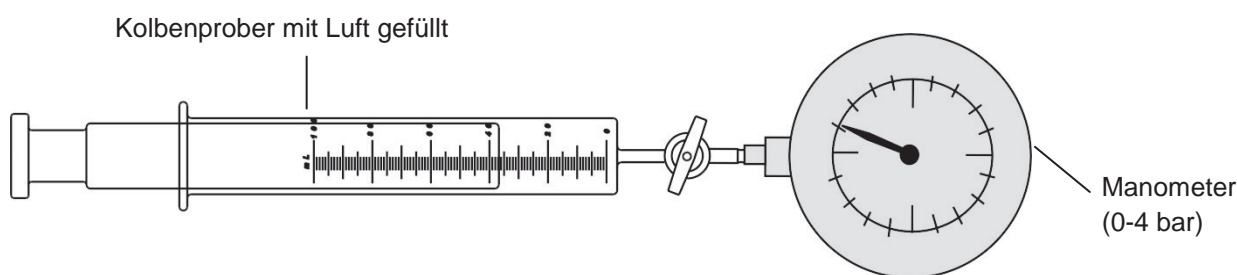


Abbildung 58: Schemazeichnung Versuch zum Boyle'schen Gesetz

Erklärung und Interpretation: Durch die Verkleinerung des Volumens erhöht sich nach dem Boyle'schen Gesetz der Druck.

Volumen in mL	Abgelesener Druck in bar	Rechnerischer Wert in bar
100	0,00	0,00
90	0,00	0,11
80	0,25	0,25
70	0,40	0,42
60	0,60	0,66
50	1,00	1,00

Tabelle 43: Messergebnisse Versuch zum Boyle'schen Gesetz

Die gemessenen Werte können mit Hilfe der Gleichung rechnerisch überprüft und bestätigt werden. Trägt man die ermittelten Werte graphisch auf, ergibt sich folgendes Bild:

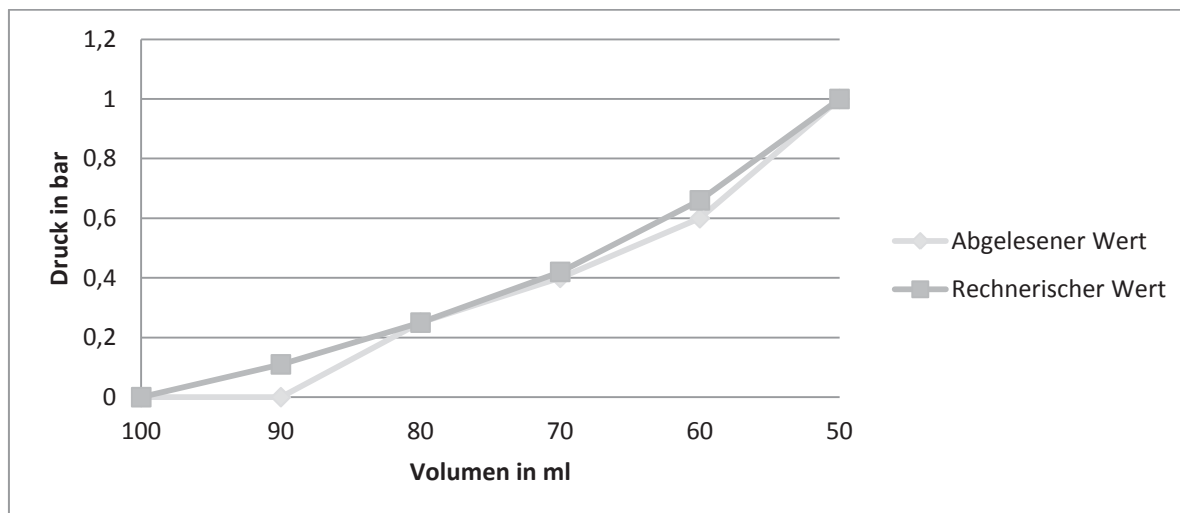


Abbildung 59: Graphische Auswertung Versuch zum Boyle'schen Gesetz

Es lässt sich die folgende Gleichung ableiten: $V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2$

Eine zweite Filmszene (0:38:45 – 0:39:09) zeigt Carl beim Lernen in der Bibliothek. Nach einer arbeitsintensiven Nacht präsentiert er der angehenden Ärztin Jo stolz sein Wissen: „Das Boyle'sche Gesetz beschreibt das Verhalten von Gasen unter variierendem atmosphärischen Druckverhältnissen. Das heißt, wenn ein Taucher in 100 Fuß Tiefe die Luft anhält und sie weiter anhält, während er auf 10 Fuß hochsteigt, dann dehnen sich die Gase in seiner Lunge um das Vierfache aus.“ (Men of Honor, 2000) Diese Szene des Films liefert die Bestätigung des Gelernten und spricht gleichzeitig die Gefahren für Taucher durch diese Gesetzmäßigkeit an.

Diese in dieser Szene aufgestellte Behauptung wird im weiteren Unterrichtsverlauf rechnerisch überprüft.

Aufgabe 1: Überprüfen Sie mit Hilfe der aufgestellten Gleichung diese Aussage rechnerisch.

$$\text{Druckunterschied: } \frac{\text{Tauchtiefe in m}}{10 \text{ m}} \text{ bar} + 1 \text{ bar}$$

Abbildung 60: Ausschnitt Arbeitsblatt AB H1

In 100 Fuß Tiefe herrscht durch die Tauchausrüstung ein Druck von 1 bar in der Lunge. Man geht von einem durchschnittlichen Lungenvolumen von 6 L aus. Taucht der Taucher auf 10 Fuß auf, nimmt der Umgebungsdruck ab, dadurch steigt der Druck in der Lunge an. 1 Fuß entspricht dabei 0,30 m. Durch den Luftschlauch wird in 30 m Tiefe die Luft mit einem Normdruck von 1 bar eingeatmet. Taucht der Taucher nun auf 3 m (30 m – 3 m = 27 m Tiefenunterschied) auf und atmet dabei nicht aus, nimmt der Druck auf 3,7 bar zu. Setzt man diese Werte in die Boyle-Mariotte-

Gleichung ein, so erhält man eine Ausdehnung auf 22,2 L und damit bestätigt sich die Aussage der Filmszene.

Recherchieren Sie im Internet das Thema Helmtauchen und beantworten Sie dabei die folgenden Fragen:

1. In welchen Bereichen wird das Helmtauchen verwendet?
2. Wie funktioniert ein Helmtauchergerät?
3. Beschriften Sie die Abbildung eines Helmtauchers.
4. Was ist der große Nachteil, was sind die Gefahren beim Helmtauchen?
5. Welche Tauchvariante erscheint praktikabler? Beschreiben Sie kurz die dabei verwendete Ausrüstung.
6. Nennen Sie einige Gefahren dieser Tauchsportart.



Abbildung 54: Helmtaucher (Kant, 2010)

Abbildung 61: Ausschnitt Arbeitsblatt AB H2

Gemeinsam werden mit den Schülerinnen und Schülern weitere Probleme durch diese Ausdehnung von Gasen im menschlichen Körper diskutiert und das Barotrauma als Taucherkrankheit thematisiert.

In einer Internetrecherche sollen sich die Schülerinnen und Schüler zu Hause über Helmtauchergeräte bzw. das Tauchen mit Druckgasflaschen informieren.

In der folgenden Unterrichtsstunde sehen die Lernenden eine weitere Szene des Films „Men of Honor“ (0:41:28 – 0:43:13). Gezeigt wird dabei eine Reparatur unter Wasser, bei der sich ein Helmtaucher mit seinem Luftschlauch verhängt, bewegungsunfähig wird und dadurch in große Gefahr gerät. Anhand dieser Szene werden nun die Ergebnisse der Internetrecherche besprochen. Die Schülerinnen und Schüler erkennen dabei die Vorteile des Tauchens mit Druckluftflaschen gegenüber dem Helmtauchen mit stark eingeschränktem Radius.

Für beide Taucharten gelten jedoch die gleichen Gesetzmäßigkeiten unter Wasser. Das Boyle-Mariotte-Gesetz wird auf Beispiel der Druckgasflasche noch einmal angewendet.

Aufgabe 2: Ein Taucher möchte mit einer 10 L Flasche (mit 200 bar abgefüllt) 30 m tief tauchen (4 bar). Sein Atemvolumen beträgt 25 L/min.

- a) Wie viel Liter stehen im während des Tauchganges zur Verfügung?
- b) Wie lange kann er unter Wasser bleiben?

Abbildung 62: Ausschnitt II Arbeitsblatt AB H1

Setzt man die angegebenen Werte in die Boyle-Marriott-Gleichung ein, so erhält man ein Luftvolumen von 2000 L. Da der Taucher sich in einer Tiefe von 30 m bei 4 bar aufhält, muss sein Atemvolumen an diese Bedingungen angeglichen werden. Man erhält einen Verbrauch von 100 L pro Minute, die vorhandenen 2000 L reichen für einen 20-minütigen Tauchgang.

Durch eine weit verbreitete Frage (Abb. 63) aus einem Tauchforum werden die Lernenden auf weitere Einflussfaktoren auf Gase aufmerksam gemacht.

Es wird nun der Frage nachgegangen, was zu der Explosion der Gasflaschen im Auto führen kann. Im Unterrichtsgespräch wird die Frage nach dem Einfluss der Temperatur auf Gasflaschen aufgegriffen, die in einem weiteren Experiment überprüft wird.

Taucher im Netz: Taucherforum – Kann eine Tauchflasche im Auto explodieren?
<p>Hallo,</p> <p>eine kurze Frage, bin neu beim Tauchen und habe jetzt schon öfter gehört, dass ich meine Tauchausrüstung, also vor allem die Flaschen nicht im Auto liegen lassen darf, da die Flaschen explodieren können? Ist das echt so gefährlich? Brauche ich auch einen Gefahrgutaufkleber für mein Auto?</p> <p>Wer kann mir helfen?</p> <p>Tom</p>

Abbildung 63: Ausschnitt Folie F H 1

V23: 1. Gesetz von Gay-Lussac

Geräte und Chemikalien: Kolbenprober 100 mL, Thermometer, heißes Wasser

Durchführung und Beobachtung: Der Kolbenprober wird mit 70 mL Luft gefüllt und verschlossen. Anschließend wird er durch unterschiedliche Wasserbäder erwärmt bzw. gekühlt. Dabei zeigt sich eine Vergrößerung des Volumens bzw. Verkleinerung des Volumens.

Erklärung und Interpretation: Durch das Erwärmen des Kolbenprobers dehnt sich die Luft aus und der Stempel wird herausgedrückt. Beim Abkühlen zieht sich die Luft zusammen und das Volumen verkleinert sich. Aus den Versuchsbeobachtungen lässt sich folgende Gleichung ableiten: $V_1T_2 = V_2T_1$.



Wassertemperatur Grad Celcius / Kelvin	Abgelesenes Volumen in ml	Rechnerischer Wert in ml
0 °C (273 K)	64	65
15 °C (288 K)	67	68
21 °C (294 K)	70	70
47 °C (320 K)	76	76
80 °C (353 K)	85	84

Tabelle 44: Messergebnisse Versuch Gay-Lussac

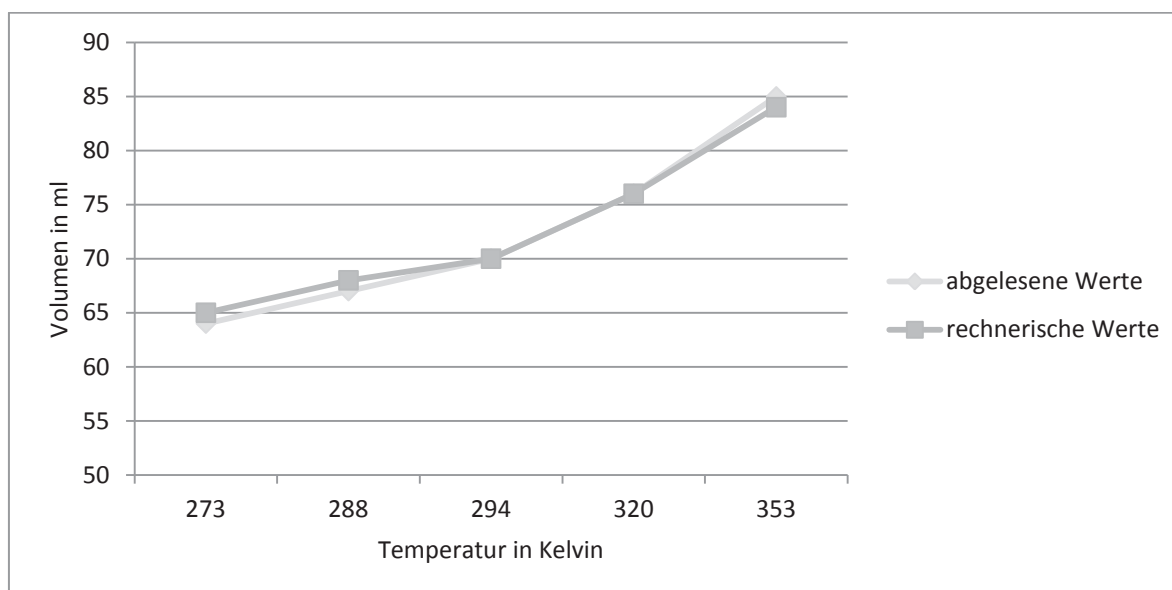


Abbildung 64: Graphische Auswertung Versuch 1. Gesetz von Gay-Lussac

Die Schülerinnen und Schüler erkennen durch dieses Experiment den Einfluss der Temperatur auf Gase. Durch Einsetzen des Temperaturwerts in die Gleichung können sie ihre Messergebnisse überprüfen.

Diese Erkenntnis leitet zu der Fragestellung über, wie sich Gase verhalten, die sich aufgrund eines Gefäßes nicht ausdehnen können, wenn sie erwärmt werden.

V24: 2. Gesetz von Gay-Lussac / Das Gesetz von Amontons

Geräte und Chemikalien: Kolbenprober 100 mL, Manometer, heißes Wasser, kaltes Wasser

Durchführung und Beobachtung: Ein mit 100 mL Luft gefüllter Kolbenprober wird mit einem Manometer verbunden. Anschließend wird die Luft im Kolbenprober auf 80 mL komprimiert und der Stempel in dieser Position gehalten. Der Kolbenprober wird nun unter dem Wasser erwärmt und der Druck abgelesen. Im Anschluss daran wird der Kolbenprober unter Wasser gekühlt und das Manometer abgelesen. Dabei zeigt sich beim Erwärmen eine Zunahme des Drucks, beim Abkühlen nimmt dieser wieder ab.

Erklärung und Interpretation: Durch die Erwärmung nehmen die Teilchen Energie auf und bewegen sich schneller. Durch die räumliche Beschränkung kann sich das Gas nicht ausdehnen und die Teilchen stoßen häufiger an die Gefäßwand. Dadurch erhöht sich der Druck. Beim Abkühlen verlangsamt sich die Teilchenbewegung wieder und der Druck nimmt ab.

Gemeinsam mit den Lernenden wird als Versuchsergebnis das zweite Gesetz von Gay-Lussac formuliert und die dahinter stehende Gleichung $p_1 T_2 = p_2 T_1$ notiert.

Abschließend gilt es die Schülerinnen und Schüler die zu Beginn gestellte Frage aus dem Taucherforum beantworten zu lassen. Mit Hilfe des 2. Gesetzes von Gay-Lussac können die Lernenden einen Druckanstieg von 200 bar auf 213,65 bar bei einer Temperatur von 40 °C (Auto in der Sonne) berechnen. Dieser Druck liegt weit unterhalb des zum Bersten einer Gasflasche erforderlichen Drucks von 450 bar. Um diesen Druck zu erreichen, wäre eine Temperatur von 356 °C erforderlich, welche unter normalen Bedingungen nicht zu erreichen ist.

4.4.5 Tabellarischer Überblick der Unterrichtseinheit „Men of Honor“

1. Doppelstunde

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg	Filmtrailer „Men of Honor“	DVD, DVD-Player, Beamer, Filmtrailer
Problemstellung	Szene „Boyle`sches Gesetz um Mitternacht“ 0:28:26 – 0:28:59	DVD, DVD-Player, Beamer, Filmszene H 1
Hinführung	Die Definition des Boyle`schen Gesetzes wird gemeinsam notiert. Daraus wird die Leitfrage formuliert: - Hängt das Volumen eines Gases mit dem Druck zusammen? Gemeinsam wird eine experimentelle Überprüfung entwickelt.	Arbeitsblatt AB H1
Erarbeitung	Die Schülerinnen und Schüler führen den Versuch in Gruppen durch und notieren die Ergebnisse.	Arbeitsblatt AB H1, Versuchsmaterialien
Ergebnissicherung	Aus den Versuchsergebnissen wird ein Gesetz formuliert und eine Gleichung aufgestellt.	Arbeitsblatt AB H1
Vertiefung	Überprüfung des Gesetzes durch Szene 2: 0:38:50 – 0:39:10.	DVD, DVD-Player, Beamer, Filmszene H 2
Erarbeitung II	Die Auswirkung des Boyle-Mariotte- Gesetz auf die Lunge wird rechnerisch überprüft.	Arbeitsblatt AB H1
Festigung	Gemeinsam werden Auswirkungen des Gesetzes auf den menschlichen Körper diskutiert.	
Hausaufgabe	Als Hausaufgabe führen die Lernenden eine Internetrecherche zu Helmtauchern und Tauchen mit Druckgasflaschen durch.	Arbeitsblatt AB H2

Tabelle 45: 1. Doppelstunde der Unterrichtseinheit „Men of Honor“



2. Doppelstunde

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg	Zur Einstimmung wird den Schülerinnen und Schülern eine Szene gezeigt, bei der ein Luftschauch eines Helmtauchers eingeklemmt und dieser dadurch Bewegungsunfähig wird 0:41:28-0:43:13.	DVD, DVD-Player, Beamer, Filmszene H 3
Überleitung Helmtaucher zu Drucklufttaucher	Die Schülerinnen und Schüler präsentieren die Ergebnisse ihrer Internetrecherche. Dabei wird auf die Funktion von Helmtauchgeräten und Druckgasflaschen eingegangen sowie Probleme und Gefahren für die Taucher bei Verwendung thematisiert.	Arbeitsblatt AB H3
Erarbeitung	Anhand einer typischen Rechenaufgabe der Tauchausbildung wird das Gesetz von Boyle-Mariotte noch einmal angewendet.	Folie F H2
Hinführung	Durch einen Beitrag aus einem Taucherforum wird die Temperatur als weiterer Einflussgröße in Betracht gezogen. Es wird die Leitfrage formuliert: - Darf ich meine Tauchausrüstung in der Sonne liegen lassen?	Folie F H3
Erarbeitung I	Der Einfluss von Temperatur auf Gase und deren Ausdehnung wird experimentell überprüft.	Arbeitsblatt AB H1, Versuchsmaterialien
Ergebnissicherung	Das 1. Gay-Lussac-Gesetz wird formuliert.	Arbeitsblatt AB H1

Tabelle 46: 2. Doppelstunde der Unterrichtseinheit „Men of Honor“

3. Doppelstunde

Phase	Inhalt	Medien
Einstieg	Durch Auflegen der Folie wird die Frage aus dem Internetforum noch einmal angesprochen. Es wird diskutiert, ob sie schon zu beantworten ist oder welche Faktoren noch berücksichtigt werden müssen. Es wird die Leitfrage formuliert: - Was passiert bei einer Temperaturerhöhung, wenn sich das Gas nicht ausdehnen kann?	Folie F H2
Erarbeitung I	Im Experiment wird die Druckzunahme bei Erwärmung unter gleichbleibendem Volumen aufgezeigt.	Arbeitsblatt AB H2, Versuchsmaterialien
Ergebnissicherung	Das 2. Gay-Lussac-Gesetz / Gesetz von Amontons wird formuliert.	Arbeitsblatt AB H2
Vertiefung	In einer Beispielrechnung wird die Druckzunahme in einer Gasflasche berechnet und dadurch eine Antwort auf die Frage im Forum gegeben.	Folie F H2
Abschluss	Gemeinsames Beantworten der Frage aus dem Forum.	Folie F H2

Tabelle 47: 3. Doppelstunde der Unterrichtseinheit „Men of Honor“

4.5 „Das Boot“ und „Apollo 13“ – Eine Unterrichtseinheit zur Kohlenstoffdioxidadsorption an KOH und LiOH und deren Stöchiometrie für die Sekundarstufe II

4.5.1 Filmbeschreibung und Szenenüberblick „Das Boot“ und „Apollo 13“

Das Boot

Der Filmklassiker „Das Boot“ erschien bereits 1981 in den Kinos. Der Film beschreibt die Kriegsmision der U-Bootes 96, welches im französischen Hafen La Rochelle in See sticht. Während der Mission wird das Boot mehrere Male beschossen. In der Meerenge von Gibraltar muss es getroffen abtauchen und gerät außer Kontrolle. Es sinkt bis auf den Meeresboden ab. Panik macht sich im Boot breit, der Kohlenstoffdioxidgehalt steigt an und der Sauerstoff wird zunehmend knapper. Der Kapitän verordnet Kalipatronen, mit denen die für die Reparaturen benötigte Zeit überbrückt werden kann. Nach erfolgreichen Reparaturen gelingt das Auftauchen und sie gelangen unbemerkt in den U-Boothafen von Rochelle. Der Film endet mit einem schweren Luftangriff, der den meisten der Kameraden das Leben kostet und die U 96 endgültig in den Meerestiefen versenkt.



Abbildung 65: Das Boot (Bavaria, 1981)

Zeit	Inhalt der Filmsequenz	Wichtige Aussagen
Trailer	Der Trailer vermittelt die Stimmung und die Situation im U-Boot auf dieser letzten Feindfahrt.	
2:31:39 - 2:34:45	Das Boot sinkt schwer getroffen in der Meerenge vor Gibraltar völlig manövrierunfähig über 280 m tief auf den Meeresgrund.	B 1

2:47:03 - 2:48:35	Im Boot findet eine Lagebesprechung statt, bei der wichtige Reparaturen besprochen werden. Dabei wird klar, dass der Sauerstoffgehalt im U-Boot nicht ausreichen wird. Der Kapitän verordnet Kalipatronen für die Mannschaft.	LI: „Wir haben nur einen Versuch!“ KaLeu: „Wann?“ LI: „Wenn alle Reparaturen gemacht sind. In 6 bis 8 Stunden.“ KaLeu: „CO ₂ -Gehalt?“ LI: „1,8 %.“ KaLeu: „Reicht der Sauerstoff?“ LI: „Nein.“ KaLeu: „Kalipatronen! Für alle, die nicht arbeiten. Die freien Leute in die Kojen.“	B 2
03:02:02 - 03:05:35	Die Reparaturen im Boot waren erfolgreich und das Boot kann wieder aufsteigen, die Mannschaft schnappt überglücklich nach Luft.		B 3

Tabelle 48: Szenenüberblick „Das Boot“

Apollo 13

Der Film Apollo 13 aus dem Jahr 1995 basiert auf den wahren Begebenheiten der gleichnamigen Mondmission. Die Geschichte beginnt 6 Monate vor dem Flug und zeigt einige Vorbereitungen der Crew. Erste Probleme gibt es bereits vor dem Start.

Wie geplant hebt Apollo 13 von Cape Kennedy ab und begibt sich auf die weite Reise zum Mond. Nach zwei Tagen Flug kommt es bei der Aktivierung eines Sauerstofftanks zur Explosion. Die Stromversorgung an Bord bricht aufgrund einer Unterversorgung der Brennstoffzellen zusammen. Es bleibt kein anderer Weg, als die Mondlandefähre für den Aufenthalt im Weltall zu nutzen.



Abbildung 66: Mannschaft der Apollo 13 vor dem Start (Apollo 13, Universal, 1995)

Um wichtige Energie für Lan-

dung und Wiedereintritt zu sparen, müssen viele Systeme abgeschaltet werden. Es wird kalt in der Fähre und die Stimmung unter den Astronauten immer schlechter. Das Problem wird durch den rapide ansteigenden Kohlenstoffdioxidanteil noch verschärft. Um die Astronauten bis zur geplanten Landung am Leben zu erhalten, müssen sie Lithiumhydroxidkanister zur Bindung des Kohlenstoffdioxids nutzen.

„Das Boot“

Durch die unermüdliche Arbeit der Bodenbesatzung kann die Kommandokapsel reaktiviert werden und die Astronauten machen sich auf den Rückweg zur Erde. Nach dem Wiedereintritt gelingt die Wasserung im Pazifischen Ozean und die Besatzung kann gerettet werden.

Zeit	Inhalt der Filmsequenz	Wichtige Aussagen	
Trailer	Der Filmtrailer zeigt die Entwicklung eines „Routineflugs“ zum Mond zur Katastrophenmission.		
0:48:02 – 0:51:40	Die Sauerstofftanks werden aktiviert, dabei kommt es zur Explosion.		A 1
01:16:45 – 01:17:20	Das CO ₂ -Problem wird in der Kommandozentrale diskutiert.	A: „John, hier braut sich was Neues zusammen, das CO ₂ steigt deutlich an. Wir haben ein CO ₂ -Filterproblem in der Mondfähre.“ [...] A: „5 Filter sind in der Mondfähre. Die für 1,5 Tage für 2 Leute ausgerichtet sind. Sie sind schon auf 8 in allen Anzeigen. Alles ab 15 wird kritisch. Das bedeutet herabgesetzte Urteilsfähigkeit, Blackout, beginnende Asphyxie [...] Dieser CO ₂ -Pegel wird langsam toxisch.“	A 2
1:23:46 bis 1:25:35	Das Warnblinklicht für Kohlenstoffdioxid leuchtet auf.	H: „Ja Jim, könnten Sie mal die CO ₂ -Anzeige für uns ablesen?“ J: „Äh, ja Houston, wir haben da auch gerade drauf geschaut. Äh unser CO ₂ -Wert ist stark gestiegen und zwar um 4 Striche in der letzten Stunde“ A: „Das kann nicht stimmen, ich habe das doch dreimal durchgerechnet.“ H: „Jim, das klingt in etwa richtig, wir hatten das erwartet.“ J: „das ist ja beruhigend Houston und was machen wir jetzt?“ H: „Jim wir arbeiten hier unten an einer Prozedur für euch.“ [...] S: „Das tödliche CO ₂ -Gas vergiftet die Astronauten langsam, buchstäblich mit jedem Atemzug.“ [...] H: „Die anderen Materialien die sie brauchen werden, sind ein Lithiumhydroxid-Kanister.“ M: „Zwei“ H: „Zwei Lithiumhydroxid-Kanister, tut mir leid [...]“	A 3
2:00:10 – 2:04:45	Das Ende des Films und die glückliche Landung.		A 4

Tabelle 49: Szenenüberblick "Apollo 13"



4.5.2 Fachwissenschaftliche Hintergründe „Das Boot“ und „Apollo 13“

Der Film „Das Boot“ beschäftigt sich mit den geschlossenen und halboffenen Tauchgeräten und den in ihnen verwendeten Chemikalien, den Hydroxiden.

In U-Booten wird zur Regeneration der Atemluft hauptsächlich Kaliumhydroxid in sogenannten Tauchrettern eingesetzt (vgl. Abb. 67). Abbildung 68 zeigt einen solchen Tauchretter der Firma Dräger aus dem Jahr 1914.



Abbildung 67: Matrose mit Kalipatrone an Bord der U 96 (Das Boot, 1981)

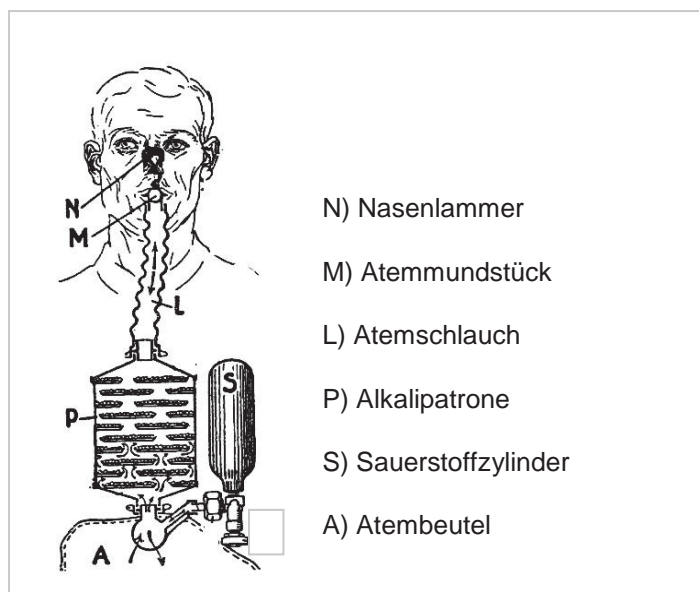
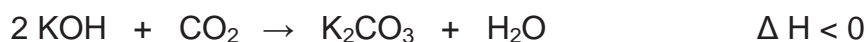


Abbildung 68: Schemazeichnung eines Tauchretters der Firma Dräger 1914 (verändert nach therebreathersite.nl, 2010)

Die Wirkungsweise eines Tauchretters lässt sich am nachfolgenden Schema gut erklären. Durch das Mundstück gelangt die ausgeatmete Luft, die reich an Kohlenstoffdioxid ist und einen verminderten Sauerstoffgehalt aufweist, in den Rebreather. Ein kleiner Teil wird über ein Ventil nach außen abgegeben, um einem Überdruck im System vorzubeugen. Die restliche Luftmenge gelangt in die Kaliumhydroxidkartusche, in der das Kohlenstoffdioxid nach folgender Reaktionsgleichung zu Kaliumcarbonat gebunden wird.



Die gereinigte Luft wird anschließend im Atembeutel mit Sauerstoff aus einer Gasflasche vermischt und dem Nutzer wieder zugeführt.

Neben den halbgeschlossenen Rebreathern sind auf dem Markt ebenfalls geschlossene Kreislauf-Tauchgeräte verbreitet, die kein Gas an die Umgebung abgeben. Dieser Vorteil des ruhigen Betriebs und die wenigen Aufwirbelungen machen den Einsatz im militärischen Bereich verständlich (Jackson, 2005).

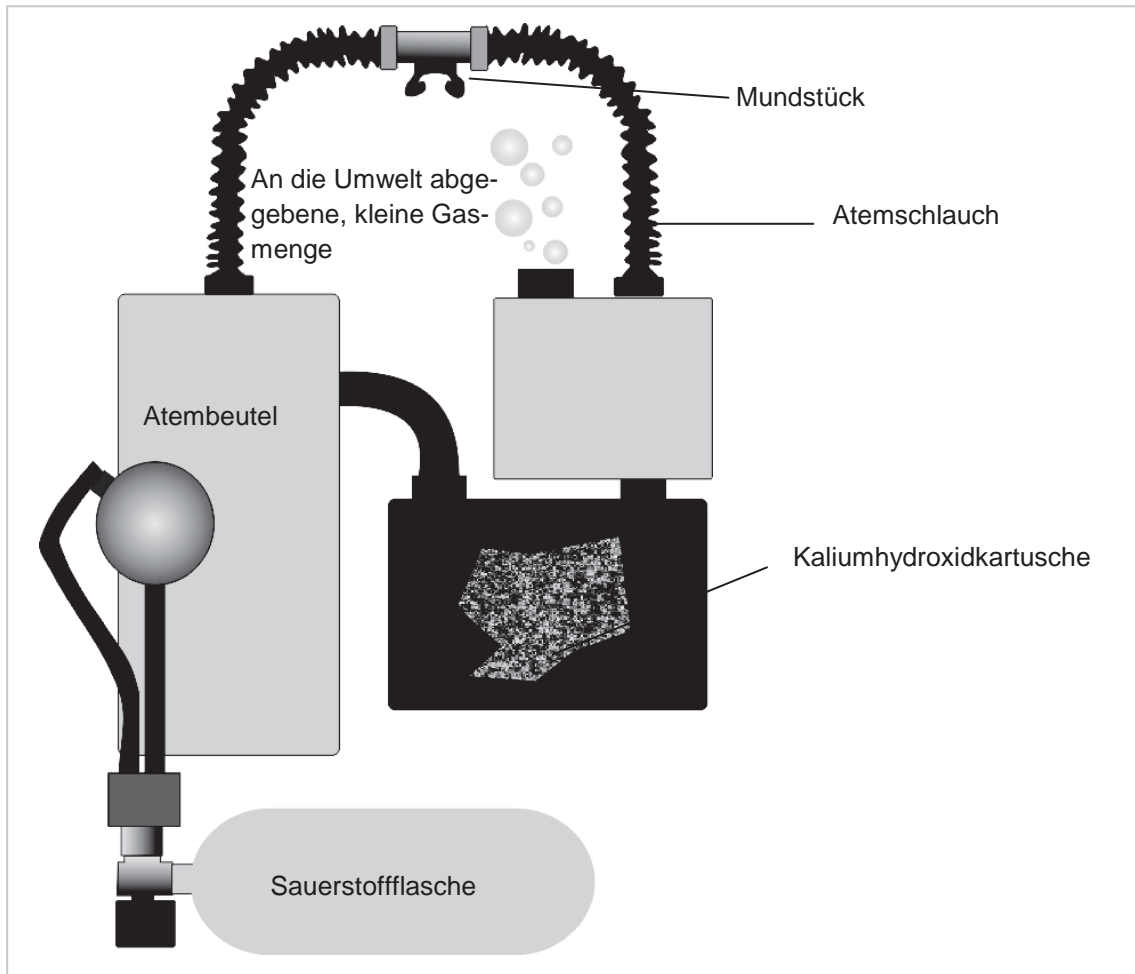


Abbildung 69: Abbildung eines halbgeschlossenen Rebreathers (verändert nach rebreathers.net, 2009)

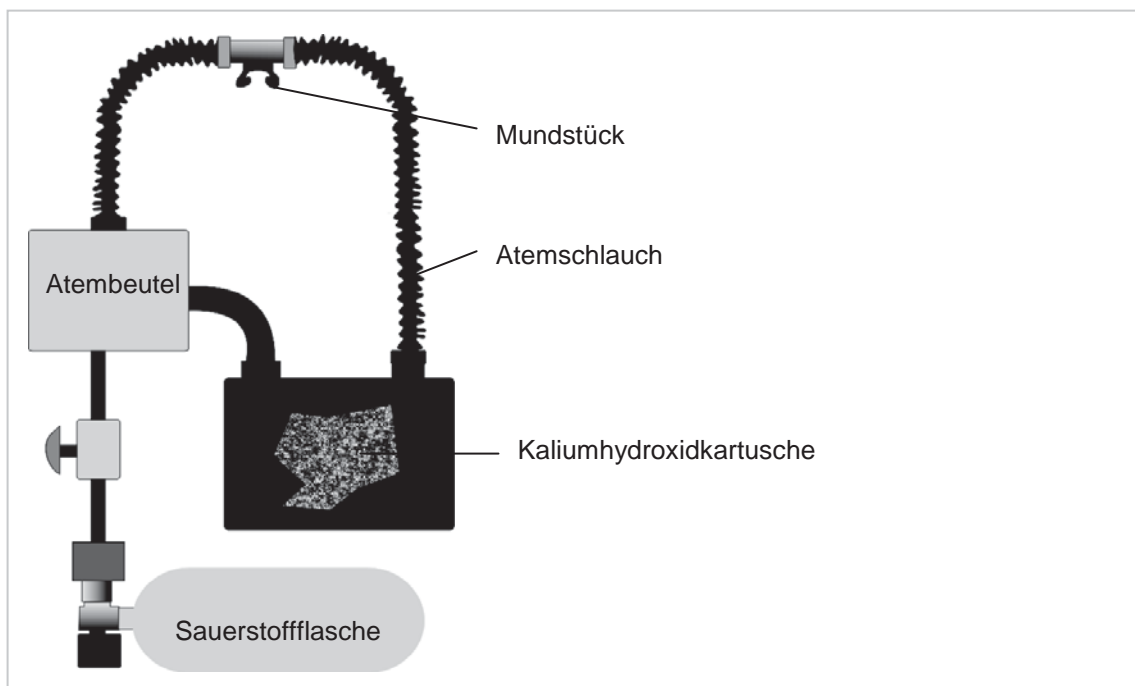


Abbildung 70: Abbildung eines geschlossenen Rebreathers (verändert nach: rebreathers.net, 2009)



Durch verdünnte Salzsäure ist es möglich, das Kohlenstoffdioxid aus den Carbonaten wieder auszutreiben.



Neben der Verwendung im Tauchsport und dem Berufstauchen werden Hydroxide zur Atemluftaufbereitung im Weltall eingesetzt.

1969 gelang mit der Apollo 11 – Mission die erste bemannte Mondlandung. Die 6. Mondlandung der Apollo 17 beendete 1972 das Apollo-Programm der Vereinigten Staaten (Günter, 2001). Den Menschen war es möglich, von der Erde zum Mond zu reisen und dabei einige Tage an Bord einer Rakete oder eines Raumschiffes in einer lebensfeindlichen Umgebung zu überleben. *„Damit die Besatzung eines Raumfahrzeugs die ihr zugedachte Aufgabe korrekt ausführen kann, muss ihr eine physiologisch und psychologisch tolerierbare Umgebung bereitgestellt werden.“* (Messerschmid, 1997, S. 115) An Bord müssen für den Menschen Vorkehrungen getroffen werden, um die Bedingungen der Erde so nachzustellen, dass der Organismus ungestört und voll funktionsfähig bleibt.

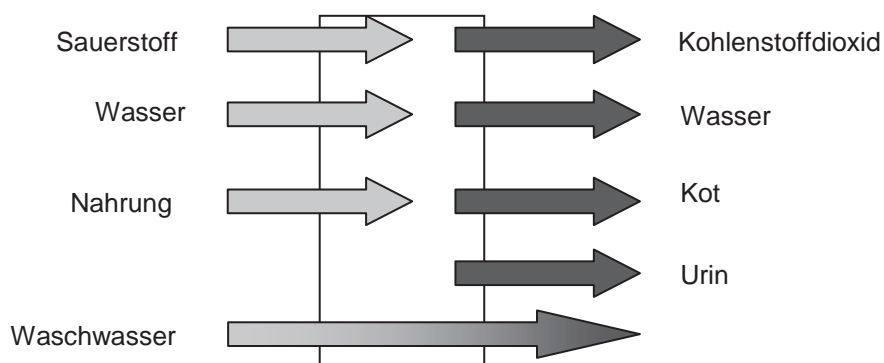


Abbildung 71: Der Mensch als Subsystem (verändert nach Messerschmid, 1997, S. 113)

Dem menschlichen Organismus müssen während seines Aufenthalts im All Sauerstoff, Wasser und Nahrung in ausreichender Form zur Verfügung gestellt werden und die daraus resultierenden Stoffwechselprozesse so entsorgt oder umgesetzt werden, dass sie das Leben an Bord nicht behindern und gefährden.

Dabei hat das Luftmanagement an Bord folgende Aufgaben: Umwälzung der Kabinenluft, Temperatur- und Feuchtigkeitskontrolle, Regelung der Luftzusammensetzung und des Luftdrucks, Luftfilterung (Partikel und Spurengase), Bereitstellung der Atemgase (N_2 , O_2), CO_2 -Filterung, regenerative Funktionen (Messerschmid, 1997).

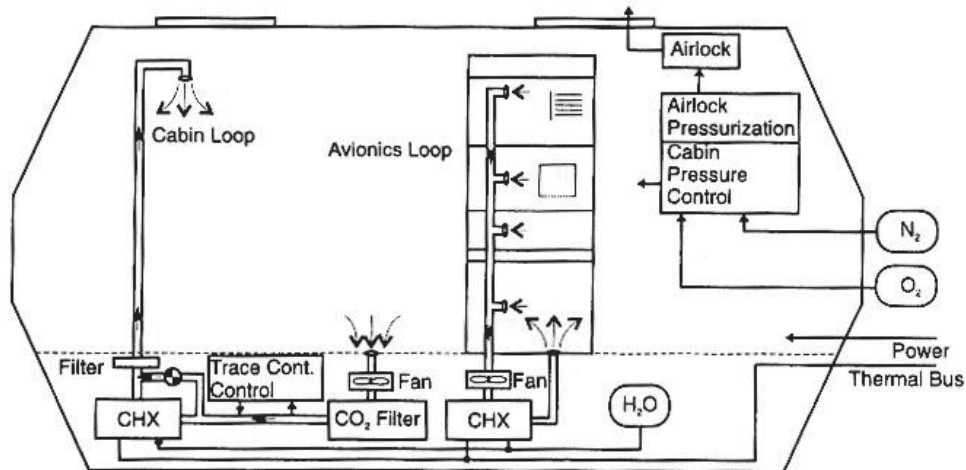


Abbildung 72: Abbildung eines Spacelabs (Messerschmid, 1997, S.116)

Dabei kommt der Kohlenstoffdioxidbindung eine zentrale Rolle zu. „Eine steigende Konzentration führt im menschlichen Organismus schon bei 1 - 4% zu einem erhöhten Stoffwechsel; über diesen Wert hinaus kommt es rasch zu toxischen Symptomen.“ (Messerschmid, 1997, S. 117)

Das Reinigen der Atemluft von Kohlenstoffdioxid geschieht in der Raumfahrt durch Lithiumhydroxid, begründet durch die deutlich geringere Molmasse.

„Technisch wird die LiOH-Filtermethode mit Metallkartuschen ausgeführt, in denen das granuliert LiOH von der Kabinenluft durchströmt wird. Je nach Dimensionierung der Kartuschen ist ein manueller Wechsel ein- bis zweimal täglich erforderlich. Das LiOH-Verfahren zeichnet sich durch geringe technische Komplexität und Fehleranfälligkeit aus.“ (Messerschmid, 1997, S.121)

„LiOH ist anderen Alkalimetallsalzen schon des Gewichtes wegen überlegen. So absorbieren 1,1 kg LiOH 1,0 kg CO₂, die unter normalen Bedingungen von einer Person pro Tag abgegeben werden. In U-Booten rechnet man mit bei ca. 75% Effizienz mit 1,5 kg pro Mann und Tag.“ (Deberitz, 2003, S. 261)

Das Lithiumhydroxid reagiert exotherm mit dem Kohlenstoffdioxid der Kabinenluft zu Lithiumcarbonat und Wasser nach der folgenden Reaktionsgleichung.





4.5.3 Didaktische Anmerkungen zur Unterrichtseinheit „Das Boot“ und „Apollo 13“

Die Unterrichtseinheit rund um die beiden Filme „Das Boot“ und „Apollo 13“ erstreckt sich über **4** Unterrichtsstunden. Thematisch lässt sich die Einheit in den Bereich „**chemisches Gleichgewicht**“ (2-stündige Kursstufe) bzw. „**Säure-Base-Reaktionen**“ (4-stündige Kursstufe) einordnen.

Betrachtet man die im Bildungsplan gelisteten Leitlinien für den Chemieunterricht der Sekundarstufe II, so findet man deutliche Übereinstimmungen. Das Thema **Stoffe und ihre Eigenschaften** wird anhand der Absorption von Kohlenstoffdioxid durch Hydroxide genauer beleuchtet. Die Schülerinnen und Schüler betrachten dabei die zugrunde liegende **chemische Reaktion** und identifizieren diese als Säure-Base-Reaktion. Sie stellen die Reaktionsgleichung auf und lernen dabei die Carbonate als Reaktionsprodukt kennen. Einen typischen Nachweis von Carbonaten durch die Reaktion mit Säuren, bei denen das gebundene Kohlenstoffdioxid wieder ausgetrieben wird, ist ebenfalls Bestandteil der Unterrichtseinheit.

Einblicke in die **Ordnungsprinzipien** der Chemie erlangen die Lernenden durch das selbstständige Planen, Durchführen und Auswerten von chemischen Experimenten. Die Schülerinnen und Schüler üben dabei insbesondere Hypothesen aufzustellen und diese zu überprüfen.

Mit Hilfe eines motivierenden Hintergrunds ist es möglich, stöchiometrische Berechnungen (**Arbeitsweisen**) für die Lernenden interessanter und spannender zu gestalten. Dabei wenden sie die molare Masse, Stoffmenge und das Molvolumen an, um die aufgestellten Aufgaben zu lösen und festigen diese Begrifflichkeiten. Durch zusätzliche Informationen oder selbstständige Recherchephasen lässt sich das Niveau der Aufgaben leicht auf die heterogenen Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler anpassen.

Chemie ist keine vom Alltag isolierte Naturwissenschaft, sondern tangiert viele unserer Lebensbereiche. Chemische Reaktionen macht man sich in vielerlei Situationen zu Nutze, beispielsweise bei der Regeneration von Atemluft in U-Booten, in der Raumfahrt, aber auch im Tauchsport / Berufstauchen.

Diese Verknüpfung von Chemie mit **Umwelt und Gesellschaft** kann durch die Unterrichtseinheit den Schülerinnen und Schülern durch die Entwicklung und stetige Verbesserung sowie den Einsatz von Tauchrettern aufgezeigt werden.



Leitlinie	Unterrichtsbestandteil
Stoffe und ihre Eigenschaften	- Absorption von Kohlenstoffdioxid durch Hydroxide
Chemische Reaktionen	- Reaktion von Hydroxiden mit Kohlenstoffdioxid - Austreiben von Kohlenstoffdioxid mit Salzsäure / Nachweis von Carbonaten - Aufstellung von Reaktionsgleichungen
Ordnungsprinzipien	- Wiederholung und Anwendung von Molarer Masse, Stoffmenge und Molvolumen
Arbeitsweisen	- Durchführen, planen und auswerten von Experimenten - Stöchiometrische Berechnungen - Selbstständiges Erarbeiten durch Internetrecherche
Umwelt und Gesellschaft	- Nutzung der chemischen Eigenschaften von Hydroxiden in Tauchgeräten

Tabelle 50: Überblick über die bei der Unterrichtseinheit thematisierten Leitlinien der Chemie

Biologische Aspekte der vorgestellten Unterrichtseinheit sind durch den Themenbereich der Atmung gegeben. Durch mehrere stöchiometrische Berechnungen wird auf die Atmung, die Atemfrequenz, das Atemvolumen und die im Körper bei der Atmung ablaufenden Vorgänge, insbesondere auf die Notwendigkeit zur Energiebereitstellung, eingegangen. Es bieten sich während der Unterrichtseinheit vielfältige Möglichkeiten, diese Themen vertiefender anzusprechen als vorgeschlagen.

Diese Themen lassen sich dem Themenkomplex **Energieumwandlung** zuordnen.

Leitlinie	Unterrichtsbestandteil
Energieumwandlung	Atmung / Aufnahme von Sauerstoff, Abgabe von Kohlenstoffdioxid

Tabelle 51: Überblick über die bei der Unterrichtseinheit thematisierten Leitlinien der Biologie

4.5.4 Unterrichtskonzeption „Das Boot“ und „Apollo 13“

Um die Schülerinnen und Schüler für den zu motivieren, eignet sich der Filmtrailer zum Kinohit „Das Boot“ aus dem Jahre 1981. Die erste Filmszene (2:31:39 – 2:34:45) zeigt das Absinken des Bootes auf den Meeresgrund. Durch die im Anschluss gezeigte zweite Filmszene wird das Kernproblem der Besatzung verdeutlicht (2:31:39 – 2:34:45). Um die Mannschaft über die erforderliche Zeit bis zum Auftauchen am Leben zu erhalten, müssen Kalipatronen eingesetzt werden.

LI: „Wir haben nur einen Versuch!“
 KaLeu: „Wann?“
 LI: „Wenn alle Reparaturen gemacht sind. In 6 bis 8 Stunden.“
 KaLeu: CO₂-Gehalt?
 LI: „1,8%“
 KaLeu: „Reicht der Sauerstoff?“
 LI: „Nein.“
 KaLeu: „Kalipatronen! Für alle, die nicht arbeiten. Die freien Leute in die Kojen.“

Abbildung 73: Ausschnitt der Lagebesprechung (Das Boot, Bavaria,1981)

Gemeinsam mit den Lernenden wird die Problematik an Bord und die daraus für den Unterricht resultierenden Leitfragen erarbeitet und notiert. Im Anschluss daran erhalten die Schülerinnen und Schüler den Auftrag zur Internetrecherche, in der sie zum einen die Wirkungsweise und die Zusammensetzung von Kalipatronen recherchieren und zum anderen ein Experiment entwickeln sollen, das diese Wirkungsweise demonstriert. Die Internetrecherche kann als Hausaufgabe durchgeführt werden.

In den darauf folgenden Unterrichtsstunden (Kunze, Friedrich, Rubner & Oetken, 2010) steht diese experimentelle Erarbeitung der Wirkungsweise von Kaliumhydroxid im Mittelpunkt. Nach einer Einstiegsmotivation durch die Filmszenen der letzten Stunden werden die Ergebnisse der Internetrecherche verglichen und Ideen gesammelt, wie die Wirkungsweise der genannten Substanzen im Experiment überprüft und veranschaulicht werden kann. Der Aufbau der in der U 96 eingesetzten Tauchretter wird anhand einer Folie besprochen. In Schülergruppen führen die Lernenden anschließend das Experiment durch.

V25: Die Reaktion von Kaliumhydroxid und Kohlenstoffdioxid

Geräte und Chemikalien: Stativmaterial, 2 Kolbenprober 100 mL, 2 Schlauchstücke je ca. 2 cm, Quarzrohr (l = 8-10 cm, d = 1 cm), Glastrichter mit Schlauchstück, Spatel, Uhrglas, Waage, Digitalthermometer mit Temperaturfühler (Innen/Außen-thermometer mit Temperaturfühler), Glaswolle (GHS 08, Gefahr), Kohlenstoffdioxid (GHS 04, Achtung), Kaliumhydroxid (GHS 05, ätzend; GHS 07, Gefahr)

Durchführung und Beobachtung: In ein Quarzglasrohr wird 1 g Kaliumhyperoxid ein-

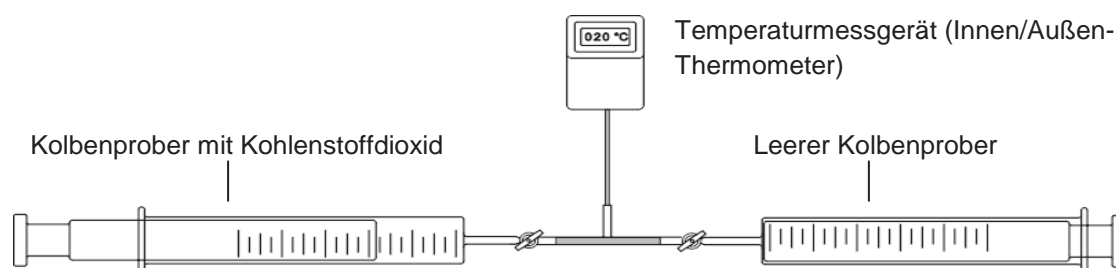


Abbildung 74: Schemazeichnung Kaliumhydroxid und Kohlenstoffdioxid



gewogen, mit Glaswolle verschlossen und anschließend in den Versuchsaufbau integriert. Im Quarzglasröhrchen zeigt sich die Entstehung von Wasser, der zweite Kolbenprober bleibt leer und ein Temperaturanstieg auf bis zu 120°C ist zu beobachten. In einen der beiden Kolbenprober wird Kohlenstoffdioxid gefüllt und langsam über das Kaliumhydroxidpulver gefüllt.

Erklärung und Interpretation: Kaliumhydroxid und Kohlenstoffdioxid reagieren in einer exothermen Reaktion zu Kaliumcarbonat und Wasser.



Im Anschluss an das Experiment stellt sich nun für die Schülerinnen und Schüler das Problem, ob die Mannschaft mit Hilfe der eingesetzten Tauchretter die für die Reparaturen benötigte Zeit überbrücken kann. Diese Fragestellung bietet einen motivierenden Kontext für stöchiometrische Berechnungen. Die im Folgenden dargestellten Aufgaben sind als Rechenanlässe zu verstehen, die auf das Leistungsniveau der Klasse, durch Hinzufügen oder Weglassen von Informationen oder Zwischenschritten, individuell angepasst werden können.

1. Das U-Boot U 96 wurde bei einem alliierten Bombenangriff in der Straße von Gibraltar schwer beschädigt und sank manövrierunfähig 280 m tief auf den Meeresgrund. Ohne Sauerstoffzufuhr würden die 50 Seeleute im Boot nicht lange überleben, da bei einem Kohlenstoffdioxidanteil von 5% in der Umgebungsluft bereits schwere Atemnot und Ohnmacht, bei 8 % Kohlenstoffdioxidanteil der Tod eintritt.

Ein erwachsener Mensch atmet pro Minute 20-mal (bei leichter Anstrengung), pro Atemzug atmet er ca. 500 mL Luft ein und setzt beim Ausatmen ca. 20 mL Kohlenstoffdioxid frei.

a) Berechnen Sie aus diesen Angaben, wie viele Liter Kohlenstoffdioxid die Besatzung in 15 Stunden und in 25 Stunden produziert

b) Das Innenvolumen des U-Bootes betrug 350.000 Liter. Berechnen Sie den prozentualen Anteil des in 15 bzw. 25 Stunden freigesetzten Volumens an Kohlenstoffdioxid bezogen auf das Innenvolumen. Welche Schlussfolgerungen ziehen Sie aus Ihren Berechnungen für die Überlebenschancen der Seeleute im gesunkenen U-Boot?

2. Um die Überlebenschancen zu erhöhen befahl der Kapitän die Ausgabe von Kalipatronen-Tauchrettern an die gesamte Mannschaft. Jeder Tauchretter enthält 1 kg Kaliumhydroxid.

a) Berechnen Sie die Stoffmenge an Kohlenstoffdioxid die durch den Tauchretter gebunden werden können.

b) Berechnen Sie um wie viele Stunden das Überleben der Mannschaft dadurch gesichert wird.

Abbildung 75: Rechenanlässe zu "Das Boot"

Dabei berechnen die Lernenden, dass ein Seemann bei 20 Atemzügen pro Minute, in dieser 400 mL Kohlenstoffdioxid freisetzt. In einer Stunde entspricht dies 24 L. Bei einer Besatzungsgröße von 50 Seeleuten ergibt sich ein Volumen von 1200 L/h.



Nach 15 Stunden Reparaturzeit haben sich 18.000 L und nach 25 Stunden 30.000 L im U-Boot angesammelt. Legt man den weiteren Berechnungen das Innenvolumen des Bootes mit 350.000 L zugrunde, ergibt sich nach 15 Stunden ein Anteil von 5,1 % Kohlenstoffdioxid in der Atemluft. Die Mannschaft hätte folglich zu diesem Zeitpunkt unter schwerer Atemnot zu leiden. Nach 25 Stunden steigt der Kohlenstoffdioxidgehalt auf 8,5 % und die Mannschaft wäre nicht mehr am Leben.

Die vom Kapitän befohlenen Tauchretter mit einer Gesamtmenge von 50.000 g Kaliumhydroxid können 10.707 L (446,4 mol) Kohlenstoffdioxid binden. Mit dieser Menge an Kaliumhydroxid könnte die Besatzung 8,9 Stunden ohne zusätzliche Frischluftzufuhr überbrücken.

Dieses positive Ergebnis der Berechnungen wird durch das Zeigen des „Happy Ends“ dieses Vorfalles bestätigt (03:02:02 – 03:05:35). Die notwendigen Reparaturen konnten durchgeführt werden und das Auftauchen des U-Bootes war wieder möglich.

Durch den Film „Apollo 13“ ergibt sich im Anschluss die Möglichkeit, die Kohlenstoffdioxidabsorption an einem weiteren motivierenden Beispiel zu wiederholen und zu festigen.

Im Kinotrailer sowie den ersten Szenen (1:16:45 – 1:7:20 und 1:23:46 – 1:25:35) aus

„Apollo 13“ erfahren die Lernenden etwas über die beinahe Katastrophe. Als Rettung für die Astronauten werden Lithiumhydroxidkanister verwendet. Auch hier schließt sich eine Reflexion der gezeigten Inhalte sowie das Formulieren



der Leitfragen an, wobei hier besonders der Frage nachge-

Abbildung 76: CO₂-Problematik an Bord der Apollo 13 (Apollo 13, Universal, 1995)

gangen werden kann, warum in der Raumfahrt Lithiumhydroxid und nicht Kaliumhydroxid verwendet wird. In einem Experiment wird zuerst überprüft, ob Lithiumhydroxid das Kohlenstoffdioxid binden kann.

V26: Die Reaktion von Lithiumhydroxid und Kohlenstoffdioxid

Geräte und Chemikalien: Stativmaterial, 2 Kolbenprober 100 mL, 2 Schlauchstücke je ca. 2 cm, Quarzrohr (8-10 cm, d = 1 cm), kl. Glastrichter mit Schlauchstück, Spatel, Uhrglas, Waage, Digitalthermometer mit Temperaturfühler (Innen/Außen-

„Das Boot“

Thermometer), Glaswolle (GHS 08, Gefahr), Kohlenstoffdioxid (GHS 04, Achtung), Lithiumhydroxid (GHS 05, ätzend; GHS 07, Achtung)

Durchführung und Beobachtung: In ein Quarzglasrohr werden 0,5 g Lithiumhydroxid eingewogen und verschlossen. Der Versuch wird der Abbildung entsprechend aufgebaut. Einer der beiden Kolbenprober wird mit 50 mL Kohlenstoffdioxid gefüllt und das Gas vorsichtig über das Lithiumhydroxid geleitet. Im Quarzglasrohr ist Feuchtigkeit zu erkennen, der zweite Kolbenprober bleibt leer und der Temperaturfühler zeigt einen deutlichen Anstieg der Temperatur.

Erklärung und Interpretation: Lithiumhydroxid bindet Kohlenstoffdioxid unter der Bildung von Lithiumcarbonat und Wasser. Diese Reaktion ist ebenfalls exotherm.



Durch das Besprechen des Experiments werden die Lernenden auf die unterschiedlichen Massen der eingesetzten Chemikalien aufmerksam. Gemeinsam werden die Reaktionsgleichungen der chemischen Vorgänge notiert und die Stöchiometrie dieses Vorgangs betrachtet. Ein Blick auf die Molmassen der an den Verbindungen beteiligten Atome $M(\text{KOH}) = 56 \text{ g/mol}$ und $M(\text{LiOH}) = 24 \text{ g/mol}$ macht deutlich, dass bezogen auf die zugrunde liegenden Reaktionsgleichungen zur Absorption des jeweils gleichen CO_2 -Anteils bei Verwendung von LiOH weniger als die Hälfte der eingesetzten Masse im Vergleich zu KOH notwendig ist.

3. Beim Unglücksflug der Apollo 13 - Mission wurde als Kohlenstoffdioxidfilter auf Lithiumhydroxid zurückgegriffen.

a) Berechnen Sie das Volumen an Kohlenstoffdioxid das durch 1 g Kaliumhydroxid bzw. 1 g Lithiumhydroxid gebunden werden kann.

b) Die Apollo 13-Mission dauerte 5 Tage, 22h und 54 min. Berechnen Sie welche Masse an Lithiumhydroxid pro Person an Bord sein muss, um das Überleben der Besatzung zu sichern.

Abbildung 77: Rechenanlass zur Apollo 13-Mission

Auf 1 g der jeweiligen Substanz bezogen ergibt sich, dass 1 g Kaliumhydroxid 202 mL Kohlenstoffdioxid, die gleiche Masse an Lithiumhydroxid hingegen 470 mL Kohlenstoffdioxid binden kann. Ein Kilogramm Masse auf den Mond zu fliegen, kostet etwa 18.000 Euro (Stinnesbeck, 1997). Dies macht verständlich, warum man in der Raumfahrt auf Lithiumhydroxid zurückgreift.



Abbildung 78: Wiedereintritt in die Erdatmosphäre (Apollo 13, Universal, 1995)



Auf der 8574 min dauernden Apollo 13 – Mission werden pro Person (legt man 20 Atemzüge pro Minute zugrunde) 3429,6 L Kohlenstoffdioxid freigesetzt. Um dieses Volumen an Kohlenstoffdioxid vollständig zu binden, sind 3,67 kg Lithiumhydroxid notwendig.

Abgeschlossen wird die Unterrichtsstunde und damit die Unterrichtseinheit durch die geglückte Landung der Apollo 13-Besatzung im Pazifik (2:00:10- 2:04:45).

4.5.5 Tabellarischer Überblick der Unterrichtseinheit „Das Boot“ und „Apollo 13“

1. Stunde

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg / Motivation	Den Schülerinnen und Schülern wird der Filmtrailer zu „Das Boot“ gezeigt und der Film anschließend kurz zusammengefasst.	DVD, DVD-Player, Beamer, Filmtrailer
Erarbeitung	Zwei Szenen des Films werden gezeigt (2:31:39 – 2:34:45) und (2:47:03 – 2:48:35).	DVD, DVD-Player, Beamer, Filmausschnitt B 1 + B 2
Erarbeitung II	Die gezeigten Filmszenen werden besprochen und die Leitfragen auf einem Poster notiert: - Was sind Tauchretter? - Wie funktionieren Tauchretter? - Kann die Mannschaft durch den Einsatz gerettet werden?	Poster
Abschluss oder Hausaufgabe	Die Schülerinnen und Schüler recherchieren im Internet: - Wie Kalipatronen aufgebaut sind. - Wie deren Wirkungsweise ist. - Wie man die Wirkungsweise in einem Experiment verdeutlichen kann.	Arbeitsblatt AB B1

Tabelle 52: 1. Stunde der Unterrichtseinheit "Das Boot" und "Apollo 13"

2. und 3. Stunde

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg / Motivation	Die 2. Filmszene aus das Boot (2:47:03 – 2:48:35) wird als Einstieg präsentiert.	DVD, DVD-Player, Beamer, Filmszene B 2
Erarbeitung	Anhand einer Folie wird die Wirkungsweise eines Tauchretters besprochen. Dabei wird auf das Wissen der Schüler durch die Internetrecherche zurückgegriffen.	Folie F B1, OHP
Hinführung	Gemeinsam werden Ideen gesammelt und besprochen, wie die Wirkungsweise von Kaliumhydroxid im Experiment untersucht werden kann.	

4. ChemCi – Unterrichtskonzeptionen

„Das Boot“

Erarbeitung II	Die Lernenden führen in Gruppen die Kohlenstoffdioxidabsorption von Kaliumhydroxid durch.	Versuchsmaterialien, Arbeitsblatt AB B2
Festigung	Stöchiometrische Berechnungen im Kontext werden durchgeführt.	Rechenanlässe Stöchiometrie I B1
Abschluss	Das Happy-End der beiden Filme wird gemeinsam angesehen (03:02:02 - 03:05:35 und 2:00:10 – 2:04:45).	DVD, DVD-Player, Beamer, Filmszene B 3

Tabelle 53: 2. und 3. Stunde der Unterrichtseinheit „Das Boot“ und „Apollo 13“

4. Stunde

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg	Der Filmtrailer zu „Apollo 13“ wird gezeigt und die Handlung des Films zusammengefasst.	DVD, DVD-Player, Beamer, Filmtrailer
Hinführung	Die Schülerinnen und Schüler sehen die Filmszene (1:16:45 – 1:17:20) und (1:23:46 – 1:25:35).	DVD, DVD-Player, Beamer, Filmszene A 1 und A 2
Erarbeitung	Gemeinsam wird die Leitfrage erarbeitet und notiert: - Warum wird in der Raumfahrt Lithiumhydroxid verwendet?	Poster
Erarbeitung II	Ein Experiment zur Wirkungsweise von Lithiumhydroxid wird durchgeführt.	Versuchsmaterialien, Arbeitsblatt AB B3
Vertiefung	Durch stöchiometrische Berechnungen wird versucht die Leitfrage zu klären.	Rechenanlässe Stöchiometrie I B1
Abschluss	Das Happy End von „Apollo 13“ wird vorgeführt.	DVD, DVD-Player, Beamer, Filmszene A3

Tabelle 54: 4. Stunde der Unterrichtseinheit "Das Boot" und "Apollo 13"

4.6 „James Bond: Feuerball“ – Eine Unterrichtseinheit über die überraschenden Eigenschaften von Kaliumhyperoxid für die Sekundarstufe II

4.6.1 Filmbeschreibung und Szenenüberblick „James Bond: Feuerball“

Der Film kam bereits 1965 in die deutschen Kinos und ist einer der erfolgreichsten aber auch umstrittensten James Bond Filme. Zusätzlich wurde er mit einem Oskar für die Spezialeffekte ausgezeichnet.

Die Organisation PHANTOM (SPECTRE engl.) entführt ein Nato-Flugzeug mit zwei Atombomben an Bord. Diese Atombomben setzten sie als Druckmittel für ein Lösegeld von 100 Millionen Pfund ein. Die britische Regierung setzt James Bond auf den Fall an, um eine Zahlung des hohen Lösegelds möglichst zu vermeiden.



Abbildung 79: Dr. No mit Tauchern (James Bond: Feuerball, Fox, 1965)

James Bond trifft auf seiner Suche nach den Verantwortlichen auf den Agenten Emilio Largo, der hinter der Organisation PHANTOM steckt. Dieser versucht mit allen Mitteln James Bond zu vernichten und seinen Plan weiter zu verfolgen. Der Film findet seinen Höhepunkt in einer atemberaubenden Unterwasserschlacht, welche im Triumph für James Bond endet, Largo hingegen kommt auf seiner Jacht um.

Zeit	Inhalt der Filmsequenz	
1:53:16 – 2:00:18	James Bond streift unter Wasser seine Tauchausrüstung ab, um seine Verfolger von seinem Tod zu überzeugen. Durch den Einsatz eines kleinen Tauchgeräts kann er sich unbemerkt an die Verfolger heranschleichen und sie ausschalten.	F1
2:02:35 – 2:04:15	Happy End des Films.	F2

Tabelle 55: Szenenüberblick "Feuerball"

4.6.2 Fachwissenschaftliche Hintergründe der Unterrichtseinheit „Feuerball“

Im vorliegenden „James Bond: Feuerball“ wird eine relativ unbekannt Variante von Tauchgeräten verwendet. Solche Tauch- und Atemgeräte auf Kaliumhyperoxidbasis werden jedoch in vielfältigen Bereichen eingesetzt, so sind sie z.B. bei Feuer- und Grubenwehren als Rettungsmasken verbreitet (Kunze & Oetken, 2010).

Ein großer Teil des zurzeit produzierten Kaliums wird zur technischen Gewinnung von Kaliumhyperoxid eingesetzt, da dieses über eine erstaunliche Eigenschaft verfügt. Es ist in der Lage Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf chemisch zu binden, dies macht die Verwendung in Atemmasken verständlich (Atkins, 1996).

Kaliumhyperoxid entsteht bei der Verbrennung von Kalium in einer Sauerstoffatmosphäre



Das Reaktionsprodukt besteht aus dem einfach negativ geladenen Hyperoxid-Anion (O_2^-) und kristallisiert in der CaC_2 -Struktur.

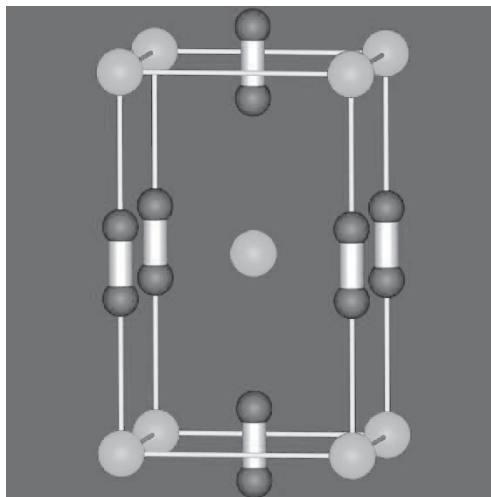


Abb. 80: Kristallstruktur von Kaliumhyperoxid (Röhr, 2008)

In wässrigen Lösungen zersetzt sich Kaliumhyperoxid in einer heftigen und exothermen Reaktion unter Freisetzung von Sauerstoff:





Die folgende Abbildung verdeutlicht den weiteren Einsatz von Kaliumhyperoxid am Beispiel eines Atemschutzgerätes, in dem diese Chemikalie in Form eines Granulates in geeigneten Chemikalienkanistern zum Einsatz kommt.

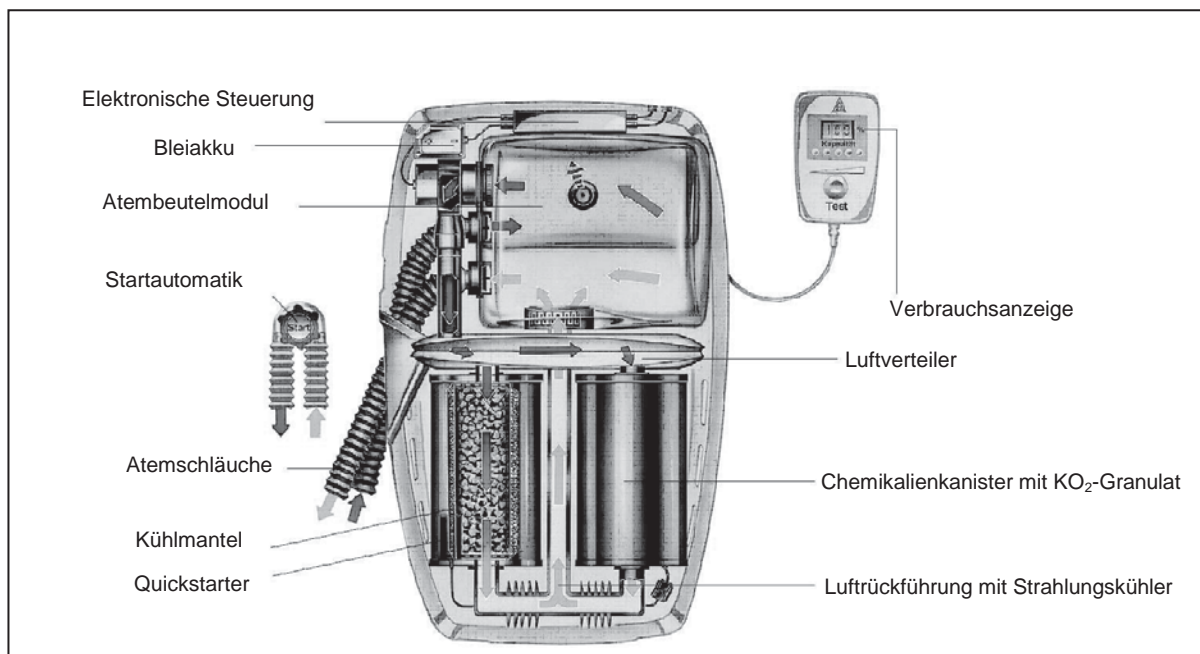


Abb. 81: Das Atemschutzgerätes AirElite der Firma MSA Auer (verändert nach: Auer, 2007)

Bei genauer Betrachtung des Aufbaus fällt auf, dass man hier, im Gegensatz zu den üblichen Geräten auf Kaliumhydroxidbasis, offensichtlich auf eine Zumischung von Sauerstoff durch eine externe Sauerstoffquelle (Sauerstoffgasflasche) verzichten kann.

Dieser Verzicht ist möglich, da das eingesetzte Kaliumhyperoxid mit Kohlenstoffdioxid in einer exothermen Reaktion zu Kaliumcarbonat und Sauerstoff reagiert. Aus zwei Mol Kohlenstoffdioxid entstehen drei Mol Sauerstoff.

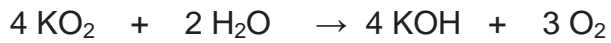


Bei dieser Reaktion handelt es sich um eine Disproportionierung des Sauerstoffs. Der Sauerstoff liegt im Hyperoxid mit der Oxidationsstufe $-1/2$ vor. Dieser Sauerstoff wird zu molekularem Sauerstoff mit der Oxidationsstufe 0 oxidiert bzw. zu Sauerstoff im Carbonat mit der Oxidationszahl $-II$ reduziert.

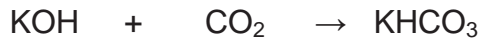
Da in der Ausatemluft immer Luftfeuchtigkeit vorhanden ist, kommt zusätzlich ein weiteres Reaktionsschema in Betracht.



Diese Reaktion läuft in zwei Stufen ab (Atkins, 1996). In einem ersten Schritt wird in einer Redoxreaktion Wasserdampf gebunden und Sauerstoff freigesetzt:



Das dabei entstehende Kaliumhydroxid bindet das ausgeatmete Kohlenstoffdioxid.

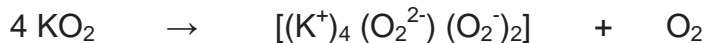


Fasst man die beiden Reaktionen zusammen, erhält man die folgende Gesamtgleichung:



Mögliche partielle Rotfärbungen können durch bei thermischer Zersetzung entstehende Sesquioxide (K_2O_3) erklärt werden (Greenwood, 1990).

Sesquioxide sind Salze und haben basischen Charakter (Christen, 1995).



Kaliumhyperoxid zeigt darüber hinaus paramagnetisches Verhalten.

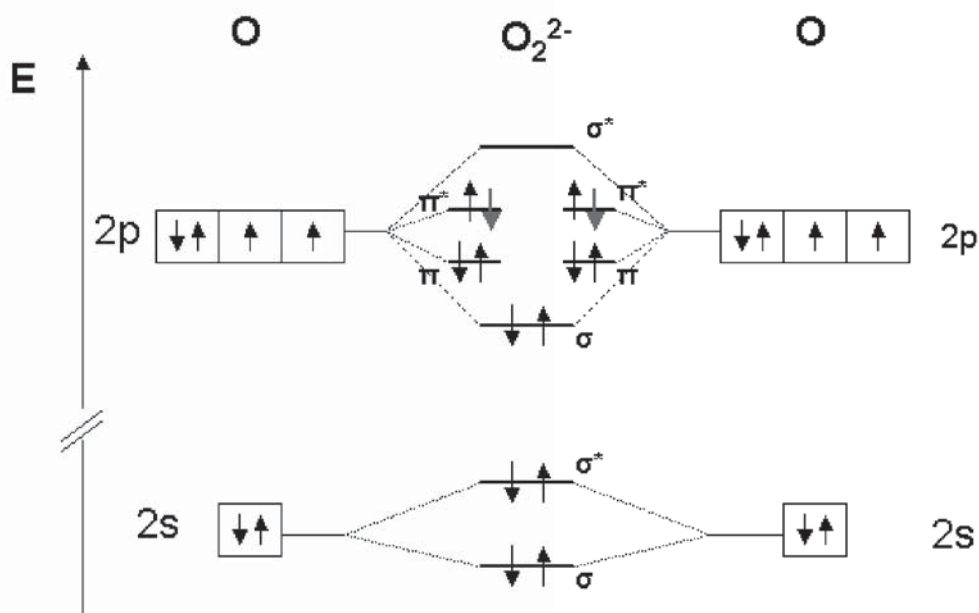


Abb. 82: MO-Schema des Hyperoxid-Anions (Lorenz, 2010)



Das Phänomen des Para- bzw. Diamagnetismus geht auf die Elektronenkonfiguration eines Stoffes zurück.

Eine Möglichkeit zum Nachweis der magnetischen Eigenschaften ist die Gouy'sche Waage

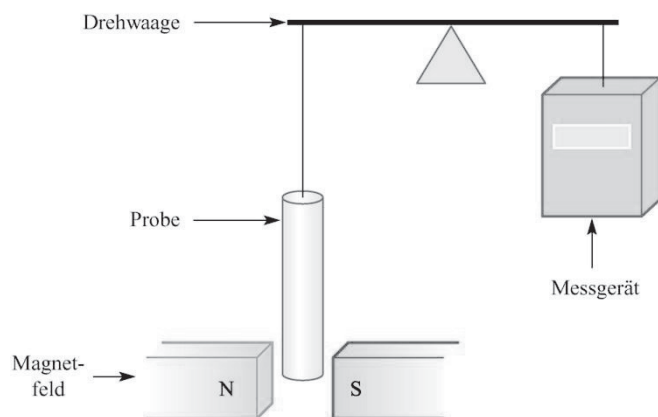


Abb. 83: Schematische Darstellung einer Gouy'schen Waage (Housecroft, 2006, S. 640)

Die Gouy'sche Waage nutzt die Wechselwirkung von gepaarten bzw. ungepaarten Elektronen im Magnetfeld aus. Diamagnetische Substanzen werden schwach abgestoßen, während paramagnetische Materialien in das Magnetfeld hineingezogen werden. Die Stärke des paramagnetischen Effekts hängt von der Anzahl der ungepaarten Elektronen ab. Der diamagnetische Effekt ist deutlich schwächer ausgeprägt, paramagnetische Substanzen sind auch immer diamagnetisch, dieser Effekt wird nur vom stärkeren Paramagnetismus überlagert. Ursache des Diamagnetismus ist die magnetische Induktion. Ein Magnetfeld hat demnach einen Einfluss auf Elektronen in der Art, dass ein induziertes Magnetfeld dem äußeren Magnetfeld entgegengesetzt ist. Deshalb kommt es zu einer leichten Abstoßung vom Magnetfeld (Mortimer, 1995).

4.6.3 Didaktische Anmerkungen zur Unterrichtseinheit „James Bond: Feuerball“

Die Einheit zu „James Bond: Feuerball“ erstreckt sich über einen Zeitraum von 4 Unterrichtsstunden. Sie kann dabei in der **Chemie** dem Themenkomplex **Redoxchemie** zugerechnet werden. Die Reaktion von Kaliumhyperoxid mit Kohlenstoffdioxid stellt einen Sonderfall von Redoxgleichungen, die Disproportionierung, dar.

Die Schülerinnen und Schüler lernen dabei Kaliumhyperoxid als **Stoff** mit außergewöhnlichen **Eigenschaften** kennen. Sie erfahren von der Verwendung von Kalium-



„Feuerball“

hyperoxid in Atemmasken und thematisieren damit einen Alltagsbezug des Unterrichtsstoffs (Leitlinie **Umwelt und Gesellschaft**).

Im Unterricht wird eine Gaschromatographie zum Sauerstoffnachweis durchgeführt und dabei eine typische **Arbeitsweise** der Chemie angewendet. Weiter wiederholen die Schülerinnen und Schüler einfache Nachweise für Sauerstoff (Glimmspanprobe), Kohlenstoffdioxid (Universalindikator) und Carbonate. Die Lernenden werden dazu angehalten ihre Hypothesen durch selbst entwickelte Versuche zu überprüfen. Besonderer Wert wird dabei auf die Auswertung gelegt und die Versuchsergebnisse werden rechnerisch überprüft. Dabei werden stöchiometrische Berechnungen durchgeführt, die Verwendung der molaren Masse, des Molvolumens und der Stoffmenge geübt und gefestigt.

Durch die genaue Betrachtung der bei einer Redoxreaktion stattfindenden Elektronenübergänge ergeben sich neue Einsichten auf Stoffe und Teilchen. Dies ist zusätzlich eine gute Gelegenheit **Ordnungsprinzipien** wie z.B. Oxidationszahlen zu thematisieren.

Leitlinien	Unterrichtsbestandteil
Stoffe und ihre Eigenschaften	- Kaliumhyperoxid und seine Eigenschaften
Stoffe und ihre Teilchen	- Elektronenübergänge
Chemische Reaktionen	- Redoxreaktion von Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff - Disproportionierung - Stöchiometrische Berechnungen - Säure-Base-Reaktion
Ordnungsprinzipien	- Molare Masse, Molvolumen, Stoffmenge - Oxidationszahlen
Arbeitsweisen	- Versuche planen, durchführen und auswerten - Methode Gaschromatographie als Sauerstoffnachweis - Glimmspanprobe als Sauerstoffnachweis - Universalindikator als Kohlenstoffdioxidnachweis - Berechnungen zum Sauerstoffverbrauch - Entwicklung eines Modellexperiments - Stöchiometrische Berechnungen
Umwelt und Gesellschaft	- Atemgeräte auf Kaliumhyperoxidbasis

Tabelle 56: Überblick über chemische Leitlinien der Unterrichtseinheit „Feuerball“

Durch die Thematisierung der Atmung bei James Bond, werden zusätzlich biologische Aspekte angesprochen. Durch stöchiometrische Berechnung wird auf die Atmung, die Atemfrequenz, das Atemvolumen und die im Körper bei der Atmung ablaufenden Vorgänge eingegangen und dadurch die Authentizität der Filmsequenz überprüft. Diese Themen lassen sich dem Themenkomplex **Energieumwandlung** zuordnen.



Leitlinie	Unterrichtsbestandteil
Energieumwandlung	Atmung / Aufnahme von Sauerstoff, Abgabe von Kohlenstoffdioxid

Tabelle 57: Überblick über biologische Leitlinien der Unterrichtseinheit „Feuerball“

4.6.4 Unterrichtseinheit „James Bond: Feuerball“

Zur Einführung in die Unterrichtseinheit „James Bond: Feuerball“ dient der Filmtrailer.

Der Film findet seinen Höhepunkt in einer spektakulären Unterwasserschlacht in der James Bond mit Hilfe eines Mini-Atemgeräts seine Angreifer überraschen und überwältigen kann. Diese Filmszene (1:53:16 – 2:00:18), in der James Bond sieben Minuten mit einem etwa 10 cm langen Tauchgeräts unter Wasser bleiben kann, liefert die Problemstellung für den Unterrichtsgang. Während die Schülerinnen und Schüler die Handlung der Szene verfolgen, wird die Zeit des Tauchgangs gestoppt. Gemeinsam mit den Lernenden wird nun der Frage nachgegangen, wie es James Bond möglich



Abbildung 84: Mini-Tauchgerät (Feuerball, Fox, 1965)

war, so lange ohne Taucherausrüstung unter Wasser zu bleiben. Es wird diskutiert, welche Kriterien ein Atemgerät erfüllen muss und welche technischen Realisierungen dabei möglich sind. Anhand einer Folie wird den Schülerinnen und Schülern ein historischer Tauchretter vorgestellt und besprochen. Den Schülerinnen und Schülern wird bei dem Vergleich mit dem im Film gezeigten Tauchgerät und einer schematischen Abbildung schnell das Fehlen einer externen Sauerstoffquelle bewusst. Zudem werden sie auf die Substanz Kaliumhyperoxid aufmerksam. In einem ersten Experiment wird die Reaktion von Kaliumhyperoxid mit Kohlenstoffdioxid untersucht.

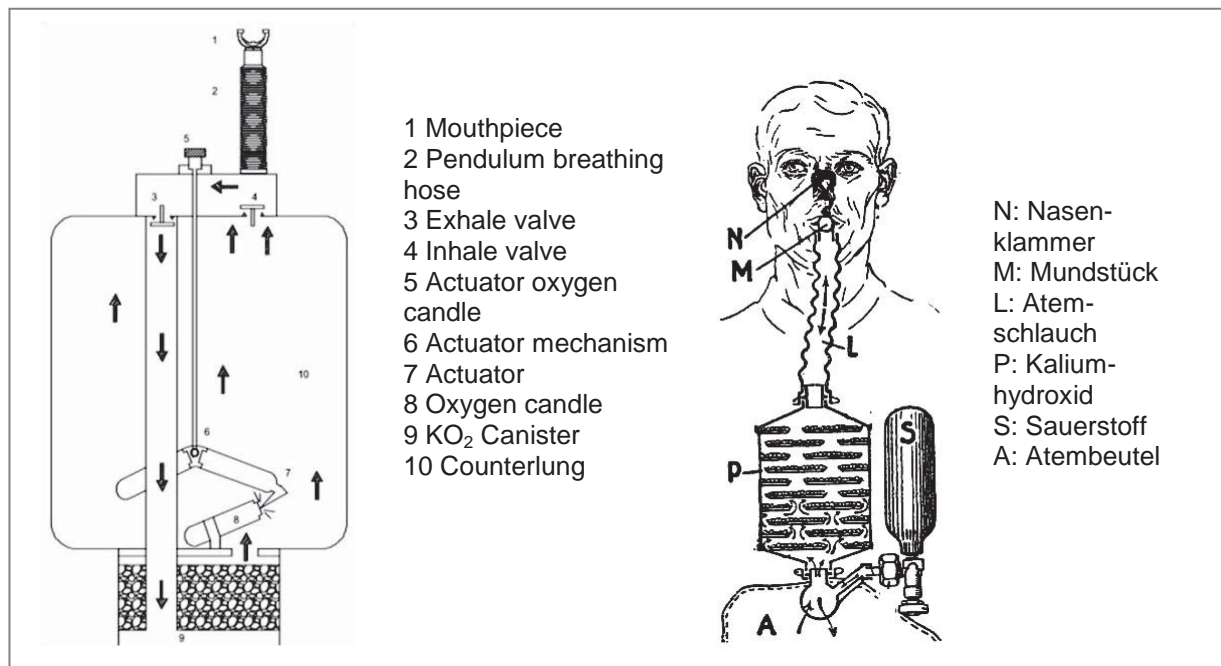


Abbildung 85: Tauchermaske auf KO₂-Basis (therebreathersite.nl, 2010) und Historische Tauchermaske auf KOH-Basis (therebreathersite.nl, 2010)

V27: Die Reaktion von Kaliumhyperoxid mit Kohlenstoffdioxid

Geräte und Chemikalien: Stativmaterial, 2 Kolbenprober, 2 kurze Schlauchstücke, Quarzrohr, Glastrichter mit Schlauchstück, Spatel, Uhrglas, Waage, Digital-Thermometer mit Temperaturfühler, Glaswolle (GHS 08, Achtung), Kohlenstoffdioxid (GHS 04, Achtung), Kaliumhyperoxid (GHS 05, ätzend; GHS 03, Gefahr)

Durchführung und Beobachtung: Etwa 0,4 g Kaliumhyperoxid (Überschuss an Kaliumhyperoxid; stöchiometrisch wären 0,32 g erforderlich) werden auf der Analysenwaage abgewogen und in ein Quarzröhrchen gefüllt. Dieses wird an beiden Seiten

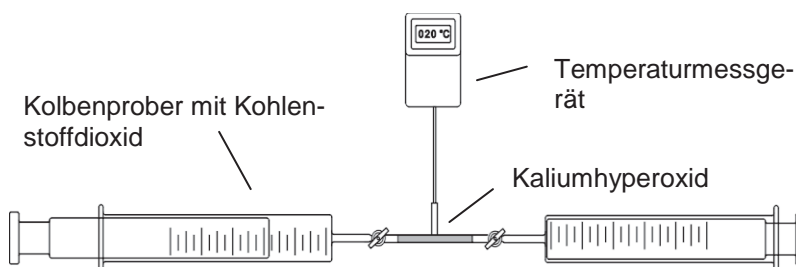


Abbildung 86: Schemazeichnung Reaktion von Kaliumhyperoxid mit Kohlenstoffdioxid

mit Glaswolle verschlossen. Anschließend wird das gefüllte Quarzrohr entsprechend der Abbildung in den Versuchsaufbau integriert. Im Anschluss daran werden 50 mL Kohlenstoffdioxid über das Kaliumhyperoxid geleitet. Im Quarzrohr entsteht dabei ein weißgefärbtes Reaktionsprodukt. Darüber hinaus zeigen sich partiell orange-rote Verfärbungen. Am Digital-Thermometer ist ein deutlicher Temperaturanstieg zu erkennen (ca. 90°C).

Nach Überleiten der 50 mL Kohlenstoffdioxid ist im zweiten Kolbenprober ein Gasvolumen von etwa 75 mL zu erkennen.

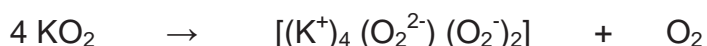
Erklärung und Interpretation: In einer exothermen Reaktion wird das Kohlenstoffdioxid gebunden und gleichzeitig Sauerstoff freigesetzt.



Das gelbe Kaliumhyperoxid wird dabei in weißes Kaliumcarbonat umgewandelt. Die zunächst überraschende Volumenzunahme ist mit der Stöchiometrie der Reaktion verständlich: 2 mol Kohlenstoffdioxid reagieren zu 3 mol Sauerstoff; bei den eingesetzten 50 mL Kohlenstoffdioxid führt dies zu der beobachteten Volumenzunahme auf ca. 75 mL. Die beim Durchleiten des Kohlenstoffdioxids zu beobachtende, teilweise rote Verfärbung des Kaliumhyperoxids kann durch eine Nebenreaktion, die Bildung von Sesquioxiden (K_2O_3), erklärt werden. Sie entstehen durch thermische Zersetzung von KO_2 (Holleman, 1995).



Abbildung 87: Partielle Rotfärbung von Kaliumhyperoxid durch den thermischen Verfall in Sesquioxide



Im Unterrichtsgang wird vor dem Aufstellen der Reaktionsgleichungen experimentell überprüft, welches gasförmige Reaktionsprodukt bei der Reaktion von Kohlenstoffdioxid und Kaliumhyperoxid entstanden sein könnte. Dazu wird zunächst in einem weiteren Experiment ausgeschlossen, dass es sich um Kohlenstoffdioxid handelt.

V28: Qualitative Untersuchung des gasförmigen Reaktionsprodukts - Kohlenstoffdioxid

Geräte und Chemikalien: 3 Bechergläser, 2 Kolbenprober, Glasröhrchen zur Spitze gezogen, Stativmaterial, Gummischlauchstück, Universalindikator, Wasser, Kohlenstoffdioxid (GHS 04, Achtung), gasförmiges Reaktionsprodukt aus Versuch 27

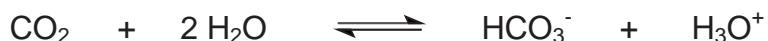


Durchführung und Beobachtung: Drei mit Wasser gefüllte Bechergläser werden mit je 20 Tropfen Universalindikator versetzt. In eines dieser Bechergläser wird mit Hilfe eines Kolbenprobers Kohlenstoffdioxid eingeleitet. Schon nach wenigen Millilitern zeigt sich eine kräftige gelbe Verfärbung der Universalindikatorlösung. In das zweite Becherglas leitet man etwa die Hälfte des Gasvolumens aus Versuch 27 ein. Es zeigt sich keine Verfärbung des Universalindikators. Das dritte Becherglas dient zum Farbvergleich.



Abbildung 88: Qualitative Untersuchung des gasförmigen Reaktionsprodukts mit Universalindikator

Erklärung und Interpretation: Die beim Einleiten von Kohlenstoffdioxid zu beobachtende Gelbfärbung der Indikatorlösung kann durch folgende Reaktion erklärt werden:



Da beim Einleiten des gasförmigen Reaktionsprodukts keine Verfärbung der Indikatorlösung zu beobachten war, hat das Kohlenstoffdioxid offensichtlich vollständig mit dem Kaliumhyperoxid reagiert. Das verbliebene Gasvolumen wird anschließend mit Hilfe der Glimmspanprobe untersucht, da die im Film gezeigte Verwendung eine Freisetzung von Sauerstoff bei der Reaktion von Kaliumhyperoxid mit Kohlenstoffdioxid nahe legt. Diese von den Schülern geäußerte Vermutung kann in einem weiteren Experiment überprüft werden.

V29: Qualitative Untersuchung des gasförmigen Reaktionsprodukts – Sauerstoff

Geräte und Chemikalien: Glimmspan, Stativmaterial, Feuerzeug, gasförmiges Reaktionsprodukt aus Versuch 27

Durchführung und Beobachtung: Ein glimmender Holzstab wird an die Öffnung des mit Gas gefüllten Kolbenprobers gehalten, der zur besseren Handhabe in ein Stativ



eingespannt wird. Leitet man das Gas über den glimmenden Holzspan, leuchtet dieser hell auf.

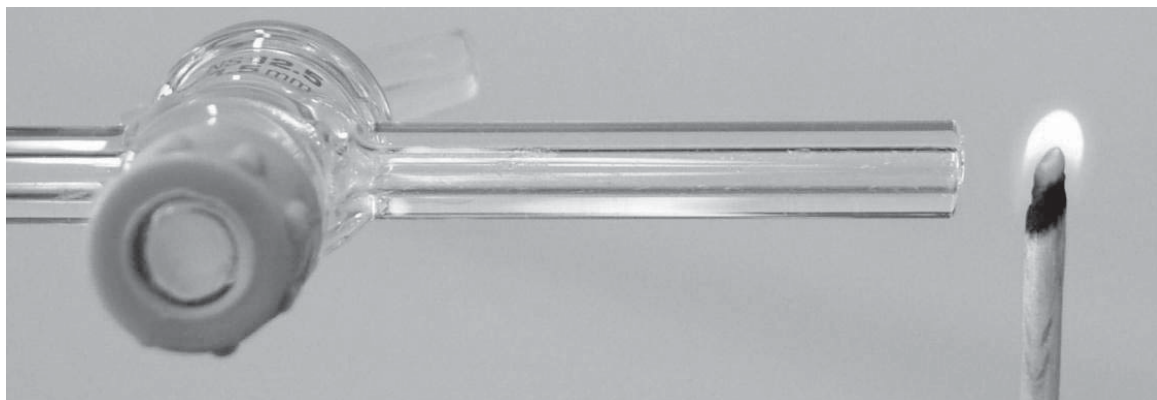


Abbildung 89: positive Glimmspanprobe

Erklärung und Interpretation: Durch den Sauerstoff entzündet sich der noch glimmende Holzspan. Diese positive Glimmspanprobe liefert einen ersten Hinweis für den bei der Reaktion entstandenen Sauerstoff. Im Anschluss daran kann diese Vermutung durch das Anfertigen eines Gaschromatogramms bewiesen werden.

V30: Gaschromatographische Untersuchung des gasförmigen Reaktionsprodukts mit AK LowCost Gaschromatograph von Kappenberg.

Geräte und Chemikalien: AK LowCost GC 04 mit Zubehör (Säule Nr. 4, schwarzer Kabelbinder, Chromosorb 102, 60-80 msh, 0,80 m), gasförmiges Reaktionsprodukt aus Versuch 27

Durchführung und Beobachtung: 2,5 mL des bei Versuch 27 entstandenen Gases werden unter Zuhilfenahme einer Spritze aus dem Versuchsaufbau, durch Einstecken in den Siliconschlauch, entnommen. Nach Starten des AK LowCost GC-Programms (Version 1.23) wird die Probe in den Gaschromatograph injiziert.

Erklärung und Interpretation: Zu Beginn der Messungen zeigt sich zunächst ein Einstichpeak, der durch die Druckveränderung beim Einspritzen des Untersuchungsgases zustande kommt.

Nach etwa 45 Sekunden zeigt sich der Sauerstoffpeak, der wie in der Abbildung 90 deutlich zu erkennen, sehr hoch ist. Lediglich ein kleines Restvolumen an Kohlenstoffdioxid ist nach der Reaktion noch festzustellen (130 s).

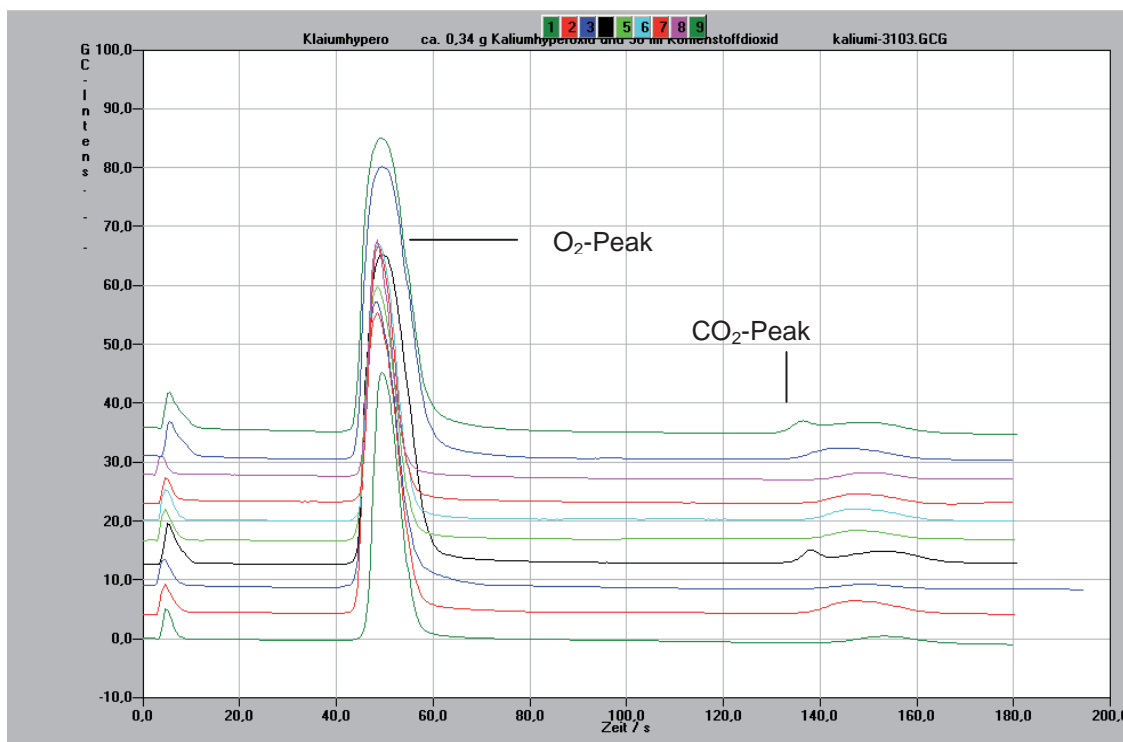


Abbildung 90: Gaschromatographische Untersuchung des Reaktionsprodukts (10 Messungen)

Dies beweist die nahezu vollständige Reaktion des Kohlenstoffdioxids mit Kaliumhyperoxid. Die Messung kann nach 180 Sekunden beendet werden. Anhand der Reaktionsgleichung wird nun gemeinsam nach der Bezeichnung des zweiten festen Reaktionsprodukts gesucht. Unter Zuhilfenahme der vorhandenen Reaktionspartner und der Stöchiometrie wird das Kaliumcarbonat schnell identifiziert. Es ist möglich, die Stoffklasse der Carbonate noch einmal kurz zu wiederholen und auf einen gängigen Carbonatnachweis zu sprechen zu kommen, den die Lernenden anschließend im Schülerexperiment durchführen.

V31: Untersuchung des festen Reaktionsprodukts

Geräte und Chemikalien: Reagenzglas, Spatel, Glimmspan, verdünnte Salzsäure (GHS 05, ätzend), Reaktionsprodukt der Reaktion von Kohlenstoffdioxid und Kaliumhyperoxid (Versuch 27) oder käufliches Kaliumcarbonat (GHS 07, Achtung), Wasser

Durchführung und Beobachtung: Ein bis zwei Spatelspitzen des Reaktionsproduktes aus Versuch 27 werden in einem Reagenzglas in ca. 1 mL Wasser gelöst. Ein leichtes Aufschäumen der Lösung ist möglich, da noch nicht umgesetztes Kaliumhyperoxid mit dem Wasser reagiert. Nachdem sich der weiße Feststoff vollständig gelöst hat, wird tropfenweise verdünnte Salzsäure zugegeben. Bei Zugabe der Salzsäure



ist ein kräftiges Aufschäumen im Reagenzglas zu beobachten und ein in das Reagenzglas gehaltener Glimmspan erlischt sofort.

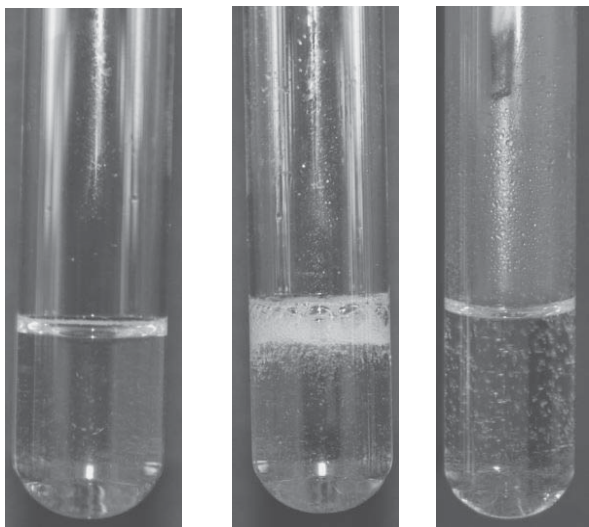


Abbildung 91: Austreiben von Kohlenstoffdioxid aus Carbonat durch Salzsäure

Erklärung und Interpretation: Dieses experimentelle Ergebnis legt nahe, dass es sich bei dem Feststoff um Kaliumcarbonat handelt. Das zuvor gebundene Kohlenstoffdioxid wird durch Zugabe von Salzsäure wieder ausgetrieben.



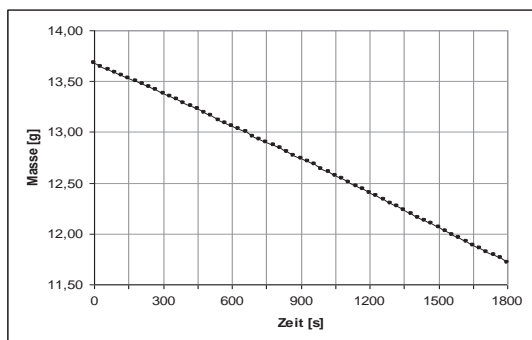
Die zurückliegenden Experimente haben den Schülerinnen und Schülern die bemerkenswerten chemischen Eigenschaften von Kaliumhyperoxid verdeutlicht und den Einsatz dieser Chemikalie in geschlossenen Atemgeräten oder Gasmasken verständlich gemacht. Bezug nehmend auf diese Eigenschaften soll nun in der zweiten Doppelstunde ein Modellexperiment erarbeitet und durchgeführt werden, welches den Schülern die Funktionsweise eines Atemgeräts auf Kaliumhyperoxidbasis verdeutlicht. Nach dem Einstieg über das erneute Betrachten der Filmszene werden gemeinsam stöchiometrische Berechnungen angestellt und die gezeigte Filmszene auf ihren Wahrheitsgehalt hin untersucht.

Rechnerisch ergibt sich ein Sauerstoffverbrauch von 21 L in der vorgeführten Filmsequenz, dies entspricht 0,94 mol Sauerstoff. Dazu müssen entsprechend der Reaktionsgleichung 1,25 mol Kaliumhyperoxid eingesetzt werden, was einer Masse von 88,84 g Kaliumhyperoxid entspricht.



Realistisch oder Hollywoodistisch?

- 1) Unter körperlicher Anstrengung hat James Bond einen Sauerstoffbedarf von 3000 mL pro Minute. Berechnen Sie die in der Atemkartusche erforderliche Menge an Kaliumhyperoxid.
- 2) Entwickeln Sie ein Modellexperiment, um die gezeigte Filmszene bewerten zu können, verwenden Sie dafür ersatzweise ein Teelicht.
- 3) Die folgende Grafik zeigt die Massenabnahme eines brennenden Teelichts ($C_{17}H_{36}$):



Berechnen Sie die bei dieser Reaktion in 7 min frei werdende Menge an Kohlenstoffdioxid in ml. Tipp: Bestimmen Sie zuerst die bei der Reaktion umgesetzte Stoffmenge von $C_{17}H_{36}$ ($M = 240$ g/mol), 1 mol Gas entspricht 22,4 L.

- 4) Berechnen Sie die erforderliche Menge an Kaliumhyperoxid, um eine Brenndauer von 7 min zu erreichen.
- 5) Bestimmen Sie die dabei freigesetzte Menge an Sauerstoff.
- 6) Führen Sie das Modellexperiment durch und bewerten Sie abschließend die Szene auf ihren Wahrheitsgehalt.

Abbildung 92: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt AB F3

Anschließend entwickeln die Schüler und Schülerinnen ein Modellexperiment um die dargestellte Szene experimentell überprüfen zu können. Dabei wird exemplarisch auf ein Teelicht zurückgegriffen. Die Schülerinnen und Schüler entnehmen der auf dem Arbeitsblatt dargestellten Grafik, dass in 1800 Sekunden 1,95 g Wachs verbraucht werden (Anfangswert 13,60 g, Endwert 11,56 g). Dies entspricht einem Massenverlust von $1,083 \times 10^{-3}$ g pro Sekunde. Nach 7 min (420 Sekunden) sind 0,455 g Wachs umgesetzt. Dieses Ergebnis und die molare Masse von Paraffin (240 g/mol) sind erforderlich um zu berechnen, wie viel Kohlenstoffdioxid in 7 min beim Brennen der Kerze freigesetzt wird. Setzt man die molare Masse mit der verbrauchten Menge Paraffin in Bezug, so erhält man die umgesetzte Stoffmenge von $1,89 \times 10^{-3}$ mol. Setzt man dies in Relation zur Reaktionsgleichung, so erhält man die bei der Reaktion umgesetzte Stoffmenge von Kohlenstoffdioxid (0,032 mol). Vereinfacht kann man davon ausgehen, dass ein Mol eines Gases 22,4 L einnimmt, somit erhält man ein Volumen von 722 mL Kohlenstoffdioxid. Da bei der Reaktion von Kohlenstoffdioxid mit Kaliumhyperoxid zwei Mol Kohlenstoffdioxid mit vier Mol Kaliumhyperoxid reagieren, ist eine Stoffmenge von 0,064 mol Kaliumhyperoxid zur Umsetzung erforderlich. Unter Zuhilfenahme der molaren Masse von Kaliumhyperoxid (71,07 g/mol) errech-

net man eine Masse von 4,548 g Kaliumhyperoxid. Diese eingesetzte Menge an Kaliumhyperoxid setzt 1,057 L Sauerstoff frei. Die Materialien für dieses Experiment können bei der Firma Hedinger bezogen werden.

V32: Das brennende Teelicht im geschlossenen System

Geräte und Chemikalien: Pumpe SCHEGO M2K3 (Leistung 350 L/h), Digitalthermometer mit Temperaturfühler, 2 Schlaucholiven, Gaswaschflasche, Schlißklammer 29/32, Plexiglasrohr (20 cm hoch, Durchmesser 8 cm) mit zwei Stopfen, davon einer dreifach durchbohrt, Glasrichter, Pulverglasrichter, Abdampfschale, Spatel, 3 gebogene Glasrohre (Länge jeweils 27 cm, 12 cm, 10 cm), Glasrohr (12 cm Länge), durchbohrter Stopfen, Luftballon, Siliconschlauchmaterial, Kühlfinger, Laborboy, Stativmaterial, Stoppuhr, Quarzrohr (Länge 20 cm, Durchmesser 2 cm) mit passenden durchbohrten Stopfen, 2 kurze Glasröhrchen, Glaswolle (GHS 08, Gefahr), 5 g Kaliumhyperoxidpulver (GHS 03, Gefahr, GHS 05, ätzend) 1 g Natriumcarbonat * 10 H₂O (GHS 07, Achtung), Teelicht, Universalindikator, Kupfersulfat (GHS 07, Achtung; GHS 09, umweltgefährlich), Wasser

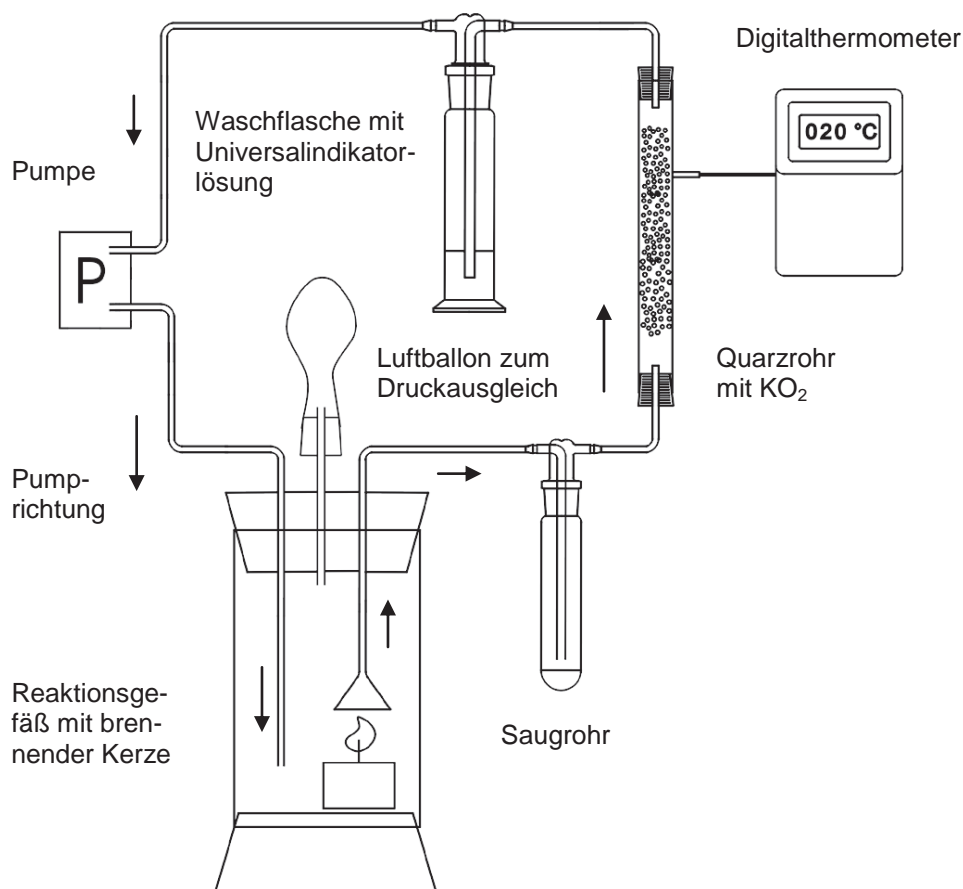


Abbildung 93: Schemazeichnung "Das brennende Teelicht im geschlossenen System"



Durchführung und Beobachtung: Der Versuch wird entsprechend der Abbildung 93 aufgebaut. Beim Zusammenbau der Versuchsanordnung sollte man unbedingt die korrekte Pumprichtung überprüfen. In das Saugrohr kann wahlweise wasserfreies Kupfersulfat als Nachweisreagenz gegeben werden. Anschließend wird mit Hilfe eines Pulvertrichters aus Glas das Quarzglasrohr mit einem Gemisch von 1 g Natriumcarbonat und 5 g Kaliumhyperoxid gefüllt. Dieses Gemisch wird in einem Erlenmeyerweithalskolben mit passendem Stopfen durch vorsichtiges Drehen hergestellt. Die dabei entstehenden Pulverklümpchen sind für den Versuchsablauf notwendig. Der Messfühler des Digitalthermometers wird einmal um den unteren Bereich des mit Kaliumhyperoxid gefüllten Quarzrohres gewickelt.

Nach kurzer Zeit beobachtet man am Digitalthermometer einen deutlichen Temperaturanstieg bis zu 120 °C. Anhand der Farbveränderungen und der Temperaturzonierung im Quarzrohr wird erkennbar, dass das Kaliumhyperoxid entsprechend der Kohlenstoffdioxid-Einleitung offensichtlich von unten nach oben abreagiert. Im Saugrohr bilden sich Wassertropfen bzw. das wasserfreie Kupfersulfat färbt sich blau und in Folge der erwarteten Druckverhältnisse dehnt sich der Luftballon leicht aus. Nach ca. fünf Minuten verfärbt sich die Universalindikatorlösung langsam gelb und man erreicht eine Gesamtbrenndauer von etwa sieben Minuten.

Durch das Modellexperiment konnten die stöchiometrischen Berechnungen bestätigt werden. Die im Vorfeld durchgeführte Berechnung zur eingesetzten Kaliumhyperoxidmasse im Tauchretter lässt die dargestellte Szene, zumindest in Bezug auf das Tauchergerät, durchaus als realistisch erscheinen.

Sicherheitshinweise für den Umgang mit Kaliumhyperoxid

- Gut verschlossen, kühl, trocken und gut gelüftet aufbewahren.
- Unbedingt trennen von Stoffen, mit denen gefährliche Reaktionen eintreten können. Gemische mit brennbaren Stoffen sind selbstentzündlich. Kaliumhyperoxid ist ein starkes Oxidationsmittel.
- Bei Kontakt mit Wasser Bildung von Wasserstoffperoxid und Kalilauge, sowie Sauerstoff unter starker Wärmeentwicklung. Vorsicht ätzend.
- Die Abfälle nicht in Ausguss oder Mülleimer schütten.

Entsorgung von Kaliumhyperoxid

Die Reste von Kaliumhyperoxid mit Natriumthiosulfat umsetzen, Einstellung auf pH 6-8, anschließend dem Abwasser zuführen.

Entsorgung von Kaliumcarbonat

Das Kaliumcarbonat kann vorsichtig, in kleinen Mengen, in ein mit Wasser gefülltes Becherglas gegeben, aufgelöst und anschließend über den Abfluss entsorgt werden.

Abbildung 94: Sicherheitshinweise im Umgang mit Kaliumhyperoxid (Merck, 2009)



4.6.5 Tabellarischer Überblick über die Unterrichtseinheit „James Bond: Feuerball“

1. Doppelstunde

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Motivation	Der Filmtrailer zu James Bond: Feuerball wird gezeigt und die Handlung des Films zusammengefasst.	DVD, Beamer, DVD-Player, Filmtrailer
Einstieg	Die dem weiteren Unterricht zu Grunde liegende Szene F1 wird vorgeführt 1:53:16 – 2:00:18. Dabei taucht James Bond mit einem Mini-Tauchgerät. Die Schüler und Schülerinnen stoppen die Zeit, die er unter Wasser bleibt.	DVD, Beamer, DVD-Player, Filmausschnitt F1
Hinführung	Gemeinsam werden die Leitfragen formuliert: - Kann es solch einen Tauchretter geben? - Wie funktioniert der dargestellte Tauchretter? Auf Folie wird ein historischer Tauchretter mit modernen Weiterentwicklungen verglichen. Die Substanz Kaliumhyperoxid wird identifiziert.	Folie F F1
Erarbeitung	Im Versuch wird erarbeitet, wie Kaliumhyperoxid in den Tauchermasken funktioniert.	Versuchsmaterialien, Arbeitsblatt, AB F1
Vertiefung	Durch Universalindikator und Glimmspanprobe wird das gasförmige Reaktionsprodukt untersucht.	Arbeitsblatt AB F1, Versuchsmaterialien
Vertiefung II	Mittels Gaschromatogramm wird die Vermutung Sauerstoff bestätigt.	Versuchsmaterialien
Vertiefung III	Gemeinsam wird die Reaktionsgleichung der Reaktion Kaliumhyperoxid mit Kohlenstoffdioxid aufgestellt.	Tafel
Vertiefung IV	Im Schülerversuch wird das feste Reaktionsprodukt identifiziert.	Arbeitsblatt AB F2

Tabelle 58: 1. Doppelstunde der Unterrichtseinheit "Feuerball"

2. Doppelstunde

Phase	Inhalt der Unterrichteinheit	Medien
Einstieg	Die Filmszene F1 wird zum Einstieg noch einmal vorgeführt.	DVD, Beamer, DVD-Player, Filmausschnitt F1
Erarbeitung	Gemeinsam werden stöchiometrische Berechnungen angestellt.	Arbeitsblatt AB F3
Vertiefung	Im Modellexperiment werden die Berechnungen überprüft.	Arbeitsblatt AB F3, Versuchsmaterialien
Festigung	Durch stöchiometrische Berechnungen wird die Filmszene auf ihren Wahrheitsgehalt überprüft.	Arbeitsblatt AB F3
Abschluss	Das Happy End des Films wird gemeinsam angeschaut.	DVD, Beamer, DVD-Player, Filmausschnitt F2

Tabelle 59: 2. Doppelstunde der Unterrichtseinheit "Feuerball"



4.7 „Abyss“, „Im Rausch der Tiefe“, „Freediver“, und „James Bond jagt Dr. No“ - Weitere spannende Möglichkeiten für fächerübergreifenden Unterricht im Themengebiet Tauchen

4.7.1 Filmbeschreibung und Szenenüberblick

Das Thema des Tauchens ist sehr vielseitig und bietet neben den bereits thematisierten Unterrichtsbausteinen weitere Ansatzpunkte zur Verknüpfung von naturwissenschaftlichen Inhalten mit Sequenzen aus Spielfilmen.

Abyss

„Abyss - Abgrund des Todes“ ist ein Science-Fiction Film von James Cameron aus dem Jahr 1989. Ein amerikanisches U-Boot mit mehreren Atomwaffen beladen sinkt kurz vor der kubanischen Küste unter mysteriösen Umständen auf 610 m (2000 Fuß) Tiefe ab. Um das U-Boot zu bergen wird eine Spezialeinheit der US Navy an Bord einer Ölplattform auf dem Meeresgrund stationiert. Bereits während der Abtauchphase erkrankt der befehlshabende Offizier Caffey am HPN-Syndrom (Heliumzittern) und wird dadurch im Laufe des Films zunehmend unberechenbarer. Während eines ersten Bergungstauchgangs wird ein weiterer Soldat durch eine Sauerstoffvergiftung verletzt, als er bei einer Begegnung mit Außerirdischen in Panik gerät. Ein Sturm spitzt die Lage an Bord immer weiter zu, da die Ölplattform durch den Versorgungsschlauch auf den Meeresgrund gezogen und teilweise geflutet wird, einige Besatzungsmitglieder der Ölplattform werden dadurch getötet. In dieser sich stetig verschlechternden Stimmung verliert der Offizier Caffey die Kontrolle und macht sich mit einem gestohlenen Mini-U-Boot auf den Weg um die Atombomben des gesunkenen U-Boots zu zünden und damit die vermeintliche Bedrohung durch die Außerirdischen abzuwenden. Die beiden Hauptdarsteller des Films Lindsey und Bud folgen ihm und können ihn schließlich stoppen. Dabei wird jedoch ihr U-Boot zerstört und sie müssen sich mit nur einem Taucheranzug in die Ölplattform retten, was den beiden auch gelingt. Mit Hilfe der Flüssigkeitsatmung macht sich Bud schließlich auf den Weg die Atombomben zu entschärfen. Bei diesem Vorhaben geht ihm der Sauerstoff aus. Es droht der Tod auf dem Meeresgrund. Dort nehmen sich die Außerirdischen seiner an und befördern ihn sowie die Ölplattform an die Meeresoberfläche.

Trotz der eher unrealistischen Handlung bietet der Film durchaus für den Unterricht geeignete Szenen, an denen die unterschiedlichsten Inhalte thematisiert werden können. So bietet sich die Möglichkeit, anhand der beim Tauchen eingesetzten Spezialgase den Partialdruck von Gasen zu thematisieren, biologische Aspekte von Taucherkrankheiten am Beispiel HPNS und Dekompressionskrankheit zu besprechen. Die Flüssigkeitsatmung und dadurch die Atmung im Allgemeinen, die Löslichkeit von



Gasen in Flüssigkeiten kann betrachtet, sowie unterschiedlichste Rechenanlässe zu Tauchtiefen, Sauerstoffverbräuchen und Tauchgasgemischen motivierend angeboten werden.

Zeit	Szene	Inhalt der Filmsequenz	Fachinhalte	
0:06:06 – 0:06:20	Taucher auf 2000 Fuß	Mehrere Taucher tauchen zu einem versunkenen U-Boot.	Mit welchem Luftgemisch ist es möglich, so tief zu tauchen?	AS 1
0:12:40 – 0:14:45	Abtauchen zur unterirdischen Bohrin- sel	Die Soldaten müssen drei Wochen in einer Dekompressionskammer verbringen, die Symptome der Dekompressionskrankheit werden angesprochen, einer der Navys erkrankt.	Dekompressionskrankheit, Taucherkrankheiten	AS 2
0:18:40 – 0:20:15	Flüssigkeitsatmung	Die Flüssigkeitsatmung wird an einer Ratte demonstriert.	Flüssigkeitsatmung / Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten	AS 3
0:27:47 – 0:29:00 und 0:29:38 – 0:31:44	Taucherunfall	Ein Taucher vergiftet sich mit Sauerstoff.	Sauerstoffvergiftung	AS 4
1:32:50 – 1:34:59 und 1:41:19 – 1:42:00	Rettung aus dem Mini-U-Boot	Das Mini-U-Boot läuft voll Wasser und die beiden Hauptdarsteller müssen es verlassen. Dafür steht nur eine Taucherausrüstung zur Verfügung.	Auswirkungen von kaltem Wasser auf Körperfunktionen, Eistauchen	AS 5
1:56:20 – 1:57:38	Sauerstoffmangel	Beim Hauptdarsteller geht der Sauerstoff zu Ende.	Berechnungen zum Sauerstoffverbrauch	AS 6
2:08:00 – 2:08:36	Glückliches Auftauchen	Die Besatzung des U-Bootes taucht ohne Dekompressionskammer auf.	Dekompressionskrankheit	AS 7

Tabelle 60: Szenenüberblick „Abys“

Eine erste Szene 0:06:06 – 0:06:20 zeigt mehrere Taucher in 2000 Fuß (610 m) Wassertiefe. Diese Szene kann einen motivierenden Anlass zur Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Tauchgasen liefern. Tauchgase werden notwendig, wenn die Anforderungen an den Taucher, oder die Tauchtiefen erhöht werden und man den Bereich der meisten Sport- und Hobbytaucher verlässt.

Nitrox ist hierbei in erster Linie nicht für die Gewinnung von mehr Tauchtiefe gedacht, sondern für die Erhöhung der Sicherheit des Tauchgangs (Kromp, Roggenbach & Bredebusch, 1999). Um mit Nitrox zu tauchen, ist eine spezielle Ausbildung notwendig.

Trimix ist ein Gasgemisch aus Helium, Sauerstoff und Stickstoff. Dabei wird Atemluft mit Helium, oder Helium mit Sauerstoff und Atemluft vermischt. Durch den reduzier-



„Abyss“

ten Stickstoffanteil verringert man die Gefahr eines Tiefenrauschs, der reduzierte Sauerstoffanteil beugt eine Sauerstoffvergiftung vor (Jackson, 2005).

Heliox ist eine Mischung von Sauerstoff und Helium, dem Tiefenrausch wird durch das komplette Fehlen des Stickstoffs vorgebeugt.

Die folgenden Aufgaben zeigen exemplarisch mögliche Rechenanlässe für Schülerinnen und Schüler im Kontext dieser ersten Szene. Dabei wird zusätzlich das Thema der Partialdrücke von Gasen aufgegriffen.

Aufgabe 1: Sauerstoff und Stickstoff sind ab bestimmten Partialdrücken gefährlich für Taucher und können zu Sauerstoffvergiftung bzw. dem gefürchteten Tiefenrausch führen. Für Sauerstoff liegt der Grenzwert bei 1,6 bar, bei Stickstoff beträgt er 3,2 bar. Den Druck einen Gasgemisches kannst du nach Dalton aus der Addition der Drücke seiner Teilgase berechnen. Das ergibt die Formel:

$$\text{Partialdruck} = \text{Gesamtdruck} * \frac{\text{Volumen}}{100}$$

- Ein Taucher möchte mit einer Pressluftflasche einen Tauchgang in 20 m absolvieren. Ist diese Tiefe mit Pressluft noch zu meistern, oder sollte er auf ein anders Tauchgas zurückgreifen?
- Wie tief kann er tauchen, ohne der Gefahr des Tiefenrausches ausgesetzt zu sein?
- Ab welcher Tiefe wird Sauerstoff gefährlich?

Abbildung 95: Rechenanlässe aus dem Bereich Tauchen

In einer Tiefe von 20 m herrscht ein Druck von 3 bar, setzt man die Werte in die Gleichung zur Berechnung des Partialdrucks ein, so erhält man einen Stickstoffpartialdruck von 2,34 bar und liegt somit unter der toxischen Grenze von 3,2 bar. Für Sauerstoff liegt der Partialdruck in dieser Tiefe bei 0,63 bar, in dieser Tiefe ist das Tauchen mit einer Druckgasflasche noch ohne weiteres möglich.

Um die für den Körper schädliche Grenze von 3,2 bar bei Stickstoff zu erreichen, muss das gesamte Gasgemisch einem Druck von 4,1 bar ausgesetzt sein, was einer Tauchtiefe von 31 m entspricht. Der Sauerstoff wäre ab einer Tiefe von 66 m eine Gefahr für den Taucher.

Aufgabe 2: Für Tauchgänge in großen Tiefen wird Nitrox oder Trimix verwendet. Nitrox ist ein Gemisch aus 32 % Sauerstoff und 68 % Stickstoff.

- Wie tief kann man mit Nitrox tauchen?

Abbildung 96: Rechenanlässe aus dem Bereich Tauchen

Durch den Einsatz von Nitrox ist es möglich, ohne Gefahr eines Tiefenrausches auf 37 m abzutauchen. Der zugegebene Sauerstoff wird ab einer Tauchtiefe von 40 m für den Taucher problematisch.

Aufgabe 3: Trimix verspricht durch die Zugabe von 70% Helium und der dadurch verbundenen Reduzierung von Stickstoff auf 20 % und Sauerstoff auf 10 % eine Tauchtiefe von 120 m.

a) Ist dieser Wert realistisch?

Abbildung 97: Rechenanlässe aus dem Bereich Tauchen

Setzt man die angegebenen Werte ein, so ergibt sich ein durch den Gesamtdruck des Gasgemischs theoretisch mögliche Tauchtiefe von 150 m.

Anhand einer zweiten Szene des Films 0:12:40 – 0:14:45 können die bereits durch die Tauchgase in der ersten Szene angesprochenen Taucherkrankheiten Tiefenrausch, Sauerstoffvergiftung, HPNS sowie die Dekompression vertieft werden.

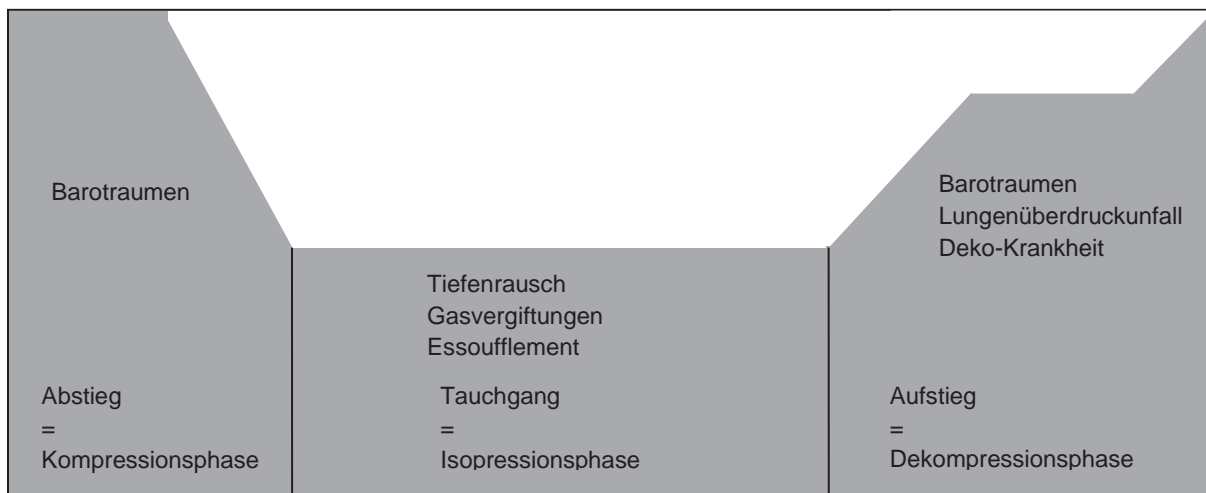


Abbildung 98: Übersicht Taucherkrankheiten (Kromp, Roggenbach & Bredebusch, 1999, S. 97)

Bei Tiefen unter 120 m (Heliox) bzw. 180 m (Trimix) kann es zu einem HPNS (High Pressure Nervous Syndrom) kommen. „Das HPNS beschreibt eine Reihe von neurologischen Auffälligkeiten, die bei Tauchgängen mit He-/O₂-Gemischen („Heliox“) in Tiefen über 100 m auftreten können. Verschiedene Erklärungsversuche machen einerseits den hydrostatischen Wasserdruck in diesen Tauchtiefen für die neurologischen Auffälligkeiten verantwortlich, andererseits aber auch die spezifische Wirkung des Inertgases Helium.“ (Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin, 2011)

Der Tiefenrausch, ausgelöst durch eine Stickstoffvergiftung, führt zu einem „Zustand eingeschränkter Wahrnehmungsfähigkeit, gestörtem Urteilsvermögen und – möglicherweise dadurch resultierenden- unlogischen Reaktionsverhalten [...].“ (Stibbe, 1997, S.160) Der Tiefenrausch zeigt im Unterschied zu anderen Tauchkrankheiten spezifische Warnsignale (metallischer Geschmack, Röhrenblick, Beklemmungsgefühle oder Kritiklosigkeit). Beim Auftreten der ersten Symptome muss sofort unter

Einhaltung der Dekompressionszeiten aufgetaucht werden, ansonsten droht der Verlust des Bewusstseins unter Wasser.

Eine Sauerstoffvergiftung ist an Augenflimmern, Übelkeit, Muskelzittern, Muskelkrämpfen und Bewusstlosigkeit zu erkennen (Stibbe, 1997). Darüber hinaus zeigt sich ein unstillbarer Hustenreiz und Schmerzen hinter dem Brustbein sowie extreme Atemnot (Kromp, Roggenbach & Bredebusch, 1999). Zwar ist das Atmen von reinem Sauerstoff unter atmosphärischem Druck unbedenklich, beim Abtauchen in zu große Tiefen und dem zunehmenden Druck entsteht jedoch eine toxische Wirkung auf den Körper (ab 1,6 bar). Mit normalen Druckgasflaschen sind solche Tauchtiefen kaum zu verwirklichen, jedoch sind mit Sauerstoffkreislaufgeräten, die deutlich mehr Sauerstoff im Atemgas enthalten, 1,6 bar schon in 7 m Tiefe erreicht. Hierzu kann eine weitere Filmszene eingesetzt werden 0:27:47 – 0:29:00 und 0:29:38 – 0:31:44, die eine Sauerstoffvergiftung bei einem der Soldaten zeigt.

Durch die zunehmende Tauchtiefe erhöht sich neben dem Sauerstoffpartialdruck auch der Druck des Stickstoffs im Lungengewebe. Um diesen Druckunterschied auszugleichen, wird der Stickstoff an das Blut abgegeben und im gesamten Körper verteilt. Der Sättigungsvorgang lässt sich mit dem Gesetz von Henry beschreiben. Beim Wiederauftauchen ist der Partialdruck des Stickstoffs höher als in der Atemluft und der gelöste Stickstoff „perlt“ aus, es entstehen Gasblasen im Körper des Tauchers, die Arterien verstopfen und die Blutzufuhr unterbrechen oder Gewebeschäden verursachen. Die Erarbeitung der Dekompressionskrankheit kann zusätzlich durch die Abschlusszene des Films 2:08:00 – 2:08:36 unterstützt werden.

Ein weiteres Thema liefert der Film durch eine Ratte, die in eine spezielle Atemflüssigkeit gehalten wird. Diese ermöglicht es ihr, Sauerstoff aus dieser Flüssigkeit zu atmen 0:18:40 – 0:20:15. Hierbei kann neben der tatsächlichen Verwendung der Flüssigatmung das Lösen von Gasen in Flüssigkeiten thematisiert werden. Die Flüssigkeitsatmung wird derzeit in klinischen Studien auf die Verwendung bei Frühgeborenen und Erwachsenen mit Lungenschäden getestet. Dabei werden Perfluorcarbone benutzt, die eine hohe Sauerstoff- sowie Kohlenstoffdioxidaffinität aufweisen (Rieger, von der Hardt, Sennhauser, Wahn & Zach, 2004).



Abbildung 99: Flüssigkeitsatmung (Abyss, Fox, 1989)



Zwei besonders dramatische Szenen 1:32:50 – 1:34:59 und 1:41:19 – 1:42:00 können einen Anker für die Beschäftigung mit dem Eistauchen liefern. Dabei gilt es insbesondere der Frage nachzugehen, ob kaltes Wasser tatsächlich Auswirkungen auf Körperfunktionen wie Herzschlag und Stoffwechsel zeigt. Eine Erklärung hierfür liefert der dem Menschen angeborene Tauchreflex. Der Tauchreflex ist eine entwicklungs geschichtlich bedingte Anpassung und ein Schutzmechanismus der Landlebewesen an das Medium Wasser. Taucht das Gesicht in kaltes Wasser ein, verlangsamt sich der Herzschlag. Die Rezeptoren liegen in der Haut des Nasen- und Rachenraums (Kromp, Roggenbach & Bredebusch 1999). *„Es handelt sich um einen Vagusreflex, der zu einer peripherem Gefäßverengung, Abfall des Herzminutenvolumens und zu einem kritischen Abfall der Pulsfrequenz führen kann“* (Stibbe, 1997, S.79)

Geo – Reportage: Apnoe – Taucher – Im Tiefenrausch

Die Geo-Reportage liefert zusätzlich zu den bereits angesprochenen Szenen weitere Erarbeitungsmöglichkeiten, z.B. den Atemreflex beim Menschen 0:10:00 – 0:10:42. Dieser Reflex ist bei geübten Tauchern deutlich ausgeprägter und wird durch Gesichtsmasken beim Tauchen behindert, so dass er beim Apnoetauchen die größte Rolle spielt. Zusätzlich ist es möglich das Phänomen des Auftriebs und seiner Veränderung mit zunehmender Tauchtiefe zu thematisieren.

Zeit	Szene	Inhalt der Filmsequenz	Fachinhalte	
0:10:00 – 0:10:42	Tauchreflex	Erklärung des Tauchreflexes, dadurch werden nur noch lebenswichtige Organe mit Sauerstoff versorgt und der Herzschlag wird verlangsamt.	Tauchreflex, das menschliche Herz	G 3
0:10:42 – 0:11:42	Mensch vs. Wal	Unterschiede beim Bau des Brustkorbs zwischen Mensch und Wal werden aufgezeigt.	Physiologie Mensch / Wal	G 4
0:14:20 – 0:14:54	Bloodshift	Der Druck auf die Lunge während eines Tauchgangs und das Bloodshift werden angesprochen.	Bloodshift	G 5
0:22:35 – 0:23:03	Auftrieb	Der fehlende Auftrieb ab einer gewissen Tiefe und die Notwendigkeit von Sicherheitstauchern werden thematisiert.	Phänomen des Auftriebs	G 6
0:20:20 – 0:20:42	Tauchgang 125 m	Der Rekordtauchgang auf 125 m bei den Frauen wird gezeigt.	Rechnungen zur Tauchtiefe	G 7

Tabelle 61: Szenenüberblick „Geo – Reportage Apnoetauchen“ II

Im Rausch der Tiefe

Neben denen in der Unterrichtseinheit bereits verwendeten Szenen bietet der Film weitere spannende Anknüpfungspunkte für den Unterricht.

Zeit	Szene	Inhalt der Filmsequenz	Fachinhalte	
0:05:37 – 0:08:00	Unglück beim Schwammtauchen	Jaques Vater taucht nach Schwämmen, sein Sohn und Freund bedienen die Pumpe, die den Vater mit Frischluft unter Wasser versorgt. Es tritt ein Pumpenfehler auf, das Seil reißt und der Vater wird in die Tiefe gerissen.	Helmtauchen	R 4
0:20:07 – 0:22:39	Eistauchen	Beim Eistauchen wird der Herzschlag von Jaques aufgezeichnet und ist stark verlangsamt.	Herz-Kreislauf-System, Eistauchen	R 5
0:51:17 – 0:53:20	Trinkgelage unter Wasser	Es findet ein gemeinsames Trinkgelage von Jaques und Enzo unter Wasser statt.	Kann man Sekt in Gläser einfüllen? Wie lange kann man die Luft anhalten?	R 6
1:10:14 – 1:17:09	Wettkampf II	Der Ablauf des Wettkampfs wird erklärt, dabei sieht man an der 60 m Marke Taucher mit Gasflaschen. Die Abtauch- bzw. Auf-tauchphasen werden angesprochen.	Tauchgase, Phasen eines Tauchgangs	R 7
1:40:00 – 1:44:00	Wettkampf V	Der Wettkampf soll abgebrochen werden, da die betreuenden Mediziner Bedenken haben. Enzo ist versessen den Rekord zu knacken und taucht trotzdem. Enzo kommt leblos wieder nach oben, ist noch ansprechbar, will wieder in die Tiefe.	Tiefenrausch	R 8
1:53:00 bis Ende	Wahnvorstellungen	Nach dem Rekordtauchgang von Jaques folgen in der Nacht Wahnvorstellungen, Blut kommt aus Ohren und Nase. Wahnhafte fährt er aufs Tauchboot hinaus und taucht ab. Er wird diesen Tauchgang nicht überleben.	Tiefenrausch	R 9

Tabelle 62: Szenenüberblick "Im Rausch der Tiefe" II

Der tragische Unfall von Jaques Vater beim Schwammtauchen 0:05:37 – 0:08:00 liefert einen möglichen Einstieg in die Erarbeitung historischer Tauchvarianten. Dabei ist es möglich, neben den Helmtauchgeräten, die Taucherglocken zu thematisieren.

Eine zylindrische Taucherglocke 4 m hoch und 2 m Durchmesser wird in das Wasser abgelassen.

- a) Wie lange kann ein Taucher darin ohne Frischluftzufuhr ausharren? Ein CO₂-Anteil ab 5 % verursacht Schwindel, ab 8 % den Tod. Der O₂-Gehalt darf 15 % nicht unterschreiten.

Die Taucherglocke wird auf 20 m Tiefe abgesenkt.

- b) Welcher Druck lastet auf der Glocke in dieser Tiefe
c) Wie viel Wasser dringt in die Glocke ein, wenn sie nicht von außen während des Abtauchvorgangs mit Luft gefüllt wird?
d) Berücksichtige, dass sich das Wasser in 20 m Tiefe auf 10 °C abgekühlt hat.

Abbildung 100: Rechenanlässe Taucherglocke

Auch im „Rausch der Tiefe“ liefert eine Filmszene anhand derer der Tauchreflex beim Menschen angesprochen werden kann.

An zwei weiteren Stellen (1:40:00 – 1:44:00 und 1:53:00 bis Ende) kann der Tiefenrausch und seine Auswirkungen verdeutlicht werden.

James Bond – 007 jagt Dr. No

James Bond jagt Dr. No kam 1963 in die britischen Kinos und war der endgültige Durchbruch der James Bond – Reihe weltweit. James Bond wird im Auftrag ihrer Majestät von England nach Jamaika geschickt um den verschwundenen MI6-Agenten John Strangways zu suchen sowie die Ursache für abgelenkte Raketen aus Cape Canaveral zu finden und zu beheben. Die Suche führt James Bond zum Minenbesitzer Dr. No, der sich als Wissenschaftler der Verbrecherorganisation S.P.E.C.T.R.E. entpuppt. Er erzeugt mit einem riesigen Atomreaktor Störwellen, die die Raketen von ihrem Kurs abbringen. James Bond lehnt die ihm angebotene Mitgliedschaft in der Organisation ab und zieht damit den Zorn Dr. Nos auf sich. Es kommt zum Kampf bei dem Bond den Atomreaktor zerstört und seinen Widersacher eliminiert.

Zeit	Szene	Inhalt der Filmsequenz	Fachinhalte	
1:06:32 – 1:07:58	Schilfrohr-schnorchel	James Bond schneidet Schilfrohr von ca. 50 cm ab und kann sich so unter Wasser vor seinen Feinden verstecken.	Schnorcheltauchen	N 1

Tabelle 63: Szenenüberblick "James Bond jagt Dr. No"

Die Länge des Schnorchels unterliegt beim Schnorcheltauchen bestimmten Vorschriften. Ein Schnorchel darf bei Erwachsenen höchstens 35 cm (bei einem Innendurchmesser von 18-25 mm), bei Kindern 30 cm (bei einem Innendurchmesser von 15-18 mm) betragen, da sonst die Gefahr einer Pendelatmung und dadurch die Gefahr der CO₂ - Anreicherung besteht (Stibbe, 1997, S.180). Das Tauchen mit einem überlangen Schnorchel kann deshalb lebensgefährlich werden. Bereits eine effektive Schnorchellänge von 60 cm führt nach einer Tauchzeit von 5 min zu bleibenden Gesundheitsschäden durch Blut-

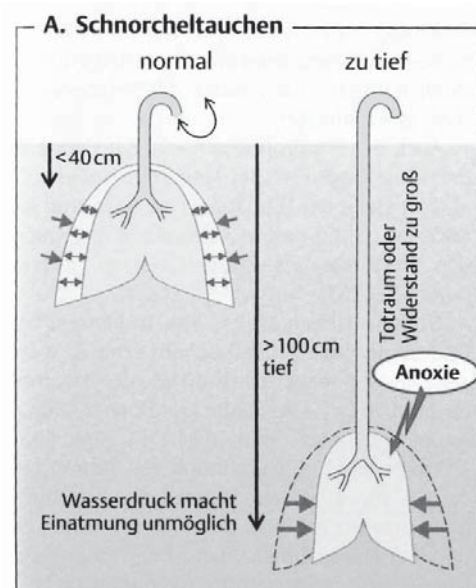


Abbildung 101: Schnorcheltauchen (Silbernagl 2003, S. 135)

rückstau und Überdehnung des Herzmuskels. Die Ursache dafür entspricht dem an der Wasseroberfläche zunehmenden Druck, da beim Atmen durch einen Schnorchel der Druck im Lungeninneren dem der Wasseroberfläche, also ca. 1 bar Umgebungsdruck entspricht, während die Körperflüssigkeit bereits unter dem höheren Druck des uns umgebendem Wassers steht (Silbernagl, 2003). Bei 30 cm Schnorchellänge und 20 cm Abstand von Mund bis Brustkorb, also 50 cm Wassertiefe, muss bereits gegen einen Unterdruck von 0,05 bar = 5 kPa eingeatmet werden.

Bei der Einatmung kann der Körper lediglich einen Maximalsog von 11 kPa aufbringen, das entspricht einer Wassertiefe von 112 cm, danach ist eine Einatmung aufgrund der Druckverhältnisse unmöglich (Silbernagl, 2003, S. 134).

4.7.2 Weitere Experimente aus dem Themengebiet Tauchen

V33: Schnorcheltaucher „James Bond jagt Dr. No“

Geräte und Chemikalien: Plexiglasrohr (h = 20 cm, d = 8 cm), 2 Stopfen (einer vierfach durchbohrt), 2 gebogene Glasrohre (l = 27 cm, l = 10 cm), Glasrohr mit Hahn, Glasrohr (l = 10 cm), Stopfen zum Verschließen der Glasrohre, Stoppuhr, Kolbenprober 100 mL, unterschiedlich lange Silikonschläuche als „Schnorchel“ (l = 60 cm bis 150 cm), Teelicht

Durchführung und Beobachtung: Der Versuch wird der Abbildung entsprechend aufgebaut. Die brennende Kerze wird in das Reaktionsgefäß gestellt und dieses verschlossen. Nun werden mit Hilfe des Kolbenprobers jeweils 100 mL Luft aus dem Reaktionsgefäß gezogen (dadurch wird „frische“ Luft durch das offene Glasrohr in das Reaktionsgefäß gesaugt). Anschließend wird die Luft im Kolbenprober wieder in das Reaktionsgefäß zurückgedrückt. So kann die Kerze durch den Schnorchel mit Frischluft versorgt werden. Um die maximale Schnorchellänge festzustellen, setzt man auf das Ableitungsrohr verschieden lange Silikonschlauchstücke. Dabei zeigt sich, dass ein Schlauchstück von 75 cm die begrenzen- de Länge für diesen Versuchsaufbau darstellt.

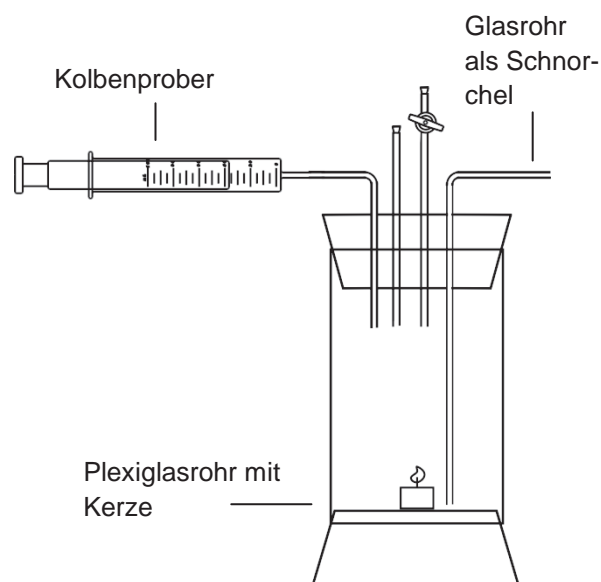


Abbildung 102: Schemazeichnung Schnorcheltaucher



Erklärung und Interpretation: Durch das Heraussaugen von 100 mL Luft mit Hilfe des Kolbenprobers werden 100 mL „frische“ Luft durch das offene Glasrohr (Schnorchel) nachgezogen, wodurch der Kerze einerseits zusätzlich Sauerstoff zur Verfügung steht und zum anderen ein Anreichern von Kohlenstoffdioxid verhindert wird. Dieser stetige Luftaustausch ermöglicht ein längeres Brennen der Kerze im Reaktionsgefäß. Variiert man die Länge des Silikonschlauchstücks (Schnorchel), so ist ab einer Schlauchlänge von 75 cm der Luftaustausch nicht mehr gegeben und die Kerze erlischt nach kurzer Zeit. Es kommt zu einer Pendelatmung ohne Frischluftzufuhr. Der Sauerstoffgehalt nimmt ab und der Anteil an Kohlenstoffdioxid steigt an.

Um ohne gesundheitlichen Auswirkungen tiefer tauchen zu können, ist man auf die Verwendung komplexerer Gerätschaften, wie Druckgasflaschen, Taucherglocken, Helmtauchgeräten oder Rebreathern angewiesen.

V34: Tauchen mit Drucklufttauchgerät

Geräte und Chemikalien: Plexiglasrohr (l = 20 cm, d = 8 cm) mit passenden Stopfen (einer vierfach durchbohrt), gebogenes Glasrohr (l = 10 cm), 2 Glasrohre (l = 27 cm, l = 10 cm) mit Hahn, durchbohrter Stopfen, Bohrkern zum Verschließen eines Glasrohrs, Glasrohr (l = 10 cm), Luftballon, Gaswaschflasche mit Fritte, Kolbenprober mit Hahn 250 mL, Gaswaschflasche mit Fritte, Stoppuhr, Teelicht, Wasser

Durchführung und Beobachtung: Der Versuch wird der Abbildung entsprechend aufgebaut.

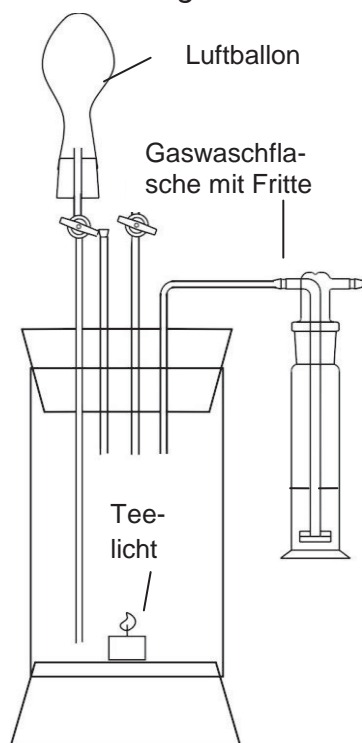


Abbildung 103: Schemazeichnung Taucherflasche

Der Luftballon wird mit 500 mL Luft gefüllt und in den Versuchsaufbau integriert. Nun wird die entzündete Kerze in den Reaktionsraum gestellt und dieser verschlossen. Anschließend wird der Hahn des Luftballons leicht geöffnet, so dass ein moderater Gasblasenstrang an der Fritte entsteht.

Die Kerze brennt deutlich heller und länger als eine Kerze ohne externe Luftzufuhr.

Erklärung und Interpretation: Durch die Zufuhr von Frischluft wird entstehendes Kohlenstoffdioxid aus dem Reaktionsraum entfernt und laufend Sauerstoff zur Verfügung gestellt. Dadurch kann die Brenndauer der Kerze verlängert werden. Wie bei einem Drucklufttauchgerät auch, liegt jedoch keine effektive Nutzung des Sauerstoffs vor, da dieser ebenfalls aus dem Reaktionsraum weitgehend ungenutzt entweicht. Ein weiterer Nachteil ist das sichtba-

„Abyss“

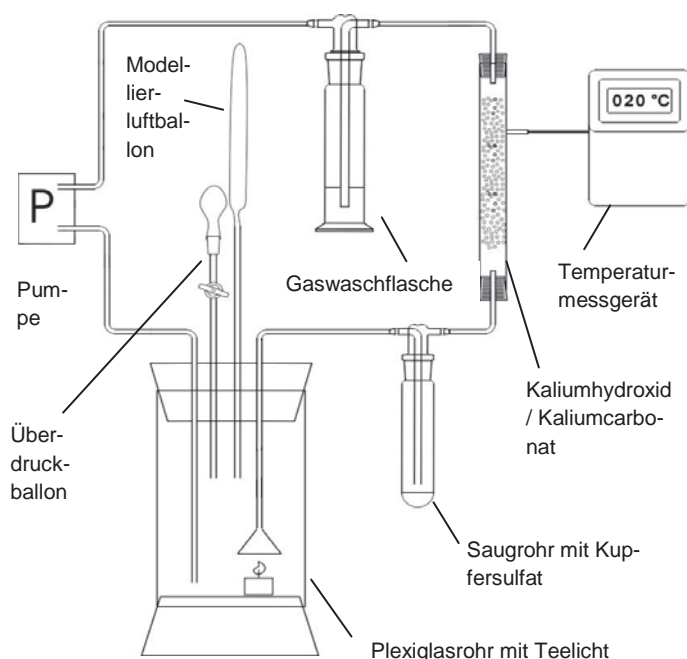
re Aufsteigen von Gasblasen durch das Ausatmen, was insbesondere die militärische Nutzung dieser Tauchausrüstung einschränkt.

Das Ziel den vorhandenen Sauerstoff möglichst vollständig zu nutzen sowie die aufsteigenden Gasblasen zu verhindern, führte zur Entwicklung der Kreislaufatemsysteme (Rebreather).

V35: Tauchen mit Kreislaufatmegerät / geschlossener Rebreather (externe Atemgaszufuhr und Kalkabsorber)

Geräte und Chemikalien: Pumpe SCHEGO M2K3 (Leistung 350 L/h), Digitalthermometer mit Temperaturfühler (optional), 2 Schlaucholiven, Gaswaschflasche, Schliffklammer 29/32, Plexiglasrohr (l = 20 cm, d = 8 cm) mit 2 Stopfen (einer vierfach durchbohrt), Glastrichter, 3 gebogene Glasrohre (l = 27 cm, l = 12 cm, l = 10 cm), Glasrohr mit Hahn, durchbohrter Stopfen, Glasrohr (l = 10 cm), Klammer (zum Verschließen des Atemgasballons, z.B. Frischhaltebeutelklammer), Modellierluftballon, Luftballon, Siliconschlauchmaterial (d = 5 mm und d = 8 mm), Kühlfinger, Laborboy, Stativmaterial, Stoppuhr, Quarzrohr (l = 20 cm, d = 2 cm) mit entsprechenden durchbohrten Stopfen, zwei kurze Glasrohre, Kolbenprober 250 mL, Pulverglastrichter, Glaswolle, 7,5 g Kaliumhydroxid (GHS 05, ätzend; GHS 03 Gefahr), 1,5 g Kaliumcarbonat (GHS 07, Achtung), Teelicht, Universalindikatorlösung, Kupfersulfat (GHS 07, Achtung; GHS 09, umweltgefährlich).

Durchführung und Beobachtung: Die Apparatur wird der Abbildung entsprechend aufgebaut.



In den Modellierballon werden mit Hilfe des Kolbenprobers 500 mL Sauerstoff gefüllt, dieser mit einer Klammer verschlossen und auf das Glasrohr gestülpt. In das Saugrohr kann wasserfreies Kupfersulfat als Nachweisreagenz gegeben werden. Anschließend werden 1,5 g Kaliumcarbonat und 7,5 g Kaliumhydroxid vermischt, in das Quarzglasrohr gefüllt und in den Versuchsaufbau integriert. Die Pumpe wird in Betrieb genommen (mittlere Pumpgeschwindigkeit) und die brennende Kerze im Reaktionsgefäß entsprechend platziert. Der

Abbildung 104: Schemazeichnung Druckluftflasche



Stopfen wird fest verschlossen und die Klammer des Sauerstoffballons gelöst. Dabei muss das Reaktionsgefäß fest auf den Stopfen gedrückt werden, so dass der kurzzeitige Überdruck nicht den Stopfen löst. Nun wird die Stoppuhr gestartet. Nach ca. 30 Sekunden wird der Hahn zum Überdruckluftballon vorsichtig geöffnet.

Nach kurzer Zeit sind eine Erwärmung des Kaliumhydroxid-Gemisches sowie die Bildung von Reaktionswasser (weißes Kupfersulfat verfärbt sich blau) zu beobachten. Der sauerstoffgefüllte Modellierballon nimmt kontinuierlich an Volumen ab. Die Kerze erreicht eine Brenndauer von bis zu 6 min. Die Universalindikatorlösung zeigt keine Verfärbung.

Erklärung und Interpretation: Durch den Sauerstoffballon wird der Kerze kontinuierlich Sauerstoff für die Verbrennung zur Verfügung gestellt. Dieser kann aufgrund des geschlossenen Systems nicht entweichen.

Das von der Kerze bei der Verbrennung produzierte Kohlenstoffdioxid wird durch Kaliumhydroxid gebunden und aus dem Reaktionsraum entfernt. Das im Gemisch enthaltene Kaliumcarbonat verhindert die Verklumpung des KOH-Pulvers, wodurch die Luft im Reaktionsraum durch das KOH/K₂CO₃ - Gemisch gepumpt werden kann.



Die verlängerte Brenndauer der Kerze ist hauptsächlich auf die effektivere Sauerstoffnutzung zurückzuführen. Die in den Reaktionskreislauf integrierte Gaswaschflasche mit Universalindikatorlösung dient als Kontrolle für die Kohlenstoffdioxidabsorption.

Um die Brenndauer der Kerze von 6 min einschätzen zu können, kann das folgende Experiment eingesetzt werden, um die für die nachfolgenden stöchiometrischen Berechnungen notwendige Massenabnahme eines brennenden Teelichts zu bestimmen.

V36: Ermittlung des durchschnittlichen Massenumsatzes beim Abbrennen eines Teelichts

Geräte und Chemikalien: Waage, Stoppuhr, Teelicht

Durchführung und Beobachtung: Ein Teelicht wird auf eine Waage gestellt, die Masse notiert und die Kerze anschließend entzündet. Gleichzeitig mit dem Entzünden wird die Stoppuhr gestartet. 30 Minuten lang wird alle 30 Sekunden die Masse abgelesen und notiert (eine geringere Messdauer ist möglich). Nach dem Entzünden der Kerze nimmt die Masse des Teelichtes kontinuierlich ab. Nach 1800 Sekunden sind 1,96 g Wachs verbraucht worden.

„Abyss“

Erklärung und Interpretation: Das Paraffin des Teelichts verbrennt mit Hilfe des Luftsauerstoffs zu Kohlenstoffdioxid und Wasser. Das entstehende Wasser (Wasserdampf) und das Kohlenstoffdioxid entweichen in die Umgebung, damit

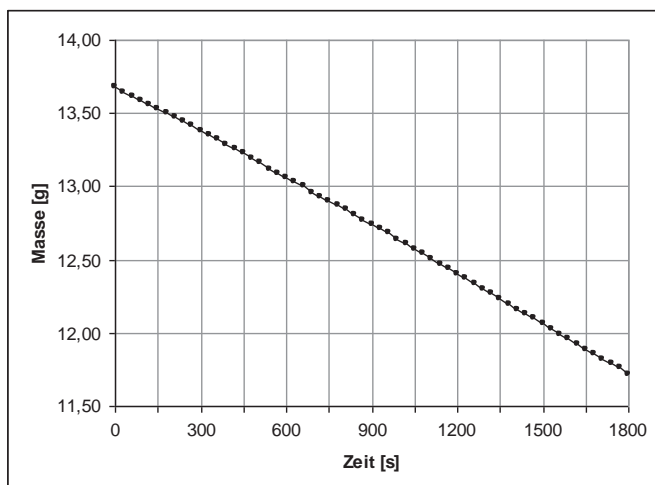


Abbildung 105: Durchschnittlicher Massenverlust eines Teelichts

nimmt die Masse des Teelichtes kontinuierlich ab.

Die graphische Auswertung der Messwerte zeigt, dass das Abbrennen eines Teelichtes mit einem Massenverlust von ca. 32,67 mg/min einhergeht.

Beim Kerzenparaffin handelt es sich i.d.R. um ein Gemisch aus langkettigen Alkanen (C₁₇ bis C₃₀).

Die nachfolgende Berechnung soll beispielhaft für die Verbrennung von Heptadekan durchgeführt werden: Die Molare Masse von C₁₇H₃₆ beträgt 240 g/mol.

In 1800 Sekunden werden (13,68 g - 11,72 g) 1,96 g Teelicht verbraucht. Dies entspricht demnach einer Stoffmenge von $8,16 \cdot 10^{-3}$ mol.



Nach der Reaktionsgleichung werden durch 1 Mol C₁₇H₃₆ 17 Mol CO₂ freigesetzt, das heißt in 1800 s werden 0,14 ($8,16 \cdot 10^{-3} \cdot 17$) Mol CO₂ frei. Geht man davon aus, dass 1 Mol CO₂ einem Volumen von 22,4 L entspricht, entstehen 3,14 L Kohlenstoffdioxid in 30 min.

In 6 min Brenndauer setzt die Kerze somit 0,63 L Kohlenstoffdioxid frei, um dies zu binden sind 3,15 g Kaliumhydroxid notwendig.

In 6 min werden 0,95 L Sauerstoff zur Umsetzung von Paraffin verbraucht.

Heute wird neben früher gebräuchlichem Kalium-, Barium-, und Lithiumhydroxid oft Natriumhydroxid sowie Calciumhydroxid aufgrund der geringeren Kosten bei hoher Kohlenstoffdioxid-speicherkapazität verwendet.



	Molare Masse	Speicherkapazität je 100g Substanz	Kosten je 100 g
Lithiumhydroxid	23,95 g/mol	46,76 L	19,80 ¹ €
Kaliumhydroxid	56,11 g/mol	19,96 L	2,40 €
Bariumhydroxid	171,34 g/mol	13,07 L	15,20 €
Natriumhydroxid	39,99 g/mol	28,00 L	5,90 €
Calciumhydroxid	74,10 g/mol	30,22 L	5,08 €

Tabelle 64: Vergleich von in Atemmasken verwendeten Hydroxiden

V37: Die Reaktion von Natriumhydroxid mit Kohlenstoffdioxid

Geräte und Chemikalien: Stativmaterial, 2 Kolbenprober 100 mL, 2 kurze Schlauchstücke, Quarzrohr, Glastrichter mit Schlauchstück, Spatel, Uhrglas, Waage, Digital-Thermometer mit Temperaturfühler, Mörser und Pistill, Glaswolle (GHS 08, Achtung), Kohlenstoffdioxid (GHS 04, Achtung), Natriumhydroxid (GHS 05, ätzend; GHS 06, Gefahr)

Durchführung und Beobachtung: 0,2 g Natriumhydroxid werden abgewogen (stöchiometrisch notwendig sind 0,18 g) und in ein Glasröhrchen gefüllt. Im Anschluss daran wird ein Kolbenprober mit 100 mL Kohlenstoffdioxid gefüllt und das Quarzglasröhrchen zwischen zwei Kolbenprobern positioniert. Nun leitet man das Kohlenstoffdioxid gleichmäßig über das Natriumhydroxid. Dabei zeigen sich im Röhrchen eine deutliche Wasserentwicklung sowie ein Anstieg am Digitalthermometer.

Erklärung und Interpretation: Das Kohlenstoffdioxid wird in einer exothermen Reaktion unter Bildung von Wasser und Natriumcarbonat durch Natriumhydroxid gebunden.

V38: Die Reaktion von Natriumhydroxid und Kohlenstoffdioxid - Abwandlung

Geräte und Chemikalien: 2 Erlenmeyerweithalskolben 100 mL, 2 Luftballons, Natriumhydroxid, bzw. Kaliumhydroxid (GHS 05, ätzend; GHS 06, Gefahr) oder Lithiumhydroxid, Kohlenstoffdioxid (GHS 04, Achtung)

Durchführung und Beobachtung: In einen der beiden Erlenmeyerkolben wird das Pulver gegeben, der andere bleibt als Vergleichsprobe leer. Anschließend werden zwei Luftballons mit Kohlenstoffdioxid gefüllt und auf den Erlenmeyerkolben gestülpt. Der Erlenmeyerkolben wird vorsichtig geschwenkt, dabei lässt sich beim Hydroxid

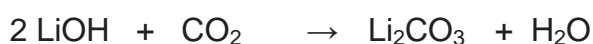
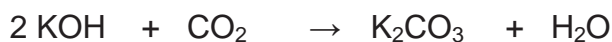
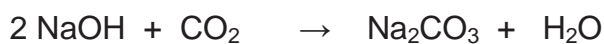
¹ Preise Hedinger Online-Katalog, letztmals abgerufen am 06.12.2011



„Abyss“

eine deutliche Volumenabnahme des Luftballons erkennen, der Erlenmeyerkolben erwärmt sich, am Glas sind Wassertropfen zu erkennen.

Erklärung und Interpretation: Das Kohlenstoffdioxid wird durch das Hydroxid unter Bildung des entsprechenden Carbonats und Wasser in einer exothermen Reaktion gebunden.



V39: Atemluftaufbereitung durch LiOH bzw. KOH

Geräte und Chemikalien: 2 Gaswaschflaschen, Schlauchmaterial, Glasröhrchen, Quarzglasrohr (Durchmesser 2 cm), 2 passende durchbohrte Gummistopfen, Kolbenprober 100 mL, Ventil, 2 Glasröhrchen, Uhrgläschen, Spatel, Pulvertrichter, 2 g KOH bzw. LiOH (GHS 05, ätzend; GHS 06, Gefahr), Glaswolle (GHS 08, Achtung), Universalindikator, Wasser

Durchführung und Beobachtung: In beide Gaswaschflaschen werden 100 mL Wasser gefüllt und mit 20 Tropfen Universalindikatorlösung versetzt. In eine der beiden Gaswaschflaschen wird durch einen Siliconschlauch ausgeatmet. Durch das Einsetzen eines Ventils kann das Zurückziehen der Atemluft durch die Schülerinnen und Schüler verhindert werden. Bereits nach dem ersten Ausatmen ist die Universalindikatorlösung gelb gefärbt. Auf der Waage werden anschließend 2 g Lithiumhydroxid bzw. Kaliumhydroxid abgewogen und in das Quarzglasrohr gefüllt. Die Enden werden mit Glaswolle verschlossen und die Stopfen mit Glasröhrchen aufgesetzt. Im Anschluss wird durch das Quarzglasröhrchen in die Universalindikatorlösung ausgeatmet. Es zeigt sich hierbei keine Verfärbung des Indikators.

Erklärung und Interpretation: Das im Ausatem enthaltene Kohlenstoffdioxid wurde durch Lithium-, bzw. Kaliumhydroxid gebunden.

V40: Atemregeneration durch Kaliumhyperoxid

Geräte und Chemikalien: 2 Gaswaschflaschen, Quarzglasrohr (d= 2 cm, l=8 cm), , Uhrglas, Spatel, Pulvertrichter, Ventil, Schlauchmaterial, 2 kurze Glasröhrchen, Wasser, Universalindikator, 2 g Kaliumhyperoxid (GHS 05, ätzend; GHS 03, Gefahr), Glaswolle (GHS 08, Gefahr)

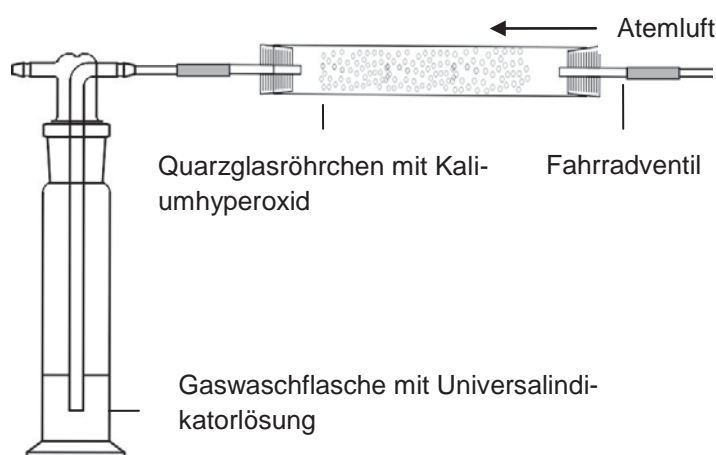


Durchführung und Beobachtung: Beide Gaswaschflaschen werden mit 100 mL Wasser und 20 Tropfen Universalindikatorlösung versetzt.

In eine der beiden Gaswaschflaschen wird mit Hilfe des Gummischlauchs kohlenstoffdioxidreiche Ausatemluft gepustet. Schon nach einmaligem Ausatmen verfärbt sich der Universalindikator gelb. Um ein Einatmen durch den Schlauch zu verhindern, kann ein Ventil an den Schlauch gesetzt werden.

Anschließend werden 2 g KO_2 abgewogen und in das Quarzglasrohr gefüllt. Das Röhrchen wird von beiden Seiten mit Glaswolle verschlossen und die Stopfen mit Glasröhrchen aufgesetzt.

Der Versuch wird der Abbildung entsprechend aufgebaut. Beim Ausatmen in den Schlauch bleibt die Universalindikatorlösung grün, es zeigt sich jedoch eine Veränderung am Kaliumhyperoxid. Deutlich sind Reaktionszonen an der orangefarbenen Verfärbung zu erkennen.



Verschließt man nach dem Ausatmen den Schlauch mit dem

Abbildung 106: Schemazeichnung Atemregeneration durch Kaliumhyperoxid

Finger, kann man im Steigrohr der Saugflasche die Entstehung von Sauerstoff durch das Auftreten von Gasblasen erkennen.

Erklärung und Interpretation: Das in der Ausatemluft enthaltene Kohlenstoffdioxid wird durch Kaliumhydroxid gebunden.



Kaliumhyperoxid kann neben der Demonstration der Verwendung in Atemmasken für die Erarbeitung eines weiteren Fachinhalts genutzt werden.

Der Paramagnetismus des Sauerstoffs im Grundzustand der Moleküle ist ein faszinierendes Phänomen, welches durch ein einfaches Experiment mit Kaliumhyperoxid ohne großen Aufwand demonstriert werden kann (Kunze & Oetken, 2009).

V41: Paramagnetismus von Kaliumhyperoxid

Geräte und Chemikalien: Stativmaterial, Bunsenbrenner, Glaskapillare zur Bestimmung der Schmelztempe-



Abbildung 107: Neodymmagnet, Kantenlänge 12 mm

„Abyss“

ratur (Durchmesser 1,5-1,8 mm, Länge 90 mm), Baumwollfaden, Uhrglas, Spatel, Neodymmagnet, Kaliumhyperoxid (GHS 03, Gefahr; GHS 05, ätzend)

Durchführung und Beobachtung: Zu Beginn des Versuches wird das Kaliumhyperoxid in eine Glaskapillare eingeschmolzen. Zu diesem Zweck wird etwas Kaliumhyperoxidpulver auf ein Uhrglas gegeben und die Kapillare mit der offenen Seite mehrmals in das Pulver getippt. Anschließend wird sie mit der verschlossenen Seite nach unten moderat auf eine geeignete Unterlage aufgeschlagen, so dass sich das Pulver im unteren Teil der Glaskapillare sammelt. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis sich ca. 1,5 cm hoch Pulver in der Glaskapillare befindet. Danach wird die Kapillare mit einem Tuch gesäubert, auf ca. 3,5 cm gekürzt und anschließend vorsichtig am oberen Ende über der Bunsenbrennerflamme zugeschmolzen.

Mit Hilfe eines Nylonfadens (Länge ca. 80 cm) wird die Probe an einem Stativ befestigt. Nähert man nun mit den Magneten bis auf etwa 1 cm der Probe, wird diese deutlich angezogen.

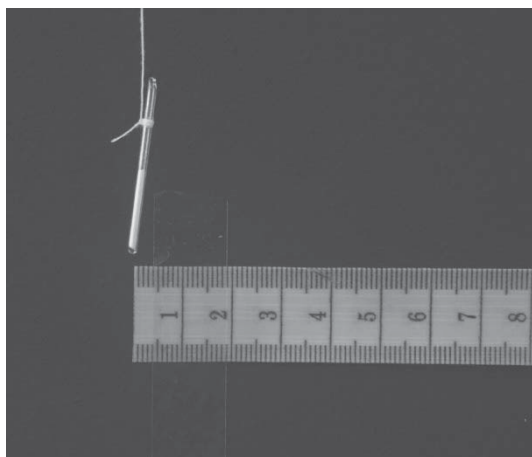


Abbildung 108: Kaliumhyperoxid in Glaskapillare, frei hängend

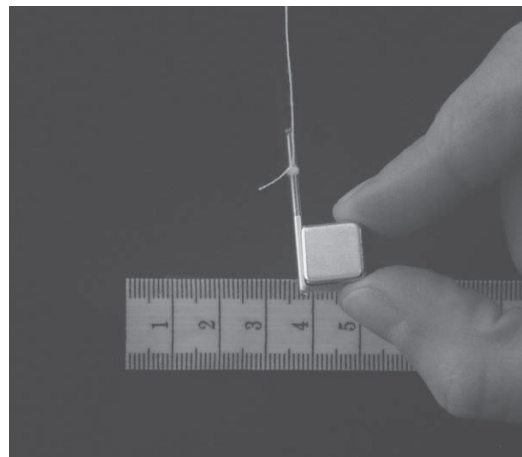


Abbildung 109: Kaliumhyperoxid im Magnetfeld eines Neodymmagneten

Erklärung und Interpretation: Obwohl nur ein ungepaartes Elektron im Hyperoxid-Anion vorliegt, kommt der Paramagnetismus deutlich zum Ausdruck.

Insofern ist dieses Experiment eine schöne, einfach zu realisierende Alternative zu entsprechenden Experimenten mit flüssigem Sauerstoff.

V42: Die Reaktion von Lithiumperoxid mit Kohlenstoffdioxid mit gaschromatographischer Untersuchung

Geräte und Chemikalien: Stativmaterial, 2 Kolbenprober 100 mL, 2 kurze Schlauchstücke, Quarzrohr, Glastrichter mit Schlauchstück, Spatel, Uhrglas, Waage, Digital-

Thermometer mit Temperaturfühler, Föhn, Glaswolle (GHS 08, Achtung), Kohlenstoffdioxid (GHS 04, Gefahr), Lithiumperoxid (GHS 03, Gefahr; GHS 05, ätzend), AK LowCost GC 04 mit Zubehör (Säule Nr. 4, schwarzer Kabelbinder, Chromosorb 102, 60-80 msh, 0,80 m)

Durchführung und Beobachtung: Etwa 0,35 g Lithiumperoxid werden auf der Schnellwaage abgewogen und mit Hilfe eines Glastrichters in ein Glasröhrchen gegeben. Das Glasröhrchen

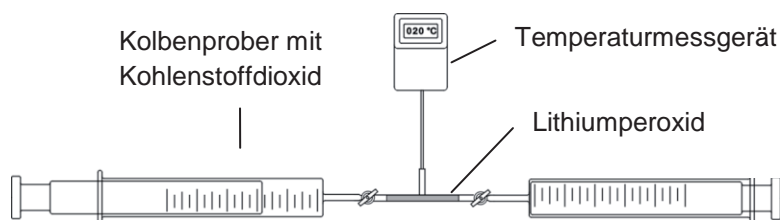
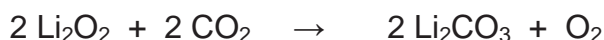


Abbildung 110: Versuchsaufbau Lithiumperoxid und Kohlenstoffdioxid

wird auf beiden Seiten mit Glaswolle verschlossen. In einen der beiden Kolbenprober werden 50 mL Kohlenstoffdioxid aus der Gasflasche eingeleitet. Nach diesen Vorbereitungen wird das Glasröhrchen mit dem Föhn auf ca. 100 °C erhitzt und anschließend das Kohlenstoffdioxid über das Lithiumperoxid geleitet.

Erklärung und Interpretation: Im Kolbenprober ist eine Volumenabnahme zu beobachten, die durch die Reaktionsgleichung verständlich wird.



Die Abbildung zeigt nach ca. 40 Sekunden einen deutlichen Sauerstoffpeak. Die Reaktion läuft nicht vollständig ab. Maßgeblich ist hier eine gleichmäßige Erwärmung des Pulvers auf 100 °C. Je vollständiger die Reaktion abläuft, desto geringer sind die Kohlenstoffdioxidrückstände.

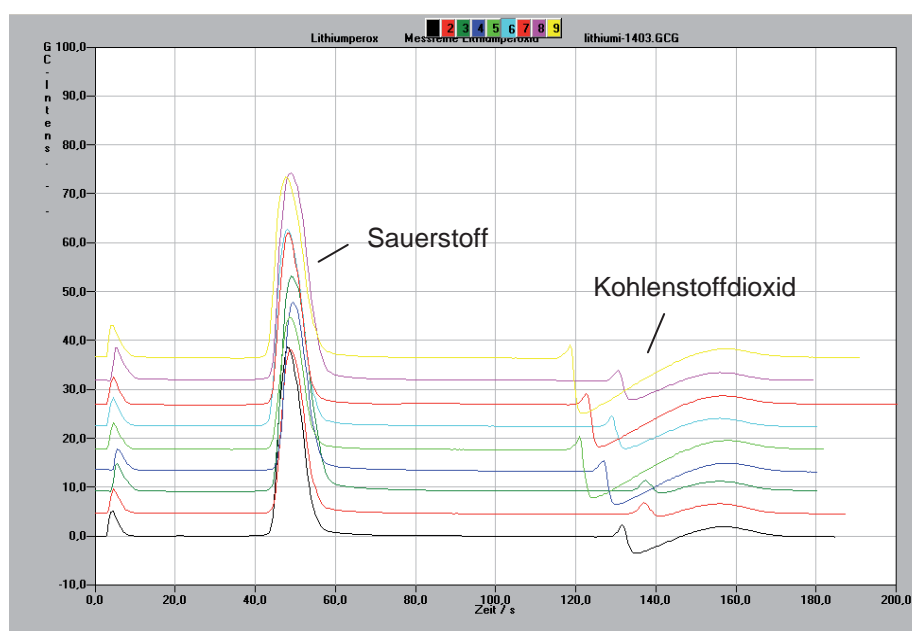


Abbildung 111: Gaschromatogramm Lithiumperoxid (10 Messungen)



4.8 Die Chemie der Dauerwelle – Eine Unterrichtseinheit zur Festigung der Redoxchemie für die Sekundarstufe II

4.8.1 Fachwissenschaftliche Hintergründe zum Themengebiet Dauerwelle

Das Bestreben der Menschen glatte Haare in Locken zu verwandeln ist alt, bereits im 17. und 18. Jahrhundert wurden Haare dauerhaft gewellt. Damals handelte es sich jedoch um Perückenhaare, die auf Kraushölzer gewickelt und mehrere Stunden in einer alkalischen Lösung gekocht wurden. Dieses Verfahren eignete sich nicht für die Anwendung bei Kopfharen.

Die Dauerwelle wie wir sie heute kennen, geht auf Karl Ludwig Nessler zurück. Er entwickelte 1906 die Heißdauerwelle. Dabei wurden die Haare mit einer alkalischen Lösung befeuchtet und anschließend auf Brennscheren spiralförmig aufgedreht.

1941 wurde in Amerika, 1948 in Deutschland diese umständliche und auch strapazierende Heißwelle von der Kaltwelle abgelöst. Hierbei besteht das Wellmittel aus einer alkalischen, reduzierenden Entwicklerlösung. Nachbehandelt wird mit einer oxidierenden Fixierlösung im sauren Bereich (Attenberger & Schultz-Paasch, 2008).

Um die Prozesse bei einer Dauerwelle besser nachvollziehen zu können, ist es unabdingbar den biologischen bzw. chemischen Aufbau des Haares zu betrachten.

„Für den Proteinchemiker ist ein Haar ein Skleroprotein bestehend aus Keratinen mit L-Helix-Struktur [...] die viel L-Cystein und L-Cystin enthalten. Ein Textilchemiker reiht menschliche Haare mit Schafswolle und anderen Haaren wie Mohair und Kaschmir in die Klasse der Naturfasern tierischen Ursprungs ein. Für den Kosmetikchemiker stellt das Haar ein breites Anwendungsgebiet für Pflege-, Haarverformungs-, Blondier- und Färbemittel dar.“ (Pfeifer, 2003, S.114)

Unsere Haare gehören neben Drüsen und Fuß- sowie Fingernägeln zu den Anhangsorganen der Haut (Lenz, 1994). Die meisten Menschen besitzen zwischen 80.000 und 120.000 Kopfhare, Frauen etwas mehr, die meisten Männer etwas weniger. Haare bestehen aus einem Haarschaft, der aus der Haut herausragt und einer in der Haut verankerten Haarwurzel. Am Ende der Haarwurzel sitzt die knollige Haarzwiebel. Diese ist in der Haut befestigt und gibt dem Haar den Halt. In den Haarwurzeln ist die lebende Zone, hier wächst das Haar, es finden die Zellteilungen statt und dieser Teil wird mit Blut versorgt. Im oberen Teil der Wurzel liegen die Talgdrüsen und der Haarsträubemuskel, der auf Kälte und Gefühlsregungen reagiert, aber nicht willentlich angesprochen werden kann. Die Haarwurzeln sind von Nervenfasern umgeben, die dafür verantwortlich sind, dass das Ziehen an den Haaren schmerzhaft ist.



Der Haarschaft, den wir eigentlich meinen, wenn wir von Haar reden, ist verhorntes, totes Gewebe. Der innere Teil des Haares wird Haarmark (Medulla) genannt; umgeben ist er von der Ringsubstanz (Cortex), welche wiederum umlagert ist von der äußersten Schicht des Haares, der Schuppenschicht (Kutikula).

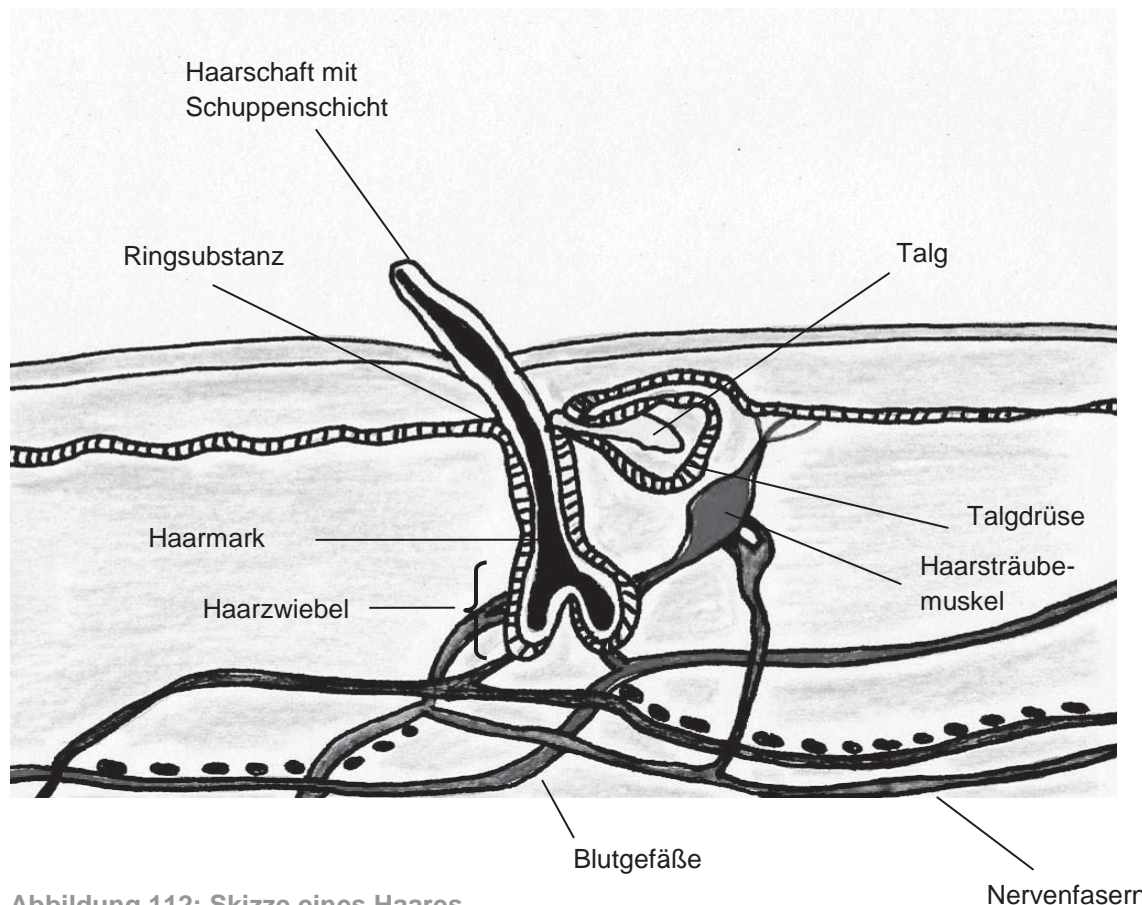


Abbildung 112: Skizze eines Haares

Für die Dauerwelle interessant ist lediglich der „tote“ Bereich des Haares, der Haarschaft. Chemisch betrachtet besteht das Haar hauptsächlich aus den Elementen Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Schwefel. Der hohe Schwefelgehalt in den Haaren lässt sich auf einen hohen Gehalt an Cystin zurückführen (Zahn, 1989).

Elementaranalyse von gereinigtem und getrocknetem Haar

Kohlenstoff	45,2 %
Wasserstoff	6,6 %
Sauerstoff	27,9 %
Stickstoff	15,1 %
Schwefel	5,2 %
Asche	0,3 – 0,9 %

Tabelle 64: Elementaranalyse eines Haares (Zahn, 1989, S. 142)



Haare sind aus Keratinen aufgebaut, die aus 20 verschiedenen Aminosäuren bestehen. „Obwohl es mehr als fünfhundert natürlich vorkommende Aminosäuren gibt, bestehen die Proteine aller Organismen, von den Bakterien bis zum Menschen, zum überwiegenden Teil aus nur zwanzig verschiedenen Aminosäuren.“ (Vollhardt, 2005, S.1372). Aminosäuren sind Carbonsäuren, die eine Aminogruppe enthalten. Diese Aminosäuren sind in menschlichen und tierischen Proteinen zu finden, da sie genetisch codiert sind.

Sie unterscheiden sich durch die Art ihres Restes.

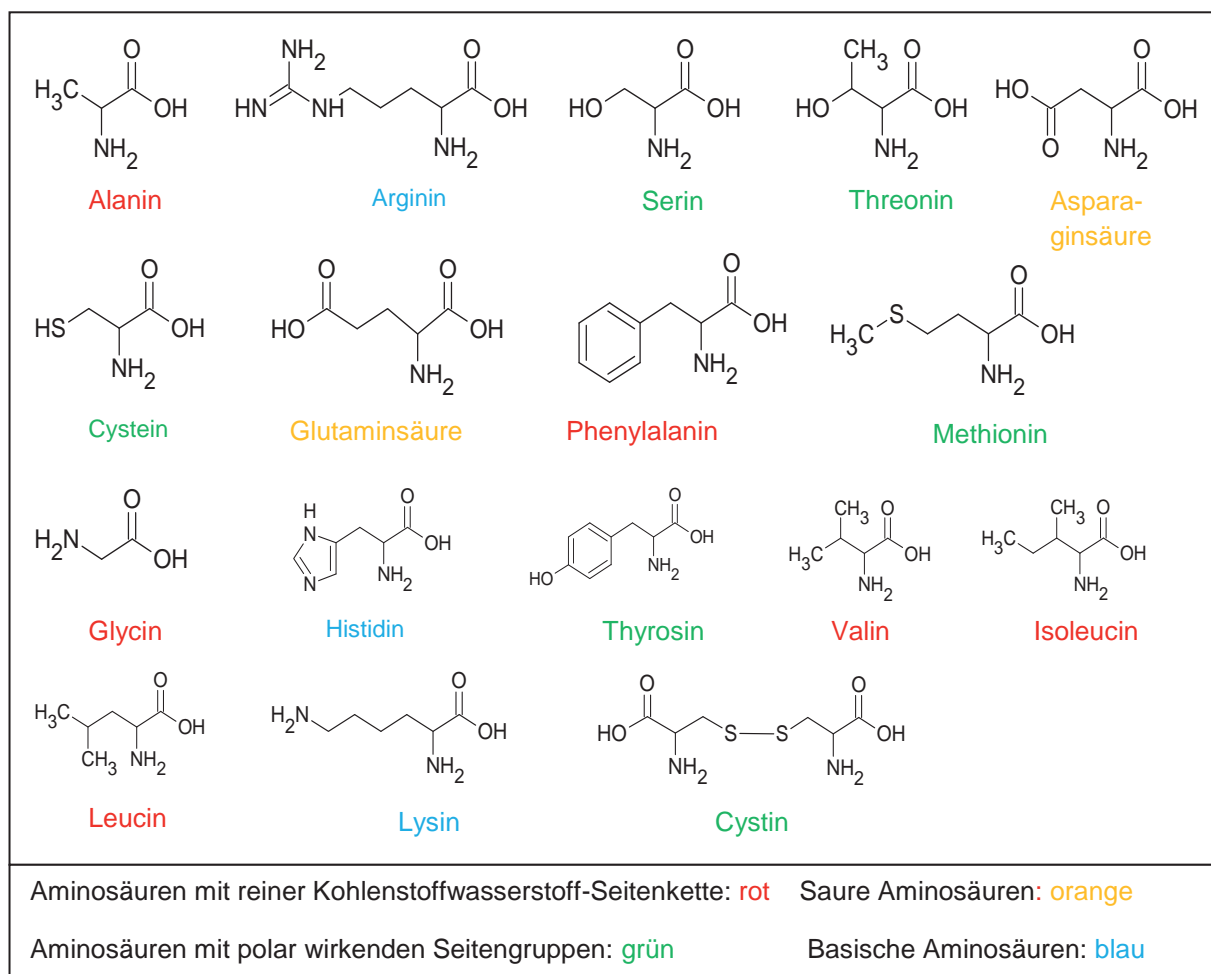


Abbildung 113: Übersicht der Aminosäuren

Dabei kann man 4 Gruppen unterscheiden: Aminosäuren mit reiner Kohlenwasserstoff-Seitenkette (hydrophob), Aminosäuren mit polar wirkenden Seitengruppen, saure Aminosäuren und basische Aminosäuren (Doeneke, Koolmann, Fuchs & Gerok, 2005). Aminosäuren sind amphoter, da sie neben der Carboxy- eine Aminogruppe aufweisen. Sie sind durch ihren zwitterionischen Charakter in der Lage stabile Kristallgitter auszubilden. Deshalb schmelzen viele Aminosäuren nicht, sondern zerfallen beim Erhitzen (Vollhardt, 2005). Proteine sind hochmolekular und sehr komplex. Ihre Struktur wird in vier Komplexitätsstufen eingeteilt (Doeneke, Koolmann,



Fuchs & Gerok, 2005): Primär-, Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur, wobei hier auf die Quartärstruktur nicht näher eingegangen wird.

Primärstrukturen beschreiben die Abfolge der Aminosäuren in der Peptidkette.

Die **Sekundärstruktur** gibt die räumliche Gestalt einer Peptidkette in Form von Faltungen wieder, diese sind durch die Aminosäuresequenz festgelegt. Diese Faltungen (antiparalleles und paralleles Faltblatt oder L-Helix-Struktur) werden durch Wasserstoffbrückenbindungen stabilisiert.

Auf der Ebene der **Tertiärstruktur** sind die nebeneinander liegenden Helices im Haar durch unterschiedliche Längs- und Querverbindungen zusammengehalten, dadurch kommen die Haareigenschaften wie Elastizität und Reißfestigkeit zustande. Dabei unterscheidet man im Wesentlichen drei unterschiedliche Bindungen, geordnet nach ihrer zunehmenden Stabilität:

- Wasserstoffbrücken (Dipol-Dipol)
- Salzbrücken (elektrostatische Ionenbindung)
- Disulfidbindungen (Umbach, 1995)

„Durch Wasseraufnahme erweicht das Haarkeratin sehr stark, da sowohl die Wasserstoff-Brückenbindungen als auch Teile der Salzbrückenbindungen gelöst werden.“
(Umbach, 2004, S. 257)

Dieses Phänomen ermöglicht die Wasserwelle, da das um bis zu 15 % aufgequollene Haar durch Lockenwickler und anschließendes Trocknen in der Lockenform stabilisiert werden kann. Die Wasserstoff- und Salzbrückenbindungen schließen sich dabei während des Trockenvorgangs wieder. Allerdings hält die Lockenform lediglich bis zum nächsten Feuchtigkeitskontakt (Luftfeuchtigkeit, Schweiß, Regen, Haarwäsche) des Haares (Vollmer, 1985).

Die Disulfidbindungen sind kovalente Bindungen und bilden die stabilsten Brücken im Keratin des Haares. Für ihr Auftreten sind schwefelhaltige Aminosäuren notwendig, typischerweise Cystin/Cystein (Zahn, 1989). Als kovalente Bindungen lassen sich die Disulfidbindungen durch Wasser weder lockern noch spalten. Für eine dauerhafte Haarumformung, wie dies bei der Dauerwelle der Fall ist, müssen diese Bindungen jedoch gespalten werden. Dies geschieht reduktiv durch Ammoniumthioglykolat, welches seit der Patentanmeldung im Jahre 1934 für die Dauerwelle verwendet wird (Jany, 2009). Um die Disulfidbindungen anschließend neu zu knüpfen und die Locken im Haar zu fixieren, verwendet man bei der Dauerwelle meist eine 2 %-ige Wasserstoffperoxid-Lösung.

Im Laufe der Zeit wurden verschiedene Verfahren der Haarformung entwickelt. Man unterscheidet heute Heißwelle, Mildwelle und Kaltwelle. Die Heißwelle beruht auf einer alkalischen Welllösung, mit der die Haare getränkt und durch Heizzangen auf

"Dauerwelle"

100 °C erhitzt werden. Durch das Zusammenspiel von Hitze und Alkali kommt es im Haar zu einer Lanthionin-Bildung, so dass eine Nachbehandlung mit einem Oxidationsmittel entfällt. In den 1940-er Jahren wurde in Amerika die Kaltwelle erfunden, die Thioglykolsäure als Reduktionsmittel und Wasserstoffperoxid als Oxidationsmittel einsetzt. Eine Erwärmung des Haares wird durch den zweistufigen Dauerwellprozess überflüssig.

Ein weiteres verbreitetes Verfahren, stellt die Mildwelle dar. Dabei wird das Haar auf 50 bis 65 °C erwärmt und somit der Einsatz weniger konzentrierter Präparate ermöglicht.



Abbildung 114: Dauerwellprodukte

Die im Handel erhältlichen Dauerwellpräparate bestehen aus zwei Komponenten (entsprechend den zwei bei einer Dauerwelle ablaufenden Reaktionsschritten): einem Well- und einem Fixiermittel.

Wellmittel bestehen aus einem Reduktionsmittel (Ammoniumthioglykolat), Alkalisierungsmitteln, pH-Regulatoren, Penetrationshilfsmitteln, Duftstoffen und Emulgatoren, kämmbarkeitsverbessernden Stoffen sowie Trübungsmitteln

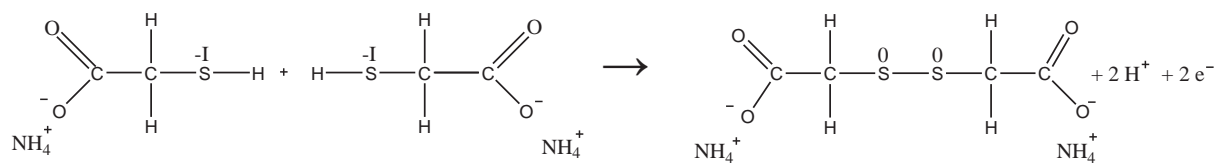
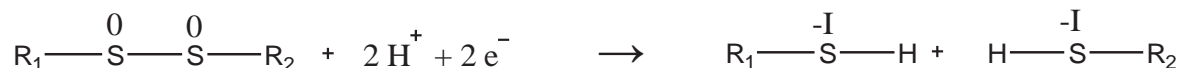
und Farbstoffen (Lang, 2004).

Das **Fixiermittel** besteht aus dem Oxidationsmittel Wasserstoffperoxid, Stabilisatoren und pH-Regulatoren sowie Duft- und Pflegestoffen (Lang, 2004).

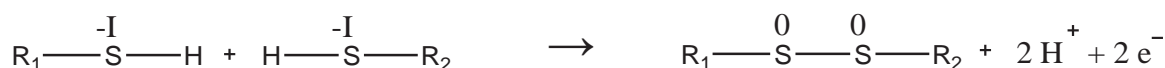
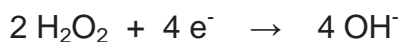
Der Vorgang der Dauerwelle beruht letztendlich auf der Reduktion von Cystin zu Cystein und der Oxidation von Cystein zu Cystin. „Die Mercaptogruppe des Cysteins lässt sich oxidieren und alkylieren. Durch milde Oxidationsmittel erfolgt eine Oxidation zum Disulfid (Cystin) [...] Die Disulfidbindung des Cystins lässt sich durch Thiole wieder reduzieren [...].“ (Nuhn, 1990, S. 123)

Cystin [IUPAC (2R,2'R)-3,3'-Dithiobis(2-aminopropansäure)] ist im Gegensatz zu vielen anderen Aminosäuren in Wasser sehr schwer löslich (Walter, 1991).

Beim Frisör werden die Haare gewaschen, nass auf Lockenwickler gedreht und fixiert. Dieser Vorgang nimmt je nach Produkt und der darin enthaltenen Konzentration von Ammoniumthioglykolat 15-25 min in Anspruch. Anschließend tränkt man die Haarsträhnen gleichmäßig mit einer Welllösung. Dabei wird das Wellmittel oxidiert und das im Haar vorliegende Cystin zu Cystein reduziert. Hierbei muss eine Einwirkzeit von 10-15 min eingehalten werden.



Durch diese chemische Reaktion wird das Haar formbar und nimmt die Form der Lockenwickler an. Es wird gründlich ausgewaschen und mit Fixierlösung benetzt. Dadurch stabilisiert sich die Frisur durch das Ausbilden der Schwefelbrücken in der neuen Form. Das Fixiermittel wird reduziert und das Cystein zu Cystin oxidiert.



Eine Dauerwelle mit Ammoniumthioglykolat führt zu Cystinverlusten um die 10 % (Zahn, 1989), da sich durch die Oxidation die chemische Ausgangsstruktur des Haares nicht wieder vollständig herstellen lässt. Die Dauerwelle bewirkt deshalb immer eine dauerhafte Veränderung der Haarstruktur (Umbach, 2004) und sollte nicht zu häufig angewendet werden.

4.8.2 Didaktische Anmerkungen zur Unterrichtseinheit „Dauerwelle“

Redoxgleichungen und die dahinter stehende Theorie sind ein wichtiges, aber bei den Schülerinnen und Schülern nicht sehr beliebtes Unterrichtsthema. Im Chemieunterricht wird von den Lernenden besonders „*ein Zuviel an Theorie, Formeln und abstrakten Begriffen thematisiert.*“ (Pfeifer, Lutz & Bader, 2002, S. 404) Eine Schülerin der 12. Klasse gab folgendes Feedback zum erfahrenen Chemieunterricht: „*Nicht so viel Theorie und rechnen, eher was Praktisches, wie man eine Dauerwelle macht oder so. Das fände ich mal gut.*“ (Kunze, Bröll, Zahn & Oetken, 2011, S. 184)

Zudem wird immer wieder eingefordert, dass Chemie dabei unterstützen sollte „*Dinge aus dem persönlichen Umfeld und des Alltags*“ (Pfeifer, Lutz & Bader, 2002, S. 404) besser verstehen zu können. Deshalb entwickelte sich in den letzten Jahren ein stärker am Alltag ausgerichteter Chemieunterricht. „*Zeitgemäßer Chemieunterricht*



wird immer auch daran gemessen, inwieweit er in der Lage ist, die Distanz zwischen dem schulischen Bildungsangebot an den verschiedenen Schularten und den Anforderungen der gegenwärtigen (und zukünftigen) Lebenswelt zu verringern!“ (Pfeifer, 1995, S.54)

Nach Wanjek (2000) sollten Ausgangspunkte eines alltagsorientierten Unterrichts Produkte und Phänomene aus dem direkten oder indirekten Lebensumfeld der Jugendlichen sein. Dazu zählt er Lebensmittel und Kosmetika (direkt) sowie Reinigungsmittel und Kraftstoffe (indirekt).

Zusätzlich muss zwischen alltagsbezogenem Unterricht und alltagsorientiertem Unterricht unterschieden werden. Letzterer orientiert sich an Alltagsthemen und erarbeitet die fachlichen Inhalte daran. Alltagsbezogener Unterricht zeigt an passenden Stellen des Curriculums Alltagsbezüge auf.

Die Unterrichtseinheit „Dauerwelle“ ermöglicht einen alltagsbezogenen Unterricht, der zusätzlich einen Zugang zum fächerübergreifenden Unterrichten der Naturwissenschaften Biologie und Chemie schafft (Kunze, Bröll, Zahn & Oetken, 2011).

Im Gebiet der Chemie (2-stündige Kursstufe) werden zwei Themenbereiche abgedeckt: **Moleküle des Lebens** durch die Thematisierung der Stoffklasse der Proteine und der Bereich der **elektrischen Energie in chemischen Reaktionen** durch die Betrachtung, der bei der Dauerwelle ablaufenden Redoxreaktionen. In der 4-stündigen Kursstufe kann die Unterrichtseinheit darüber hinaus dem Themengebiet der **Naturstoffe** zugerechnet werden. Im Bereich der **Moleküle des Lebens** (2-stündige Kursstufe) bzw. Naturstoffe (4-stündige Kursstufe) werden die folgenden Themenkomplexe angesprochen: Als ein Beispiel für Makromoleküle werden Proteine (Keratine) als Haarbestandteil thematisiert. Dabei lernen die Schülerinnen und Schüler die Stoffklasse der Aminosäuren kennen. Sie beschäftigen sich neben dem Aufbau und der Struktur von Proteinen mit dem Vorkommen und den Aufgaben im menschlichen Körper. Für den 4-stündigen Kurs kann vertiefend auf die Primär-, Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur von Proteinen eingegangen werden.

Im Bereich **elektrische Energie in chemischen Reaktionen** (2-stündig) sowie **chemische Energetik** (4-stündig) festigen die Lernenden in der vorliegenden Unterrichtseinheit ihr bereits vorhandenes Wissen zur Definition einer Redoxreaktion als Elektronenübertragungsreaktion. Sie wiederholen die Ermittlung von Oxidationszahlen anhand der gängigen Regeln und üben an geeigneten Beispielen. Im weiteren Verlauf der Unterrichtseinheit wird das Ermitteln von Oxidationszahlen durch die Molekülstruktur als Möglichkeit eingeführt. Zur Festigung werden Reaktionsgleichungen thematisiert, bei denen die Oxidationszahlen nur mit Hilfe der Molekülstruktur zu ermitteln sind. Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten bzw. wiederholen selbst-



ständig Wissen über Wasserstoffbrücken-, Disulfidbrücken und Salzbrückenbindungen und wenden dieses Wissen auf den Vorgang bei der Dauerwelle an.

Fachwissenschaftliche Inhalte

Moleküle des Lebens (2-stündig) / Naturstoffe (4-stündig)	Elektrische Energie in chemischen Reaktionen (2-stündig) / Redoxchemie (4-stündig), chemi- sche Energetik (4-stündig)
Proteine - Makromolekül - Vorkommen / Aufgaben im menschlichen Körper - Keratine / Faserproteine - Aufbau von Proteinen - Nachweisreaktionen - Primär-, Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur	Redoxchemie - Festigung des Energieübertragungsbegriffs - Festigung Ermitteln von Oxidationszahlen (Re- geln) - Ermitteln von Oxidationszahlen durch die Mole- külstruktur - Festigung Aufstellen von Redoxgleichungen Bindungsarten - Vergleich von Wasserstoffbrücken-, Disulfidbr- ücken- und Salzbrückenbindungen

Tabelle 66: Überblick über die fachwissenschaftlichen Inhalte der Chemie während der Unterrichtseinheit

Durch die experimentell auf 6 Stunden ausgelegte Unterrichtseinheit bekommen die Lernenden mehrmals die Gelegenheit sich im Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten zu üben. Die im Unterricht eingeforderte Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler beim Bearbeiten von Fachinhalten unterstützt diese dabei, aus Texten und anderen Medien wichtige Informationen zu ziehen und sich darüber auszutauschen. Der Aspekt der Kommunikation durch den richtigen Gebrauch der Fachsprache wird eingeübt. Aufgrund der Unterrichtseinheit werden die Lernenden in die Lage versetzt, die eingangs gestellte Frage sowie weitere Fragen mit erworbenem Wissen zu beantworten und etwaige Antworten Anderer zu bewerten und einschätzen zu können. Die Schülerinnen und Schüler können durch ihr neu erworbenes oder vertieftes chemisches Fachwissen die Dauerwelle und ihre Auswirkungen auf das Haar besser bewerten. Schlussendlich wird ihnen ein Einblick in die Vernetzung der Naturwissenschaften, insbesondere der Chemie, mit dem Alltag gegeben.

Leitlinien der Chemie	Unterrichtsbestandteile
Stoffe und ihre Teilchen	- Elektronenübertragungen
Ordnungssysteme	- Oxidationszahlen
Chemische Reaktionen	- Ammoniumthioglykolat / Wasserstoffperoxid mit Cystein/Cystin - Ammoniumthioglykolat / Wasserstoffperoxid mit Iod/Iodid
Arbeitsweisen	- Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten - Informationen selbstständig erarbeiten
Umwelt und Gesellschaft	- Korrekter Gebrauch der chemischen Fachsprache - Erfindung der Dauerwelle - Internetfrage einschätzen und beantworten - Zukünftige Fragen einschätzen und das erworbene Wis- sen darauf anwenden können - Die Bedeutung für den Alltag realisieren

- Die Dauerwelle mit chemischen Wissen bewerten können

Tabelle 67: Berücksichtigte Leitlinien der Chemie

Im Biologieunterricht können durch die angedachte Unterrichtseinheit fachwissenschaftliche Inhalte aus dem Bereich „**von der Zelle zum Organ**“ abgedeckt werden. Thematisiert werden der Aufbau und die Funktion von menschlichen Haaren und der Haut.

Fachwissenschaftliche Inhalte	
Von der Zelle zum Organ	Angewandte Biologie
<ul style="list-style-type: none"> - Aufbau und Funktion eines menschlichen Haares - Vergleich eines menschlichen Haares mit einem Tierhaar 	<ul style="list-style-type: none"> - Berücksichtigung von Besonderheiten des Haares bei der Dauerwelle

Tabelle 68: Überblick über Fachwissenschaftliche Inhalte der Biologie im Verlauf der Unterrichtseinheit

Sie erhalten die Möglichkeit ihre Fähigkeiten im Bereich des Mikroskopierens zu verbessern und zu festigen. Die Lernenden werden in die Lage versetzt, die Dauerwelle aufgrund des biologischen Fachwissens neu zu bewerten und für sich einschätzen zu können. In Gesprächen, Diskussionen und durch das Arbeiten mit Fachtexten wird der Umgang mit der biologischen Fachsprache gefestigt und themenspezifische Fachbezeichnungen eingeführt.

Leitlinien der Biologie		
Arbeitsweisen	Bewertung	Kommunikation
<ul style="list-style-type: none"> - Arbeitsweise Mikroskopieren - Biologische Erkenntnisse am eigenen Körper erfahren - Abbildung mit Hilfe von Informationen aus Fachtext beschriften 	<ul style="list-style-type: none"> - Die Dauerwelle mit Hilfe der Biologie bewerten und einschätzen 	<ul style="list-style-type: none"> - Anwenden der biologischen Fachsprache / Fachbegriffe

Tabelle 69: Überblick über die handlungsorientierten Inhalte der Biologie während der Unterrichtseinheit

4.8.3 Die Chemie der Dauerwelle: Redoxchemie einmal anders – Verlauf der Unterrichtseinheit

Zu Beginn der Unterrichtseinheit werden die Schülerinnen und Schüler durch Auflegen einer Internetforum-Alltagsfrage auf das Thema Dauerwelle aufmerksam gemacht.

Hallo,

wahrscheinlich wurde diese Frage schon hundert Mal in diesem Forum gestellt, aber ich bin mir halt nicht sicher. Ich habe heute Morgen eine Dauerwelle bekommen, darf ich meine Haare nun zwei bis drei Tage nicht waschen? Darf ich dann raus wenn es regnet?

Bitte antwortet,

Eva

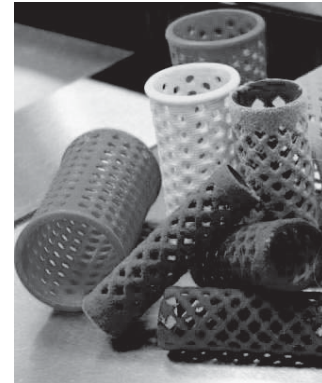


Abbildung 115: Lockenwickler (Slick, 2011)

Abbildung 116: Einstiegsfolie F W1

Da diese gestellte Frage von den Lernenden nicht beantworten kann, gilt es zunächst Informationen rund um die Dauerwelle einzuholen. Dazu und zur weiteren Einstimmung in das Thema Dauerwelle hören die Lernenden gemeinsam einen Podcast der „SWR 3-Bescheidwisser“.

Die SWR 3-Bescheidwisser: Seit mehr als hundert Jahren macht so manches Haar ´ne riesen Welle. Dem Frisör sei Dank. Aber warum eigentlich? Kompass: Um 1880 in Todnaun im Schwarzwald. Ein Junge namens Karl hütet im Schwarzwald Ziegen. Bei Sonnenschein und auch bei Regen und jedes Mal wenn es anfängt zu regnen, beobachtet er wie sich Blumen und Gräser dabei verändern. Sie ziehen sich wie Haarlocken zusammen. Einige Jahre später in Genf: Aus dem Jungen Karl ist inzwischen ein Frisör geworden. Er arbeitet in Genf und aus Karl wurde Charles. Hallo Karl, ähh, Bonjour Charles. Immer wieder erinnert er sich an die aufgerollten Gräser von damals und tüftelt an einer Methode auch Haare lockig zu machen. Kurz darauf in Paris: An seiner Freundin Ivonne möchte er ausprobieren, Haare zu wellen. „Charles mach mich lockig“ Er rührt eine geheimnisvolle Paste an, verteilt sie im Haar und wickelt Strähne für Strähne auf Metallstäbe. „So meine Süße das ganze wird nun noch schön mit dieser Zange heiß gemacht.“ Leider verbrennt er ihr dabei die Kopfhaut. „Aua“. Immerhin, der Anfang ist gemacht. Er tüftelt weiter, macht aus Feuerzangen elektrische Heizpatronen und präsentiert seinen Kollegen in London später die Dauerwellmaschine. Ohne großen Erfolg. Sie alle fürchteten Kunden zu verlieren. Erst als die Technik richtig ausgereift ist und immer mehr Frauen die Welle haben wollen, wird er mit seinen Apparaten in Amerika ein reicher Mann. Bis zum Börsencrash, dann ist sein Geld futsch. Nur die Haarwelle ist von Dauer – bis heute.

Abbildung 117: Inhalt des Podcast SWR3-Bescheidwisser (<http://www.podcast.de/episode/1473573/Das+Geheimnis+der+Dauerwelle/>)



Dieser Podcast ist zwar durchaus unterhaltsam, liefert aber keine für die Schüler relevanten Informationen. Diese müssen sich die Schülerinnen und Schüler in einem Lernzirkel erarbeiten.

In **Station 1**¹ des Lernzirkels setzen sich die Lernenden mit der Biologie des Haares auseinander. Sie beschriften mit Hilfe eines Textes eine Abbildung des Haares und ordnen die Begriffe Haarschaft, Ringsubstanz, Haarmark, Haarzwiebel, Blutgefäße, Nervenfasern, Haarsträubemuskel, Talgdrüse und Talg zu.

Durch einen anschließenden Versuch spüren sie die Schuppenschicht an ihren eigenen Haaren.

V43: Die Schuppenschicht des Haares

Versuchsmaterialien: langes Kopfhaar

Durchführung und Beobachtung: Man nimmt ein Kopfhaar und spannt es mit den Fingern. Nun fährt man mit einem Finger in beide Richtungen langsam am Haar entlang. Dabei fühlt sich das Haar in Richtung Haarspitze glatt an, fährt man in Richtung Wurzel spürt man einen deutlichen Widerstand.

Erklärung und Interpretation: Das Haar ist von einer Schicht aus abgestorbenen Zellen umgeben, der sogenannten Schuppenschicht. Diese ist von der Haarwurzel Richtung Haarspitze überlappend angeordnet. Fährt man dieser Richtung entgegen, stellen sich die Schuppen auf.

In **Station 2** bearbeiten die Lernenden den chemischen Aufbau eines Haares und führen exemplarisch einen Schwefelnachweis durch.

V44: Nachweis von Schwefel im Pferdehaar

Geräte und Chemikalien: Brenner, Reagenzglasklammer, Luftballon, Reagenzglas, Feuerzeug, Bleiacetatpapier (GHS 08, Gefahr; GHS 09, umweltgefährlich), Haar

Durchführung und Beobachtung: In den unteren Bereich des Reagenzglases wird ein Pferdehaar gegeben. In den oberen Bereich legt man ein angefeuchtetes Bleiacetatpapier und verschließt das Reagenzglas mit einem Luftballon. Anschließend wird das Haar über dem Brenner erhitzt. Es bildet sich nach kurzer Zeit ein weiß-gelblicher Rauch und das Bleiacetatpapier verfärbt sich schwarz.

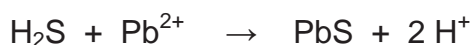


Abbildung 118: Schwefelnachweis im Pferdehaar

¹ Die Arbeitsblätter wurden in Zusammenarbeit mit Leena Bröll entwickelt.



Erklärung und Interpretation: Bei der thermischen Zersetzung von Haaren entsteht Schwefelwasserstoff, dieser reagiert mit dem Bleiacetat zu Bleisulfid nach der folgenden Reaktionsgleichung



Die **dritte Station** ist experimentell ausgerichtet. Die Lernenden führen die Herstellung einer Dauerwelle und einer Wasserwelle durch und vergleichen die entstehenden Locken miteinander.

V45: Wasser- und Dauerwelle im Vergleich (phänomenologisch)

Geräte und Chemikalien: a) Wasserwelle: Föhn, Glasstab, Reagenzglas, Nescofilm, Haarsträhne, Kristallisierschale, Wasser

b) Dauerwelle: Föhn, Glasstab, zwei Reagenzgläser, Nescofilm, Haarsträhne, Kristallisierschale, Wellmittel, Fixiermittel (Drogeriemarkt, ca. 4 Euro), Wasser

Durchführung und Beobachtung: Die Haarsträhnen werden auf einen Glasstab gewickelt und am oberen und unteren Ende mit Nescofilm fixiert.

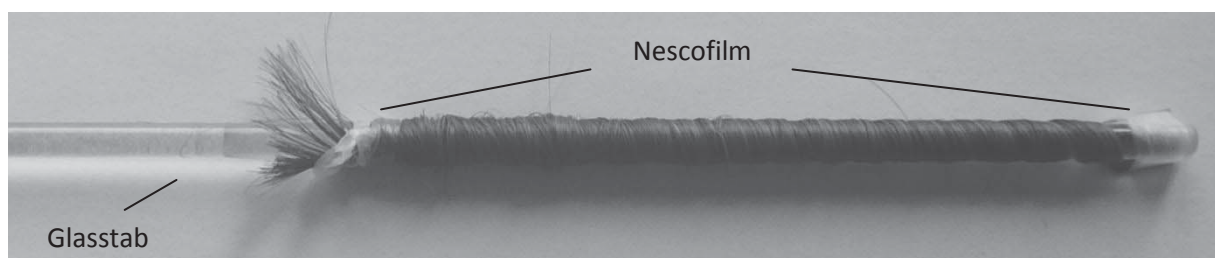


Abbildung 119: Auf Glasstab aufgedrehte Haarsträhne fixiert mit Nescofilm

a) Ein Reagenzglas wird mit Wasser gefüllt und die Haarsträhne für zwei Minuten hineingestellt. Nach Ablauf der Zeit wird sie abgetupft, trocken geföhnt und anschließend vorsichtig vom Glasstab gewickelt. Es zeigt sich eine deutliche Locke. Befeuchtet man diese in der Kristallisierschale erneut, so hängt sich die Locke aus.

b) Ein Reagenzglas wird mit Wellmittel gefüllt und die Haarsträhne für zwei Minuten hineingestellt. Nach Ablauf der Zeit wird sie abgewaschen und in das zweite Reagenzglas gestellt, welches in der Zwischenzeit mit Fixiermittel gefüllt wurde. Nach 60 Sekunden wird es aus dem Fixiermittel genommen, abgespült und mit dem Föhn getrocknet. Nach dem Abwickeln vom Glasstab sind kräftige Locken entstanden, denen auch ein neuerliches Wasserbad nichts anhaben kann.



*Erklärung und Interpretation*²: a) Durch das Wasser wurden Serstoffbrückenbindungen im Haar aufgespalten, das Haar wird formbar und nimmt die Form des Glasstabs an. Während des Trocknens werden neue Wasserstoffbrücken aufgebaut und die Locke ist bis zum erneuten Kontakt mit Wasser stabilisiert.

b) Das im Wellmittel enthaltene Ammoniumthioglycolat spaltet die Disulfidbrücken innerhalb des Haares auf. Dadurch wird das Haar formbar. Durch die Zugabe von Fixiermittel (Wasserstoffperoxid) werden die Brücken in der neuen Form neu gebildet und die Locken stabilisiert. Diese Neuknüpfungen sind beständig und werden durch Wasser nicht gelöst, so dass dauerhafte Locken entstanden sind.



Abbildung 120: Haarsträhne nach Behandlung mit Well- und Fixierlösung

Station 4 bietet die Möglichkeit ein Menschen- und ein Pferdehaar vergleichend zu mikroskopieren.

V46: Mikroskopieren von Haaren

Geräte und Chemikalien: Mikroskop, zwei Objektträger, zwei Deckgläschen, Pipette, Wasser, Menschenhaar, Pferdehaar

Durchführung und Beobachtung: Beide Haare werden zunächst miteinander verglichen. Ein ca. 1 cm langes Stück Menschenhaar sowie ein Pferdehaar werden auf einen Objektträger gelegt und mit einem Tropfen Wasser benetzt, anschließend wird ein Deckgläschen darüber gelegt. Der Objektträger wird in das Mikroskop gespannt und mit der kleinsten möglichen Vergrößerung mikroskopiert.

Erklärung und Interpretation: Pferdehaare fühlen sich rau und kräftig an, unter dem Mikroskop kann man sehr viele Schuppen erkennen, die einander überlappen. Menschenhaare fühlen sich im Vergleich dazu deutlich weicher und feiner an und haben deutlich kleinere und dichter aneinander liegende Schuppen.

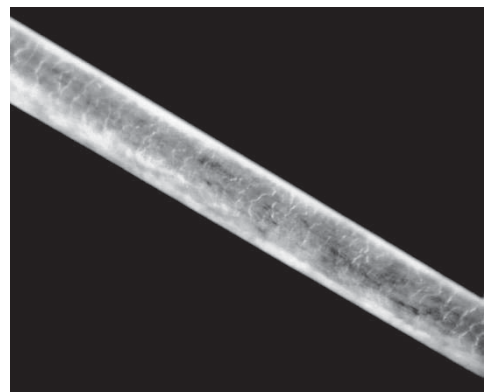


Abbildung 121: Menschenhaar, 200 fache Vergrößerung (Homann, 2006)

Nach der Besprechung der Lernzirkelinhalte richtet sich der Fokus der Unterrichtseinheit auf die

² Die fachliche Klärung der Dauerwelle erfolgt im Unterricht nicht während des Lernzirkels, es wird lediglich die phänomenologische Ebene besprochen. Die Bindungen im Haar und deren Spaltung bzw. Neuknüpfung erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt.



bei einer Dauerwelle verwendeten Produkte und ihre Bestandteile, die die Schülerinnen und Schüler in einer Internetrecherche als Hausaufgabe ermitteln und auf ihrem Arbeitsblatt notieren.

Funktion	Chemikalie
Reduktionsmittel	Thioglycolsäure
Alkalisierungsmittel und pH-Stabilisatoren	Ammoniak, Ammoniumhydrogencarbonat
Penetrationshilfsmittel	Glycol
Duftstoffe, Emulgatoren, Konservierungsmittel und Tenside (Schaumverstärker)	PEG 35 Castor Oil, Cocamidpropyl Betain, Sodium Benzoate, Phenoxyethanol, Methylparaben, Linalool, Citronella
Kämmbarkeitsverbessernde Stoffe	Laureth 4, PEG/PPG 14-4 Dimethicone, Hydrolyzed Silk, Polyquaternium 6, Bis PG Amodimethicone, Styren/PVP Copolymer
Trübungsmittel und Farbstoffe	Laureth 4, EDTA, Polypropylen

Tabelle 70: Bestandteile eines Wellmittels (Lang, 2004)

Funktion	Chemikalie
Oxidationsmittel	Wasserstoffperoxid
Stabilisatoren, Quellmittel, Emulgator	Cocamidpropyl hydroxysultaine, Coceth 10, Salicylsäure, Benzoic acid, Sodium citrate, Sodium formate, Bienenwachs, Tocopherol, Sodium laureth-sulfate
pH-Regulatoren	Phosphorsäure, Sodium citrate, Sodium formate, Glycoxylic acid
Pflegende und duftende Zusätze	Decyl-Alkohol, Sodium laureth-sulfate, Cocamidpropyl hydroxysultaine, Polycartenium 11, Geraniol, Linalool, Salicylsäure, Laureth 40, Bienenwachs, Sodium citrate

Abbildung 71: Bestandteile eines Fixiermittels (Lang, 2004)

Die Lernenden starten in die zweite Doppelstunde durch ein erneutes Hören des Podcasts der SWR 3-Bescheidwisser und Lesen der Frage aus dem Internetforum. Gemeinsam wird diskutiert, ob es bereits möglich ist, die Frage zu beantworten und welche Informationen eventuell fehlen. Die Lernenden erarbeiten nun den chemischen Hintergrund einer Dauerwelle. Dazu muss ihnen vorgegeben werden, dass die Dauerwelle auf redoxchemischen Prozessen beruht. Aufbauend auf der ihnen bereits bekannten Redoxdefinition, als ein Elektronenübertragung, wird die Ermittlung von Oxidationszahlen anhand gängiger Regeln wiederholt.



„Dauerwelle“

Durch den Rückbezug auf ihre Internetrecherche benennen die Schülerinnen und Schüler das bei der Dauerwelle eingesetzte Oxidations- und Reduktionsmittel. Im Anschluss daran werden anhand einer Iod-Stärke-Reaktion die reduzierende Wirkung des Wellmittels und die oxidierende Wirkung des Fixiermittels nachvollzogen.

V47: Iod-Stärke-Reaktion von Well- und Fixiermittel

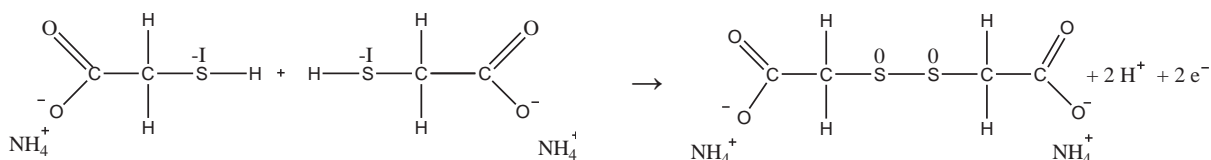
Geräte und Chemikalien: Reagenzglas, zwei Pipetten, Becherglas, Iod-Kaliumiodid-Lösung (GHS 07, Gefahr; GHS 09, umweltgefährlich), Stärkelösung, Wellmittel, Fixiermittel, Wasser

Durchführung und Beobachtung: In das Reagenzglas gibt man 2 mL Iod-Kaliumiodid-Lösung und 1 mL Stärkelösung. Zu dieser dunkelblauen Lösung gibt man 2 Tropfen Wellmittel und schüttelt das Reagenzglas. Dabei entfärbt sich die Lösung. Gibt man anschließend 4 mL Fixiermittel hinzu und erwärmt die Lösung im Wasserbad (maximal 60 °C) färbt sich die Lösung wieder blau.

Erklärung und Interpretation: Bei der Zugabe des Wellmittels wird das Iod zu Iodid reduziert.



Dabei wird das Wellmittel (Ammoniumthioglykolat) oxidiert.



Durch die Zugabe des Fixiermittels wird das gebildete Iodid wieder zu Iod oxidiert. Durch dessen Einlagerung in Stärkemoleküle zeigt sich das Wiederauftreten der blauen Färbung.



Dabei wird das Fixiermittel (Wasserstoffperoxid) reduziert



Beim Aufstellen der Reaktionsgleichungen ergeben sich Schwierigkeiten beim Ermitteln der Oxidationszahlen.

Die Bearbeitung dieses Problems steht zu Beginn der dritten Doppelstunde. Die Schülerinnen und Schüler lernen eine zweite Möglichkeit zur Bestimmung von Oxidationszahlen durch die Molekülstruktur kennen und üben diese an geeigneten Beispiele-

len ein. Im Anschluss daran erarbeiten sie in einem Gruppenpuzzle die drei in einem Haar vorkommenden Bindungstypen: Wasserstoffbrückenbindung, Disulfidbrückenbindung sowie Salzbrückenbindung und diskutieren deren Einfluss auf die Dauerwelle.

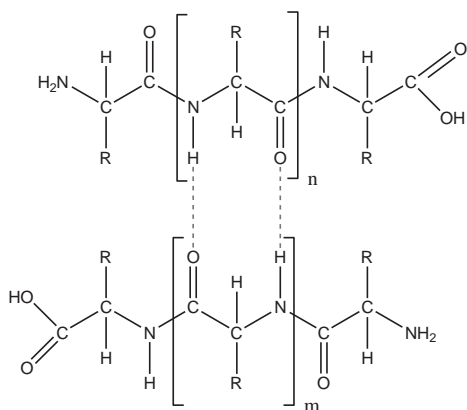


Abbildung 122: Wasserstoffbrückenbindung

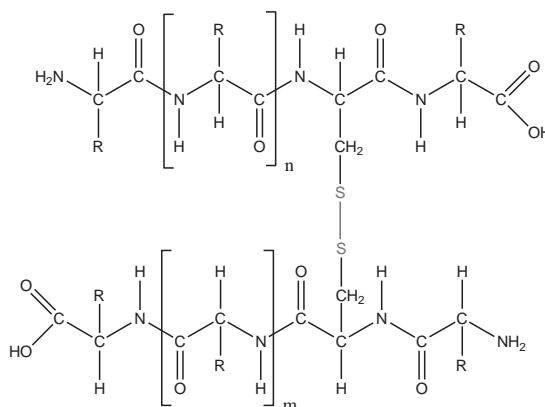


Abbildung 123 : Disulfidbrückenbindung

Sie erkennen die Wichtigkeit der Spaltung bzw. Neuknüpfung der Disulfidbrücken während der Dauerwelle und identifizieren Cystin bzw. Cystein als Reaktionspartner von Ammoniumthioglykolat bzw. Wasserstoffperoxid bei der Dauerwelle. Diese der Dauerwelle zugrunde liegende Reaktion wird in einem weiteren Experiment im Reagenzglas nachgestellt.

V48: Die Dauerwelle im Reagenzglas

Geräte und Chemikalien: großes Becherglas, Waage, Reagenzglasständer, Becherglas 50 mL, Spatel, Pipette, Wasserstoffperoxid w = 2 % (GHS 07, Gefahr), Ammoniumthioglykolat w = 10 % (GHS 06, Gefahr), pH 7-Pufferlösung, Cystein (GHS 08, Gefahr), dest. Wasser

Durchführung und Beobachtung: Zu Beginn wird 1 g Cystein in 10 mL Pufferlösung im Becherglas gelöst und in ein großes Reagenzglas gegeben. Zu der klaren Lösung gibt man 5 Tropfen Wasserstoffperoxid. Nach ca. einer Minute bildet sich an der Oberfläche ein weißer Niederschlagsring. Dieser verteilt sich langsam gleichmäßig im Reagenzglas. Durch Schütteln kann dies beschleunigt werden. Durch die Zugabe von 4 mL Ammoniumthioglykolat und gleichmäßigem Erwärmen durch ein Wasserbad löst sich der gebildete Niederschlag und die Lösung wird klar.

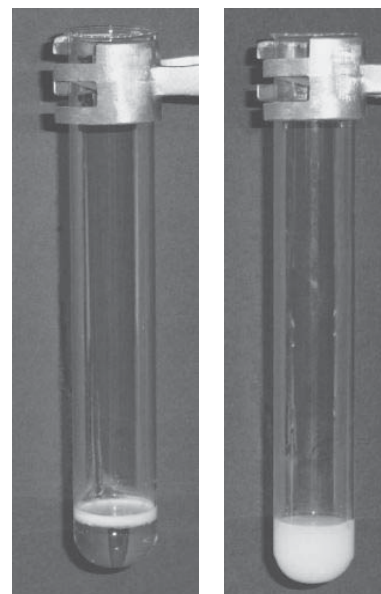
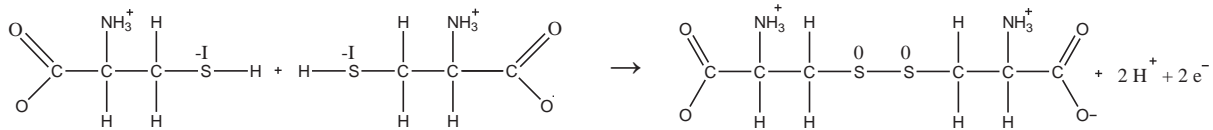


Abbildung 124: Ausfällen von Cystin

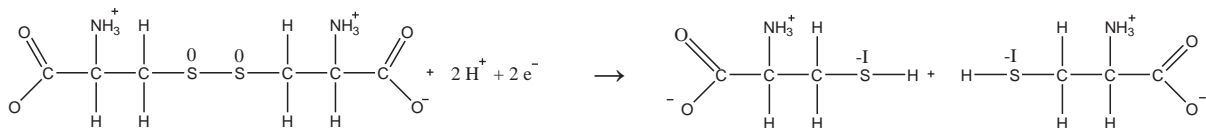


Erklärung und Interpretation: Der weiße Niederschlag ist Cystin. Cystein wird durch die Zugabe von Wasserstoffperoxid zu Cystin oxidiert. Da Cystin nahezu wasserunlöslich ist, fällt es als weißer Niederschlag aus.



Dieser Schritt entspricht bei der Dauerwelle dem Schritt der Fixierung, die aufgebrochenen Brücken werden wieder geschlossen und das Haar in seiner neuen Form stabilisiert.

Durch die Zugabe von Ammoniumthioglykolat wird Cystin reduziert. Es entsteht Cystein, welches im Gegensatz zu Cystin sehr gut wasserlöslich ist. Der Niederschlag verschwindet.



Diese Reaktion ist der erste Schritt einer Dauerwelle, die Schwefelbrücken werden dabei aufgebrochen und das Haar dadurch formbar.

Mit Hilfe eines Textes erarbeiten die Schülerinnen und Schüler nun unterschiedliche Varianten der Dauerwelle von ihrer Entstehung bis heute. Im Anschluss daran vergleichen sie eine der heute verbreitetsten Dauerwellarten, die Mildwelle, die besonders schonend für Haar und Kopfhaut ist, im Experiment mit einer Kaltwelle.



Die Dauerwelle im Wandel der Zeit

Bereits im 17./18. Jahrhundert, also im Barock und Rokoko war es Mode, die Haare gelockt zu tragen. In dieser Zeit trug man Perücken, von denen man die Haarsträhnen auf Kraushölzer wickelte und mehrere Stunden in einer alkalischen Lösung kochte. Nach dem Abkühlen wurde mit Essigwasser neutralisiert. Haare direkt am Kopf des Menschen zu locken, kam mit dieser radikalen Methode nicht in Frage.

Karl Ludwig Nessler gilt als Erfinder der Dauerwelle. Seine erste Kundin war seine Frau Katharina. Von ihrem langen Haar band er drei Strähnen ab, befeuchtete sie mit einer geheimnisvollen alkalischen Flüssigkeit und wickelte sie auf Metallstäbe, die er mit glühenden Zangen erhitzte. Zuerst war der Erfolg mäßig: Die erste Haarsträhne löste sich vom Kopf, unter der zweiten bildete sich eine dicke, schmerzhaft Brandblase. Die dritte Haarsträhne jedoch war und blieb gewellt. Nach einigen Weiterentwicklungen erhielt Nessler 1908 auf seine Erfindung internationalen Patentschutz. Die Dauerwelle trat ihren Siegeszug an

1940 kam die sogenannte Kaltwelle auf den Markt. Bei ihr wird die organische Chemikalie Ammoniumthioglykolat als Wellmittel verwendet. Zum Fixieren der Locken wird Wasserstoffperoxid eingesetzt. Der konzentrierte Einsatz dieser Chemikalien machte es möglich auf das Erwärmen zu verzichten. Diese Konzentrationen waren für das Haar jedoch sehr strapaziös. Deshalb wurde die Kaltwelle weiterentwickelt und seit 1952 wird die Mildwelle angewendet. Die Konzentration der eingesetzten Chemikalien wurde herabgesetzt, dafür wird moderat mit einer Trockenhaube erwärmt.

Heute kommt die Cysteindauerwelle immer stärker in Mode. Dabei wird anstatt Ammoniumthioglykolat eine Cysteinlösung verwendet. Dieses Verfahren ist sehr schonend, aber noch sehr teuer.



Abbildung 125: Perücke (De Vermont, Nicolas de Largilliere)

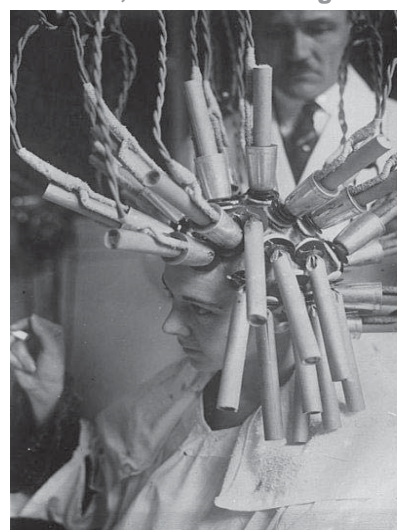


Abbildung 126: Dauerwellapparat (Bundesarchiv, Bild 102-08896)

Abbildung 127: Die Dauerwelle im Wandel der Zeit AB W13

V49: Die Mildwelle

Geräte und Chemikalien: 2 Reagenzgläser, Ammoniumthioglykolat w = 10 % [T, giftig], Ammoniumthioglykolat w = 60 % (GHS 06, Gefahr), Wasserstoffperoxid w = 2 % (GHS 07, Achtung) pH7-Puffer, Cystein (GHS 07, Achtung), Messpipette

Durchführung und Beobachtung: In beiden Reagenzgläsern wird je 1 g Cystein in 10 mL Puffer gelöst. Anschließend gibt man in beide Lösungen jeweils 5 Tropfen Wasserstoffperoxidlösung und stellt eine Cystinsuspension her. In ein Reagenzglas gibt



„Dauerwelle“

man 4 mL 10 %-ige Ammoniumthioglykolatlösung, in das andere 4 mL 60 %-ige Ammoniumthioglykolatlösung. Im Reagenzglas mit 60 %-iger Lösung klart sich die Suspension schnell wieder auf, im Reagenzglas mit 10 %-iger Ammoniumthioglykolatlösung ist ohne Wasserbad keine Aufklärung der Lösung zu beobachten.

Erklärung und Interpretation: Durch die höhere Konzentration ist eine Reduktion von Cystin zu Cystein auch bei Raumtemperatur möglich.

Durch diesen Versuch wird den Schülerinnen und Schülern verdeutlicht, dass durch den Einsatz einer Trockenhaube beim Friseur weniger konzentrierte Chemikalien verwendet werden können, um in der gleichen Zeit ein vergleichbares Ergebnis zu erzielen. Dies schont das Haar und ermöglicht es öfter und über einen längeren Zeitraum eine Dauerwelle zu tragen, ohne das Haar dabei massiv zu schädigen.

Der Vorgang einer Dauerwelle beim Friseur wird in einer Sachgeschichte „Der Sendung mit der Maus“ zusammengefasst und anschaulich erklärt (Bibliothek der Sachgeschichten - (D1) Drehleiter, Dominiks Armbruch, Diskus, Dauerwelle).

Mit Hilfe des in der Unterrichtseinheit erlernten Fachwissens, schreiben die Schüler einen neuen, informativeren Podcast von maximal drei Minuten zum Thema Dauerwelle. Diese werden aufgezeichnet und den Schülerinnen und Schülern nach der Unterrichtseinheit zur Verfügung gestellt. Mit dem Präsentieren und Bewerten der erstellten Podcasts wird der Unterricht beendet.

Unterstützend ist es möglich einen BASF-Podcast zum Thema Dauerwelle zu präsentieren.

Hallo, hier ist Marc, euer Chemiereporter. Die heutige Frage kommt von Tamara aus Günsburg in Deutschland. Sie möchte wissen: Wie entsteht eine Dauerwelle?

Der Schlüssel zum Verstehen liegt wie immer im kleinsten Detail verborgen, in diesem Falle in der molekularen Struktur der Haare. Zoomen wir uns also mal in die Struktur des Haares hinein. Ein einzelnes Haar besteht aus einem Bündel von Fasersträngen, im Querschnitt sieht es aus wie ein Kabel mit vielen Drähten, die einzelnen Faserstränge sind aus noch feineren Haarfäsern aufgebaut, den Fibrillen. Fibrillen setzen sich aus ineinander verschlungenen Ketten von Eiweißmolekülen oder Proteinen zusammen, hauptsächlich aus dem Faserprotein Keratin zusammen. Untereinander sind diese Eiweißketten durch Wasser- und Schwefelbrücken miteinander verbunden. Diese Bindungskräfte geben dem Haar seine Festigkeit. Will man ein Haar dazu bringen, seine Form zu ändern, muss man erst mal diese Verbindungen lösen.



Tamara hat gut beobachtet, dass sich die Haare kräuseln, nachdem man durch strömenden Regen gelaufen ist. In diesem Falle löst das Wasser die Wasserstoffbrückenbindungen im Haarkeratin. Diese Locken sind allerdings nicht von Dauer, trocknen die Haare, bilden sich die Brücken neu und das Haar nimmt seine ursprüngliche Form wieder an. Bei der Dauerwelle soll das natürlich nicht so schnell passieren. Damit das Haar seine neue Lockenform dauerhaft behält, müssen die Schwefelbrücken des Keratins umgebaut werden. Das funktioniert allerdings nicht mit Wasser. Um die Schwefelbrücken zu lösen, wurde früher die Haarpracht der Frauen mit den abenteuerlichsten Apparaten erhitzt. Das konnte ziemlich brenzlich werden. Karl Nessler der Anfang des 20. Jahrhunderts die Dauerwelle erfand, experimentierte mit den Haaren seiner Frau und so manches Mal verbrannte er ihr dabei sogar einige Haare.

Heutzutage ist es zum Glück weniger gefährlich, dank der Kaltdauerwelle. Wie der Name schon sagt verwendet man dabei keine Hitze, sondern chemische Mittel wie Thioglykolsäure oder die Aminosäure Cystein. Dieses so genannten Reduktionsmittel reagiert mit den Sulfiden im Haarkeratin und spaltet die Schwefelbrücken auf. Mit zusätzlicher Hitze z.B. durch eine Trockenhautbe oder eines Föhns kann dieser Vorgang beschleunigt werden. Im zweiten Schritt werden die geöffneten Schwefelbrücken wieder geschlossen, das Haar wird so in seiner neuen Form fixiert. Dazu nimmt man sogenannte Oxidationsmittel, meistens Wasserstoffperoxid. So werden die Locken und Wellen dauerhaft und behalten auch nach mehrmaligem Waschen ihre Form.

So jetzt bin ich aber auch neugierig geworden wie mir wohl eine Dauerwelle steht, ha, Zeit für einen kleinen Selbstversuch. Macht's gut, bis zum nächsten Mal dann gibt's wieder was auf die Ohren, Marc euer Chemiereporter.

Abbildung 128: Text Marc der Chemiereporter, Folge 91
(http://corporate.basf.com/de/presse/podcast/channel2/91_BASF_Podcast_Reporter_de.mp3)

4.8.4 Tabellarischer Verlauf der Unterrichtseinheit „Dauerwelle“

1. Doppelstunde

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg, Problemstellung	Den Schülerinnen und Schülern wird die Frage aus einem Internetforum vorgelegt. Um eine Antwort geben zu können, muss geklärt werden, wie eine Dauerwelle durchgeführt wird, welche Stoffe dabei eingesetzt werden und was im Haar dabei passiert. Formulieren und notieren der Leitfragen: - Welche chemischen Prozesse laufen bei einer Dauerwelle ab? - Kann man diese Prozesse durch Wasser (Haarwäsche) beeinflussen?	Folie FW1
Aufgabenstellung	Die Lernenden hören einen Podcast zum Thema Dauerwelle, der wenig informativ ist und auf die Alltagsfrage keine Antwort gibt. Sie werden vor die Aufgabe gestellt, einen neuen Podcast zu schreiben. Die Informationen hierfür müssen sie sich im Laufe der Unterrichtseinheit erarbeiten.	Podcast, Computer, Lautsprecherboxen

4. ChemCi – Unterrichtskonzeptionen

„Dauerwelle“

Erarbeitung	Die Lernenden erarbeiten im Lernzirkel die Inhalte des Lernzirkels. Station 1: Biologischer Aufbau des Haares Station 2: Chemischer Aufbau, Nachweis von Schwefel Station 3: Wasser- und Dauerwelle (phänomenologisch) Station 4: Mikroskopieren von Haaren	Arbeitsmaterialien Lernzirkel, Arbeitsblätter AB W1, AB W2, AB W3, AB W4
Festigung	Die Inhalte des Lernzirkels werden besprochen.	
Hausaufgabe	Die Schülerinnen und Schüler bekommen als Hausaufgabe eine Internetrecherche zu den Inhaltsstoffen der Dauerwellpräparate.	Arbeitsblatt AB W5, AB W6

Tabelle 72: 1. Doppelstunde der Unterrichtseinheit "Dauerwelle"

2. Doppelstunde

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg	Der Podcast wird zur Einstimmung noch einmal gehört und die Frage aus dem Internet aufgegriffen. Gemeinsam wird diskutiert, ob diese schon zu lösen ist oder was man dazu noch in Erfahrung bringen muss.	Podcast, Computer, Lautsprecherboxen
Erarbeiten	Den Lernenden muss vorgegeben werden, dass die Dauerwelle auf einer Redoxgleichung basiert.	
Übung	Die Regeln zur Ermittlung von Oxidationszahlen werden wiederholt und eingeübt.	Arbeitsblatt AB W7
Festigung	Die Jod-Stärke-Reaktion mit Well-Lösung und Fixiermittel als ein Beispiel für eine Redoxreaktion wird besprochen. Dadurch ergibt sich ein Rückbezug auf Internetrecherche. Ausfüllen des Arbeitsblatts, ohne Reaktionsgleichung.	Arbeitsblatt AB W8, AB W5, AB W6

Tabelle 73: 2. Doppelstunde der Unterrichtseinheit "Dauerwelle"

3. Doppelstunde

Phase	Inhalt der Unterrichtseinheit	Medien
Einstieg	Die Iod-Stärke-Reaktion wird noch einmal durchgeführt, die Reaktionsgleichungen werden aufgestellt.	Arbeitsblatt AB W8
Problemstellung	Die Oxidationszahlen lassen sich mit den bekannten Regeln nicht ermitteln. Zweite Methode der Ermittlung von Oxidationszahlen.	Arbeitsblatt AB W9
Erarbeitung	Rückbezug zur Dauerwelle. Die chemischen Vorgänge im Haar werden genauer betrachtet. Unterschied Wasserwelle und Dauerwelle sowie die im Haar vorliegenden dafür ursächlichen Bindungstypen werden durch ein Gruppenpuzzle erarbeitet.	Arbeitsblatt AB W10

Vertiefung	Im Experiment wird die für die Dauerwelle grundlegende Oxidation/Reduktion von Cystein zu Cystin dargestellt.	Arbeitsblatt AB W11
Erarbeitung	Besprechen der verschiedenen Dauerwellarten durch einen historischen Text, dabei werden die Mildwelle und die saure Dauerwelle angesprochen. Die Mildwelle wird im Experiment durchgeführt.	Arbeitsblatt AB W13, AB W12
Ergebnissicherung der Unterrichtseinheit	Die Schülerinnen und Schüler schreiben an ihren eigenen Podcasts zum Thema Dauerwelle.	
Abschluss der Unterrichtseinheit	Die Lernenden präsentieren sich ihre Podcasts gegenseitig.	CD, Computer, Brennprogramm

Tabelle 74: 3. Doppelstunde der Unterrichtseinheit "Dauerwelle"

4.8.5 Weitere Experimente zum Themenbereich Dauerwelle

Die Unterrichtseinheit kann anhand weiterer Versuche erweitert werden.

Um das Vorliegen von Cystin nach der Reaktion von Cystein mit Wasserstoffperoxid nachzuweisen, kann eine Dünnschichtchromatographie des Niederschlags durchgeführt werden. Dazu wird der entstandene Niederschlag abzentrifugiert.

V50: Chromatographie von Cystin und Cystein

Geräte und Chemikalien: Trennkammer, Trockenschrank, DC-Platten mit Aluminiumoxid beschichtet, Mikropipetten, Cystin, Cystein (GHS 07, Achtung), Natronlauge (GHS 05, ätzend), Eisessig (GHS 02, Gefahr; GHS 05, ätzend), Butanol (GHS 02, entzündlich; GHS 05, ätzend; GHS 07, Achtung), Wasser, Ninhydrin-Sprühreagenz (GHS 07, Achtung)

Durchführung und Beobachtung: Das Cystein wird in etwas Wasser gelöst und auf die DC-Platte aufgebracht. Das abzentrifugierte Cystin wird in Natronlauge gelöst und neben das Cystein auf die Platte gegeben. Als dritte Probe wird die zu analysierende Aminosäure aufgetragen. Aus Butanol, Eisessig und Wasser wird ein Laufmittel im Verhältnis 4:1:1 hergestellt und in die Trennkammer eingefüllt. Die DC-Platte wird anschließend in die Kammer gestellt, bis das Laufmittel 2/3 der Platte durchlaufen hat. Danach wird die Platte in den Trockenschrank gelegt, und nach etwa 5 min dünn mit Ninhydrin-Sprühreagenz

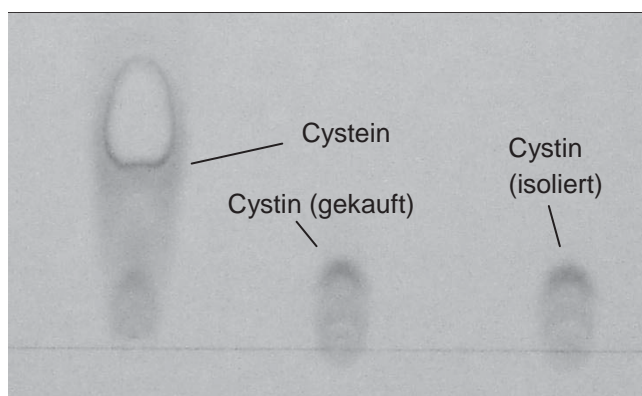


Abbildung 129: Chromatogramm von Cystin



besprüht und bis zum Sichtbarwerden der Aminosäuren weiter im Trockenschrank getrocknet.

Erklärung und Interpretation: Die unterschiedlichen Aminosäuren bleiben aufgrund ihrer chemischen Struktur unterschiedlich stark an der Platte (stationäre Phase) oder dem Laufmittel (mobile Phase) haften. Anhand der zurückgelegten Strecke, kann die isolierte Aminosäure der Vergleichsprobe Cystin oder Cystein zugeordnet werden.

V51: Demoversuch zur Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der H_2O_2 -Menge

Geräte und Chemikalien: Cystein (GHS 07, Achtung), Pufferlösung pH=7, H_2O_2 -Lösung 2 % (GHS 07, Achtung), 7 Bechergläser 50 mL, Spatel, Waage, 2 Pipetten 10 mL, Overheadfolie mit 3 Markierungen, Overheadprojektor

Durchführung und Beobachtung: Zu Beginn des Versuchs wird im Becherglas eine Cysteinlösung hergestellt. Dazu werden 3 g Cystein in 30 mL Puffer gelöst. In drei Bechergläser gibt man anschließend 5, 7 und 9 Tropfen Wasserstoffperoxid. Diese werden auf eine Overheadfolie mit Markierungen (Kreuz + Anzahl Tropfen) gestellt und der OHP in Betrieb genommen. Die Projektion der Markierung erleichtert die spätere Beurteilung der Trübung. Die Cysteinlösung wird gleichmäßig (je 10 mL) in drei weitere Bechergläser verteilt. Anschließend wird gleichzeitig die Cysteinlösung in das Wasserstoffperoxid auf dem OHP gegeben, geschüttelt und die Projektion beobachtet.

Die Markierungen werden nach kurzer Zeit in der Reihenfolge 9, 7, 5 Tropfen unlesbar.



20 Sekunden

50 Sekunden

120 Sekunden

Abbildung 130: Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der H_2O_2 -Menge

Erklärung und Interpretation: Die Oxidation von Cystein zu Cystin ist von der Konzentration des eingesetzten Oxidationsmittels Wasserstoffperoxid abhängig.



V52: Die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Temperatur

Geräte und Chemikalien: 4 Magnetrührer mit Heizmöglichkeit, Fischchen, 4 Bechergläser 250 mL, 4 Thermometer, 4 Bechergläser 50 mL, Waage, Spatel, Eis, Wasser, 1 g Cystein, 10 mL Puffer pH =7, 5 Tropfen 2 %-ige Wasserstoffperoxidlösung (GHS 07, Achtung), 10 mL Ammoniumthioglykolat 10 % (GHS 06, Gefahr)

Durchführung und Beobachtung: In vier 50 mL Bechergläsern wird eine Cysteinlösung angesetzt. Dazu wird jeweils 1 g Cystein in 10 mL Puffer gelöst. Anschließend gibt man 5 Tropfen 2 % Wasserstoffperoxidlösung hinzu und lässt das Gemisch 5 min stehen. In dieser Zeit stellt man 4 verschiedene Wasserbäder (ca. 0 °C, 20 °C, 50 °C und 80 °C) in 250 mL Bechergläsern bereit. Nun werden die vier Bechergläser mit der Cystinsuspension in die Wasserbäder gestellt, ein Rührfisch zugegeben und auf Stufe 6 gerührt. In alle vier Bechergläser werden gleichzeitig 4 mL Ammoniumthioglykolat gegeben und die Stoppuhr gestartet. Die Trübung verschwindet abhängig von der Temperatur unterschiedlich schnell. Als erstes klart sich die Trübung im 80 °C-Wasserbad, die Suspension bei 0 °C bleibt erhalten.

Erklärung und Interpretation: Das durch Wasserstoffperoxid ausgefällte Cystin kann durch die Zugabe von Ammoniumthioglykolat wieder in Cystein umgewandelt und gelöst werden. Diese Reaktion ist abhängig von der Temperatur. Durch die unterschiedlichen Wasserbäder wird erreicht, dass die Reaktion unterschiedlich schnell abläuft und die Trübung dadurch unterschiedlich schnell verschwindet. Dabei zeigt sich, dass die Reaktion umso schneller verläuft, desto wärmer die Lösung ist. Im Eiswasser setzt die Reaktion nicht ein. Durch Zugabe von heißem Wasser, kann man die Lösung jedoch in wenigen Sekunden entfärben.

V53: Pufferwirkung von Dauerwellmittel und Stabilisierungsfluid

Geräte und Chemikalien: pH-Messgerät, 4 Reagenzgläser, 2 Pipetten 10 mL, Natronlauge $c = 1 \text{ mol/L}$ (GHS 05, ätzend; GHS 07, Achtung), Salzsäure $c = 1 \text{ mol/L}$ (GHS 05, ätzend), Leitungswasser, Dauerwellmittel

Durchführung und Beobachtung: 5 mL der Wellflüssigkeit werden in ein Reagenzglas gegeben und der pH-Wert mit einer Messelektrode überprüft. Anschließend werden 2, 4

und 6 Tropfen Natronlauge bzw. Salzsäure zugegeben und der Wert notiert. Es zeigt sich dabei eine geringe Veränderung des pH-Werts.

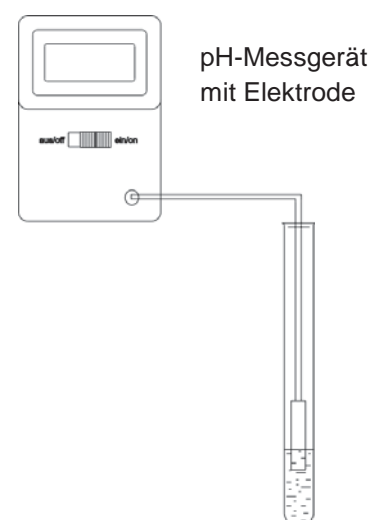


Abbildung 131: Schemazeichnung Pufferwirkung

„Dauerwelle“

	0 Tr.	2 Tr.	4 Tr.	6 Tr.
Dauerwellmittel und Salzsäure	8,66	8,57	8,47	8,39
Dauerwellmittel und Natronlauge	8,64	8,66	8,69	8,71

Tabelle 75: Ergebnisse Pufferwirkung Wellflüssigkeit

Als Vergleich wird die gleiche Messung mit Wasser durchgeführt, dabei erhöht sich der pH-Wert durch die Zugabe von 2 Tropfen Natronlauge von 7,6 auf 11,94. Bei Zugabe von 2 Tropfen Salzsäure zeigt sich eine Abnahme des pH-Werts von 7,17 auf 1,93.

Erklärung und Interpretation: Durch diesen Versuch zeigt sich die puffernde Eigenschaft von Dauerwellmittel im basischen und sauren Bereich.

V54: Quellen von Haaren

Geräte und Chemikalien: 3 Filterpapiere, Waage, Trockenschrank, 3 Petrischalen, Haare, Dauerwellflüssigkeit, Wasser

Durchführung und Beobachtung: Zu Beginn des Versuchs wird auf jedes Filterpapier eine Haarsträhne gelegt, gewogen und das Ergebnis notiert. Anschließend wird das Filterpapier mit Haaren in einer Petrischale für 20 min in Wellflüssigkeit oder Wasser gelegt. Eine Haarsträhne bleibt als Vergleichsprobe unbehandelt. Nach Ablauf der Einwirkzeit werden die Flüssigkeiten vorsichtig abgegossen, die Haare auf dem Filterpapier im Trockenschrank getrocknet und alle drei Haarproben erneut gewogen (auch die Vergleichsprobe). Die in Dauerwellflüssigkeit eingelegten Haare quellen während der Einwirkzeit stark auf.

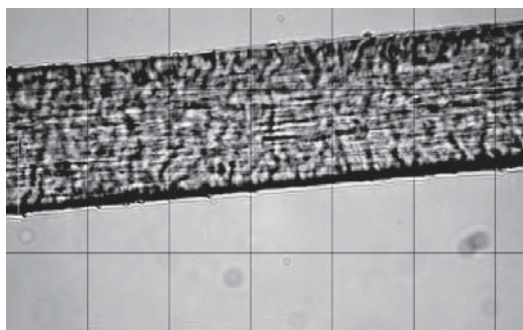


Abbildung 132: Mikroskopische Aufnahme eines unbehandelten Haares

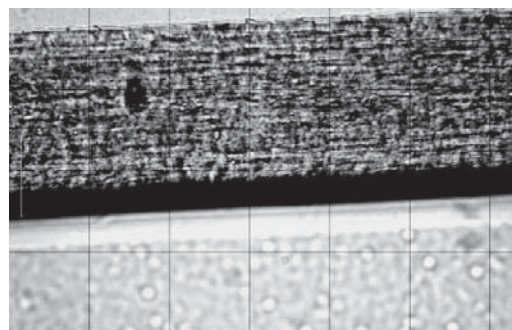


Abbildung 133: Aufgequollenes Haar nach Behandlung



Probe	1 (Vergleichsprobe)	2 (Wasser)	3 (Wellmittel)
Gewicht Haarsträhne vor der Behandlung	0,53 g	0,55 g	0,55 g
Gewicht Haarsträhne nach der Behandlung	0,51 g	0,52 g	1,22 g
Zu- oder Abnahme in Prozent	- 3,9 %	- 5,7 %	+ 121 %

Tabelle 76: Ergebnisse Quellwirkung

5. Empirische Untersuchungen zu den Unterrichtseinheiten „Dante’s Peak I“ und „Dante’s Peak II“

5.1 Empirische Untersuchung „Dante’s Peak II“ für Gymnasien

5.1.1 Untersuchungsdesign

Das Untersuchungsdesign (angelehnt an Kuhn, 2007) entspricht einer quasi-experimentellen Interventionsstudie im Kontrollgruppendesign an acht Gymnasien in Baden-Württemberg (Regierungspräsidien Freiburg und Karlsruhe). Die Entwicklung von Motivation und Lernfortschritt wird dabei mit Hilfe einer Prä-Post-Follow-up-Testung ermittelt. Die quantitative Untersuchung wird ergänzt durch Schüler- und Experteninterviews. Die Fragebögen wurden im Vorfeld in einer Pilotstudie getestet.

Erhoben wurden dabei 314 Schülerinnen und Schüler aus dem 2-stündigen Chemiekurs der 12. Klasse. Die Kurse der Experimental- und Kontrollgruppe wurden an den Schulen zufällig zugewiesen. 156 Lernende waren dabei der Kontrollgruppe und 158 Schülerinnen und Schüler der Experimentalgruppe zugeordnet. Jeweils eine Kontroll- und eine Experimentalgruppe wurden von der gleichen Lehrperson unterrichtet.

Kontrollgruppe	Experimentalgruppe
Einstieg durch Folie „Saurer Regen“	Einstieg durch Kinotrailer
Hypothesensuche	
Arbeitsblatt „Saurer Regen“	Szene 1 und 2
Schülerversuch : Einleiten von Schwefeldioxid und Kohlenstoffdioxid in Wasser	
Hausaufgabe: Warum ist schweflige Säure stärker als Kohlensäure	
Lehrerversuch 1: Verbrennen von Schwefel ohne Katalysator	
Zeitungsaufgabe	Szene 3
Lehrerversuch 2: Verschiedene Metalle reagieren mit schwefliger bzw. Schwefelsäure	
Arbeitsblatt SO ₂ /SO ₃ - Gleichgewicht	
Lehrerversuch 3: Verbrennung von Schwefel mit Katalysator	
Überleitung	
Technische Schwefelsäuredarstellung	-----
Lehrerversuch 4: Rösten von Pyrit	
Zusammenfassung	
-----	Letzte Szene: Happy End

Tabelle 77: Überblick über den Unterricht der Kontroll- und Experimentalgruppe (Kunze, Rubner, Friedrich & Oetken, 2012)

Zusätzlich wurde die Motivation von 20 Lernenden ohne Treatment (TAU-Gruppe) erhoben.



Zeit (Unterrichtsstunden)	Kontrollgruppe	Experimentalgruppe
	Leistungsprätest	
	Motivationsprätest	
1 - 2 3 - 4 5 - 6 (7 - 8)	Konventioneller Unterricht	ChemCi-Unterricht
	Motivationsposttest	
	Leistungsposttest	
	Schülerinterviews	
4 - 6 Wochen	Konventioneller Unterricht	
	Motivationstest (follow up)	
	Leistungstest (follow up)	
	Experteninterviews	

Tabelle 78: Übersicht der Interventionsstudie

Es wurden dabei folgende Forschungsfragen untersucht:

- Inwieweit ist es grundsätzlich möglich, Filmsequenzen für einen problemorientierten, naturwissenschaftlichen Unterricht einzusetzen?
- Wie werden die konzipierten Unterrichtseinheiten von den Lernenden auf motivationaler Ebene bewertet?
- Welchen Einfluss hat diese Variable auf den Lernerfolg? Führt die Motivationssteigerung zu einer Leistungsverbesserung?
- Halten motivations- oder leistungssteigernde Effekte nach der Intervention an?
- Besteht eine Korrelation zwischen Autonomie, Motivation und Lernerfolg?

Die Motivation wurde anhand eines modifizierten Fragebogens aus der SINUS-Transfer Studie ermittelt (Seidel et al., 2003). Der Test basiert auf Annahmen zur Motivation nach Deci & Ryan. Folgende Aspekte werden dabei abgedeckt: Inhaltliche Relevanz des Unterrichts in vier Items, Autonomieunterstützung in vier Items, soziale Einbindung in vier Items, amotivierte/externale Lernmotivation in fünf Items, identifizierte Lernmotivation in fünf Items und intrinsische Lernmotivation in fünf Items. Die Schülerinnen und Schüler konnten den Aussagen in einer vier-stufigen Likert-Skala von „trifft nicht zu“ bis „trifft voll zu“ zustimmen.

Der Leistungstest bestand aus einer Klassenarbeit über die betreffende Unterrichtseinheit. Es waren 13 offene und 7 geschlossene Aufgabenformate die Anforderungen im Reproduktions-, Reorganisations- und Transferbereich stellen.



Bei der Verbrennung von Schwefel bzw. Kohle entsteht ein farbloses Gas. Formulieren Sie für die beiden Ausgangsstoffe die vorliegenden Reaktionen durch Reaktionsgleichungen.

Abbildung 134: Beispiel einer offenen Reproduktionsaufgabe

Kreuzen Sie an, ob die Aussagen zu diesem Schaubild richtig (R) oder falsch (F) sind.

- A) Je höher die Temperatur ist, desto höher ist der Anteil an SO_3 .
- B) Bei 700°C liegen SO_2 und SO_3 zu gleichen Anteilen vor.
- C) Je höher die Temperatur ist, desto mehr verschiebt sich das SO_2/SO_3 -Gleichgewicht zum Zerfall in SO_2 .
- D) Je höher der Druck ist, desto größer ist die Ausbeute an SO_3 .
- E) Es handelt sich bei dieser Gleichgewichtsreaktion SO_3 zu $\text{SO}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$ um eine endotherme Reaktion.
- F) Je höher der Druck, desto geringer ist die Ausbeute an SO_3 .

Abbildung 135: Beispiel einer geschlossenen Transferaufgabe

Die Schülerinterviews wurden als halboffene Leitfadenterviews geführt und durch eine qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (1983) ausgewertet. Hierzu wurden aus jedem Grundkurs vier bis sechs Schülerinnen und Schüler mit unterschiedlichem Leistungsniveau befragt.¹

- Gibt es einen Unterrichtsabschnitt zu dem Sie etwas sagen möchten, was Ihnen besonders Spaß gemacht hat, oder gar keinen?
- Konnten Sie dem Unterrichtsverlauf gut folgen, wo war es schwierig den roten Faden zu erkennen?
- Waren die Versuche für Sie hilfreiche Unterrichtsbestandteile, die dazu beitragen den Stoff zu verstehen?

Abbildung 136: Beispiele allgemeiner Fragen aus den Schülerinterviews

- Haben Sie sich nach dem Unterricht noch über den Unterricht / den Film Gedanken gemacht. Haben Sie sich darüber unterhalten?
- Haben Sie den Eindruck der mögliche Anwendungsbezug ist durch die Filme klarer geworden?
- Ist Chemie für Sie interessanter geworden?

Abbildung 137: Beispielfragen hinsichtlich Unterschieden zwischen der Unterrichtseinheit und gewöhnlichem Unterricht

- Wie finden Sie die Idee, Spielfilme im Chemieunterricht einzusetzen?
- Wurde durch die Filme/durch die Unterrichtseinheit Ihr Interesse an den Fachinhalten geweckt?
- Haben Sie sich während der Unterrichtseinheit mehr auf den Chemieunterricht gefreut als sonst?

Abbildung 138: Beispielfragen zum ChemCi-Projekt

¹ Unter federführender Mitarbeit von Isabel Rubner und Silia Fürniss entwickelt.



Die Lehrkräfte wurden nach der Unterrichtseinheit im Gruppendiskussionsverfahren befragt.

Um die Lehrkräfte in die Unterrichtseinheit einzuweisen und ihnen den Grundgedanken des ChemCi-Projekts näher zu bringen, fanden jeweils zwei Lehrerfortbildungen im Vorfeld der Erprobungen in Freiburg und Karlsruhe statt.

Dabei bekamen die Lehrer eine Experimentierbox ausgehändigt, in der sich die wichtigsten Geräte und Chemikalien für die erforderlichen Versuche befanden. Zusätzlich war für jede Unterrichtsstunde eine Checkliste vorhanden, so dass für die Lehrer ein möglichst geringer Arbeitsaufwand anfiel.



Abbildung 139: ChemCi - Box

5.1.2 Ausgewählte Ergebnisse und Diskussion der Hauptstudie zu Dante’s Peak II

Ergebnisse der Motivationstestung

Nach der Intervention (2. Messzeitpunkt) konnte eine signifikante Steigerung der Aspekte „wahrgenommener Spaß am Unterricht“ und „Intrinsische Motivation“ der Experimentalgruppe festgestellt werden. Dabei zeigten sich kleine bis mittlere Effektstärken.

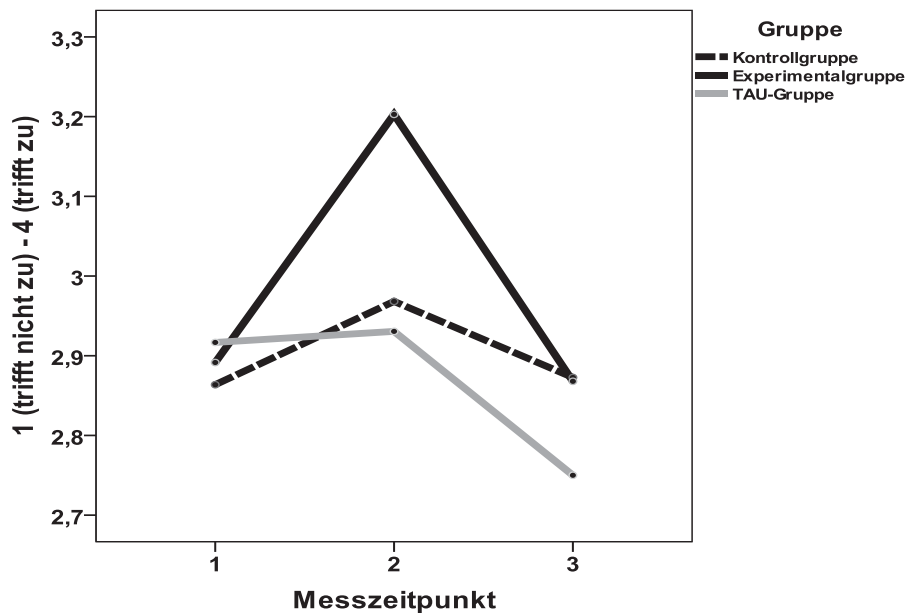


Abbildung 140: „Spaß am Unterricht“ (Fürniss, Rubner & Friedrich, 2011)

		T1	T2	T3
Kontrollgruppe: N = 165	AM ± SD	2.86 ± .61	2.96 ± .60	2.87 ± .71
Experimentalgruppe: N = 158	AM ± SD	2.89 ± .60	3.20 ± .62	2.86 ± .57
TAU-Gruppe: N = 20	AM ± SD	2.91 ± .49	2.93 ± .53	2.75 ± .54
F (df=4)=1.912; Signifikanz (Gruppe*Zeit): p= .021; Part. η ² : .025				

Tabelle 79: Werte „Spaß am Unterricht“ (Fürniss, Rubner & Friedrich, 2011)

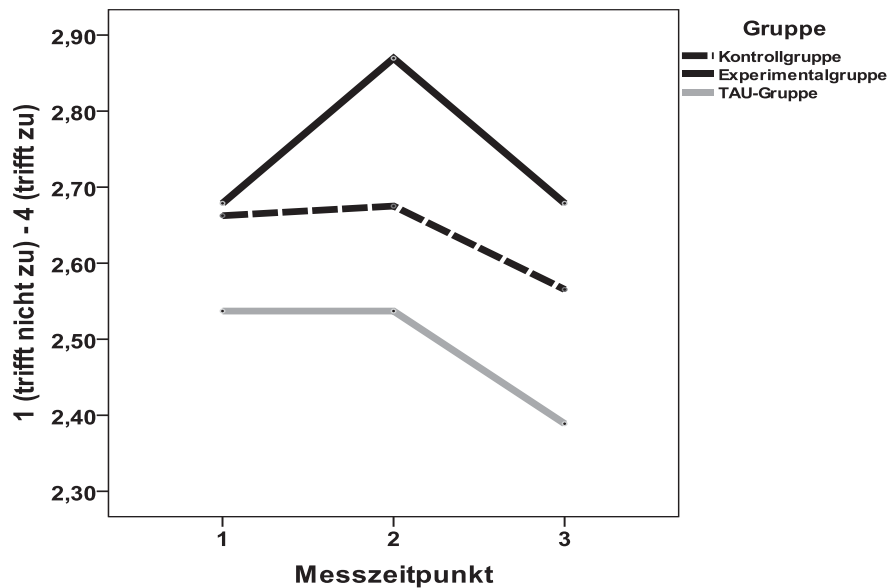


Abbildung 141: „Intrinsische Motivation“ (Fürniss, Rubner & Friedrich, 2011)

		T1	T2	T3
Kontrollgruppe: N = 165	AM ± SD	2.66 ± .63	2.67 ± .65	2.56 ± .72
Experimentalgruppe: N = 158	AM ± SD	2.67 ± .57	2.86 ± .72	2.67 ± .68
TAU-Gruppe: N = 20	AM ± SD	2.53 ± .59	2.53 ± .74	2.38 ± .71
F(df=2)=1.401; Signifikanz (Gruppe*Zeit): p= .014;		Part. η^2 : .017		

Tabelle 80: Werte „Intrinsische Motivation“ (Fürniss, Rubner & Friedrich, 2011)

Im Rahmen der Schülerinterviews, die im Anschluss der Intervention durchgeführt wurden, zeigt sich ein ähnliches Bild. Sowohl die Unterrichtseinheit der Experimental- als auch der Kontrollgruppe unterscheidet sich deutlich vom gewohnten Chemieunterricht. Beide Schülergruppen bewerten sie als motivierend. Die untersuchte Chem-Ci-Unterrichtseinheit wird jedoch hinsichtlich des positiv besetzten Ankermediums Spielfilm als noch ansprechender empfunden.

„Die Filmszenen bringen Abwechslung in den tristen Chemiealltag.“

„Ja die Filmausschnitte motivieren schon [...] Es ging schneller um als sonst (lacht).“

„Mit den Filmen war’s schon besser als sonst. Irgendwie ansprechender.“

Das Medium Film scheint dabei im gewohnten Chemie- bzw. naturwissenschaftlichen Unterricht eher selten genutzt zu werden.



„Filme schauen wir in den naturwissenschaftlichen Fächern sonst nie an, eher so in den Sprachen oder Geschichte oder so.“

„Es war recht abwechslungsreich, ich meine Filme haben wir in Chemie sonst ja nicht so oft. Ich denke die Filmsequenzen sind auch gut, um sich an den Unterricht zu erinnern.“

Schülerinnen und Schüler beider Treatmentgruppen betonen die Wichtigkeit der durch sie erlebten Relevanz der Unterrichtsinhalte für ihre Lernmotivation.

„Die Anwendung an einem „realen“ Beispiel finde ich immer sehr motivierend, das hat man sonst ja oft nicht, in Chemie.“ „Man macht sich schon Gedanken über die Zusammenhänge also wie die Wirkung von Säuren in der Realität ist, das hat mich schon interessiert.“

„Es war halt mal was Neues. Chemie mit so einem Bezug zum Alltag oder besser gesagt zu der Geschichte im Film. Also mehr praktisch, nicht so theoretisch.“

„Der Bezug war immer da, durch den Film hatte man die Verbindung zum Alltag, bzw. zur Freizeit.“

Als besonders motivierend beschreiben Schülerinnen und Schüler der Experimentalgruppe zusätzlich die aus dem Spielfilm abgeleitete Hypothesensuche und experimentelle Überprüfung im Unterricht.

„Mir hat die Hypothesensuche am besten gefallen. Die Fragen, die an den Film gerichtet waren und dann gemeinsam besprochen wurden, so was machen wir sonst nie in Chemie. Wenn Fragen aus dem Film heraus gestellt und dann von der Klasse beantwortet werden, erkennt man auch den Sinn des Stoffs.“

„Bei der Hypothesensuche können sich fast alle Schüler gleich gut beteiligen, gute und schlechte weil da noch kein Fachwissen vorausgesetzt wird. Es gibt erst mal keine falsche Antwort. Das ist dann für viele auch sehr motivierend, wenn man sich melden kann, ohne dass harte Fakten notwendig sind.“

Ergebnisse der Leistungserfassung

Zum zweiten Messzeitpunkt zeigt sich bei Experimental- sowie Kontrollgruppe ein signifikanter Leistungszuwachs. Es konnte kein Vorteil der Experimentalgruppe über die gesamte Stichprobe ermittelt werden. Betrachtet man jedoch die Leistungen der schwächeren Schüler (Zuordnung über die Vornote im Fach Chemie), zeigt sich eine signifikant höhere Leistungssteigerung der Experimentalgruppe.

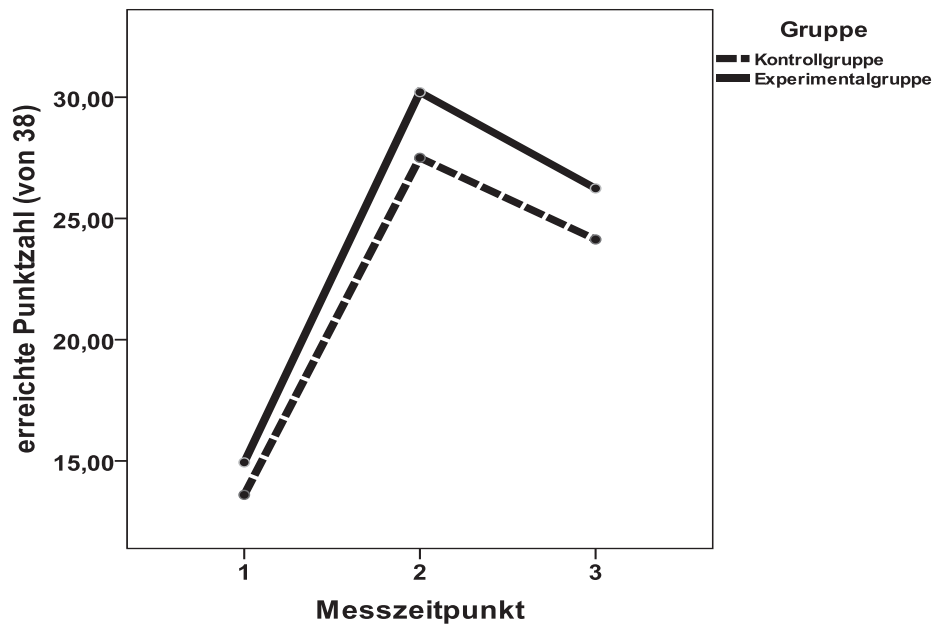


Abbildung 142: "Leistungserfassung gesamt" (Fürniss, Rubner, Friedrich, 2011)

		T1	T2	T3
Kontrollgruppe: N = 154	AM ± SD	13.60 ± 4.62	27.50 ± 10.65	24.13 ± 11.82
Experimentalgruppe: N = 154	AM ± SD	14.92 ± 4.32	30.20 ± 10.42	26.23 ± 10.31
F(df=1)=.252	Signifikanz (Zeit): p= ,000		Part. η ² : ,619	
F(df=1)=.515	Signifikanz (Gruppe*Zeit): p= .598		Part. η ² : .003	

Tabelle 81: Werte „Leistungserfassung gesamt“ (Fürniss, Rubner, Friedrich, 2011)

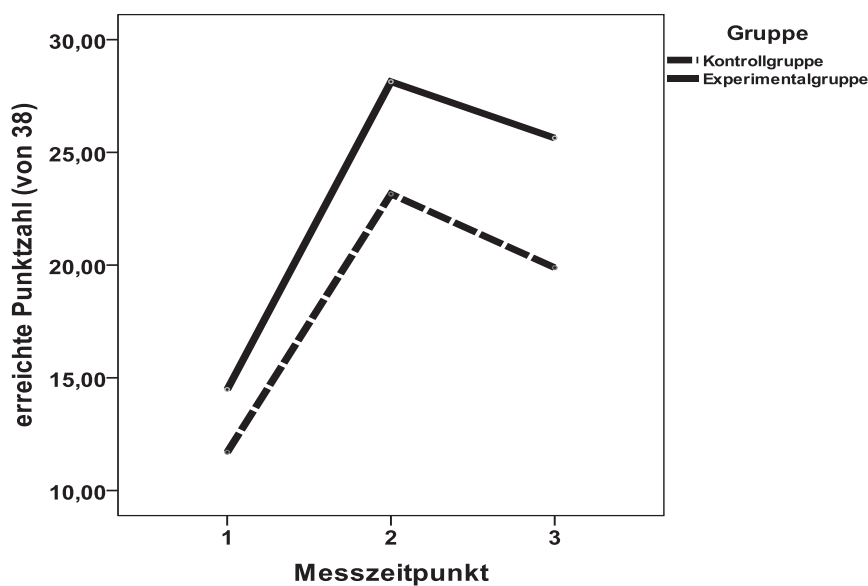


Abbildung 143: „Leistungen schwache Schüler“ (Fürniss, Rubner & Friedrich, 2011)

		T1	T2	T3
Kontrollgruppe: N = 78	AM ± SD	11.69 ± 4.38	23.15 ± 9.06	19.88 ± 8.58
Experimentalgruppe: N = 74	AM ± SD	14.47 ± 4.48	28.13 ± 9.72	25.63 ± 8.76
F(df=1)=5.500	Signifikanz (Gruppe*Zeit): p= .036	Part. η ² : .082		

Tabelle 82: Werte "Leistungen schwache Schüler" (Fürniss, Rubner & Friedrich, 2011)

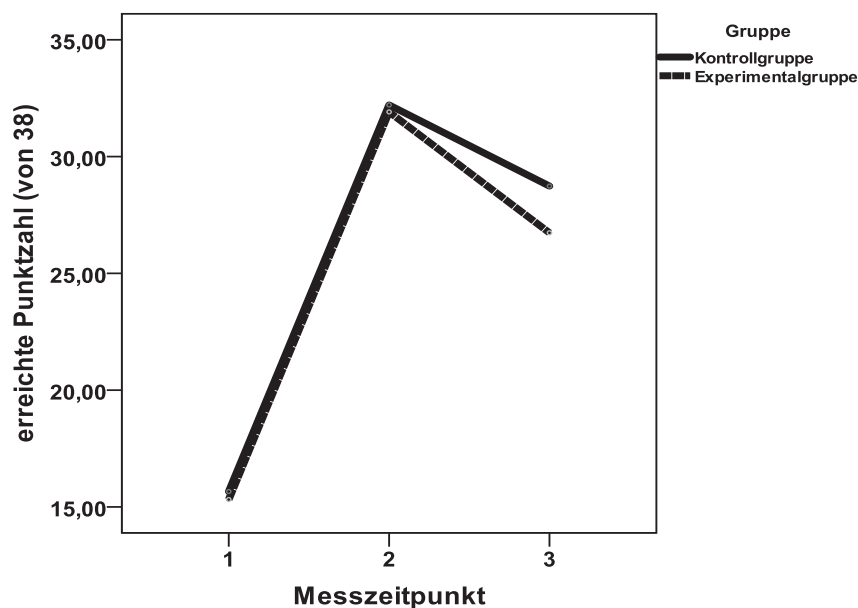


Abbildung 144: „Leistung bei stärkeren Schülern“ (Fürniss, Rubner & Friedrich, 2011)

		T1	T2	T3
Kontrollgruppe: N = 76	AM ± SD	15.65 ± 3.98	32.20 ± 10.33	28.73 ± 13.18
Experimentalgruppe: N = 80	AM ± SD	15.31 ± 4.19	31.91 ± 10.45	26.73 ± 11.51
F(df=1)=.503	Signifikanz (Gruppe*Zeit): p= .606	Part. η ² : .006		

Tabelle 83: Werte "Leistungen bei stärkeren Schülern" (Fürniss, Rubner & Friedrich, 2011)

Um einen nachhaltigen Zuwachs der Motivation sowie der Leistung quantitativ messen zu können, erwiesen sich die Zeiträume der Studien als zu kurz. Eine Unterrichtseinheit von sechs bis acht Stunden vermag an diesen eher langfristig zu sehenden Variablen kaum etwas zu verändern.

In den durchgeführten Interviews äußerten sich die Lernenden häufig dahingehend, dass sie sich durch die Verankerung des Inhaltes an Spielfilmsequenzen besser an den Unterrichtsstoff erinnern, bzw. sich Fachinhalte besser merken können und eher



unbewusst lernen. Die Lernenden empfinden dadurch das Aneignen von Fachwissen als angenehmer und leichter.

„Man kriegt auch nebenbei Fachliches mit, ohne das so (negativ) zu bemerken...“

„Man weiß (beim Vorbereiten der Klausur) viele Sachen schon, ohne sie erst lernen zu müssen“.

„Es bleibt schon besser im Gedächtnis, wenn man was Visuelles hat, an das man sich erinnern kann.“

Die Lernenden meldeten häufig zurück, dass insbesondere schwächere Chemiestudentinnen und Schüler von der Unterrichtseinheit nach dem ChemCi-Konzept profitieren.

„Ich denke schon, dass der Film auch schwächere Schüler motiviert. Man wird nicht gleich mit Reaktionsgleichungen abgeschreckt, sondern langsam an das Stoffgebiet herangeführt.“

Also ich hab mal was verstanden, das tu ich sonst nie [...].

Die schülerzentrierte Ausrichtung der Unterrichtseinheit und damit verbunden viele praktische Elemente kamen bei den Lernenden gut an.

„Ich fand die Internetrecherche ungewöhnlich, das machen wir sonst nie. Dadurch war der Rahmen schon recht spannend, also wollte man dann auch wissen ob so was wie im Film also mit dem Vulkanausbruch und der Säure und so, ob das in der Realität auch wirklich möglich wäre.“

„Es war kein sturer Unterricht, sondern es gab Platz für eigene Gedanken.“

„Ich finde es toll, wenn man quasi selbst in die Rolle des Forschers schlüpft und Theorien aufstellt, wie die Geschehnisse im Film begründet werden können und dann versucht das zu beweisen oder zu überprüfen.“

Die Verknüpfung mit Spielfilmen zeigt nach den Aussagen der Befragten einen Einfluss auf ihren Umgang mit Unterhaltungsmedien / Spielfilmen über den Schulunterricht hinaus.

„Ich glaube dann schaut man auch wenn man privat Filme guckt genauer hin, also man ist kritischer. Das wäre glaube ich gerade für jüngere Schüler wichtig die da noch nicht so viel Bewusstsein haben.“



„Ich fand schlecht daran, dass der Film so entmystifiziert wurde. Das Filmeschauen macht so gar keinen Spaß, wenn man immer denkt, das kann ja in Wirklichkeit nicht sein.“

Als zusammenfassendes Ergebnis der ersten Intervention lässt sich damit festhalten, dass die Kernidee von ChemCi anhand geeigneter Spielfilmsequenzen naturwissenschaftliche Inhalte im Unterricht motivierender vermitteln zu können von den Schülerinnen und Schülern durchaus positiv angenommen wurde.

Im Messbereich „Spaß am Unterricht“ und „intrinsische Motivation“ zeigt sich eine signifikante Verbesserung. In allen Erprobungen und Befragungen waren die Schülerinnen und Schüler von der Idee Spielfilme im Chemieunterricht für die Erarbeitung fachlicher Inhalte angetan. Es scheint also zumindest in Bezug auf den „Spaß am Unterricht“ und die „intrinsische Motivation“ möglich zu sein, Filmsequenzen gewinnbringend im problemorientierten, naturwissenschaftlichen Unterricht zu nutzen.

Die Rückmeldungen der Lehrer nach den Interventionen bestätigten dieses erfreuliche Bild.



5.2. Fallstudie „Dantes Peak I“ für die Sekundarstufe I an Realschulen

Im Anschluss an die Erprobung der Unterrichtseinheit im Schuljahr 2010 / 2011 in einer 9. Klasse der Realschule wurde anhand eines Feedbackbogens ein erstes Stimmungsbild erhoben. Dabei wurden 25 Schülerinnen und Schüler befragt. Insgesamt wurden 20 geschlossene Fragen und fünf offene Fragen gestellt. Die Lernenden konnten ihre Antworten anhand einer vier-stufigen Likert-Skala von „stimmt genau“ bis „stimmt überhaupt nicht“ einstufen.

5.2.1 Ergebnisse und Diskussion der Fallstudie „Dante´s Peak“

Es zeigt sich bei Auswertung, dass 92 % der befragten Schülerinnen und Schüler die der ChemCi-Einheit zugrunde liegende Idee, Spielfilmsequenzen zur Erarbeitung naturwissenschaftlicher Fragestellungen zu nutzen, als gut bewerteten (stimmt genau 76 %, stimmt eher 16 %).

Diese Ergebnisse unterstützen die in der Hauptstudie zu Dantes Peak II erhobene positive Tendenz.

Darüber hinaus gaben 96 % der Befragten an, sich dadurch mehr für den Chemieunterricht zu interessieren (stimmt genau 48 %, stimmt eher 48 %). 88 % der Lernenden

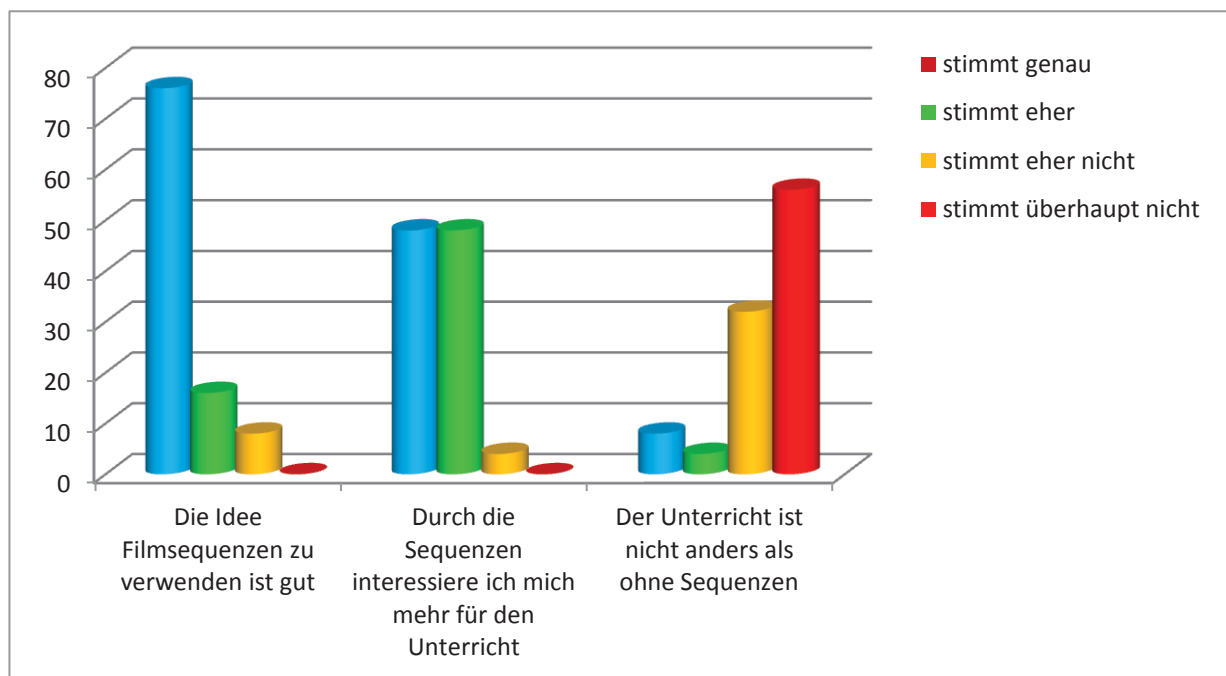


Abbildung 145: Auswertung Dantes Peak I- Idee und Innovation

den widersprachen der Aussage, dass der Unterricht sich nicht von herkömmlichen Unterricht unterscheidet (stimmt überhaupt nicht 56 %, stimmt eher nicht 32 %).

Fest halten lässt sich zudem, dass 80 % der Lernenden angaben, sich die Inhalte des Unterrichts durch die Verknüpfung mit den Spielfilmsequenzen leichter merken zu können (stimmt genau 40 %, stimmt eher 44 %) und die fachlichen Bestandteile besser zu verstehen (stimmt genau 44 %, stimmt eher 36 %).

Darüber hinaus gaben 88 Prozent der Befragten an, zur Diskussion über die Film-szenen und den naturwissenschaftlichen Inhalt angeregt zu werden (stimmt genau 32 %, stimmt eher 56 %).

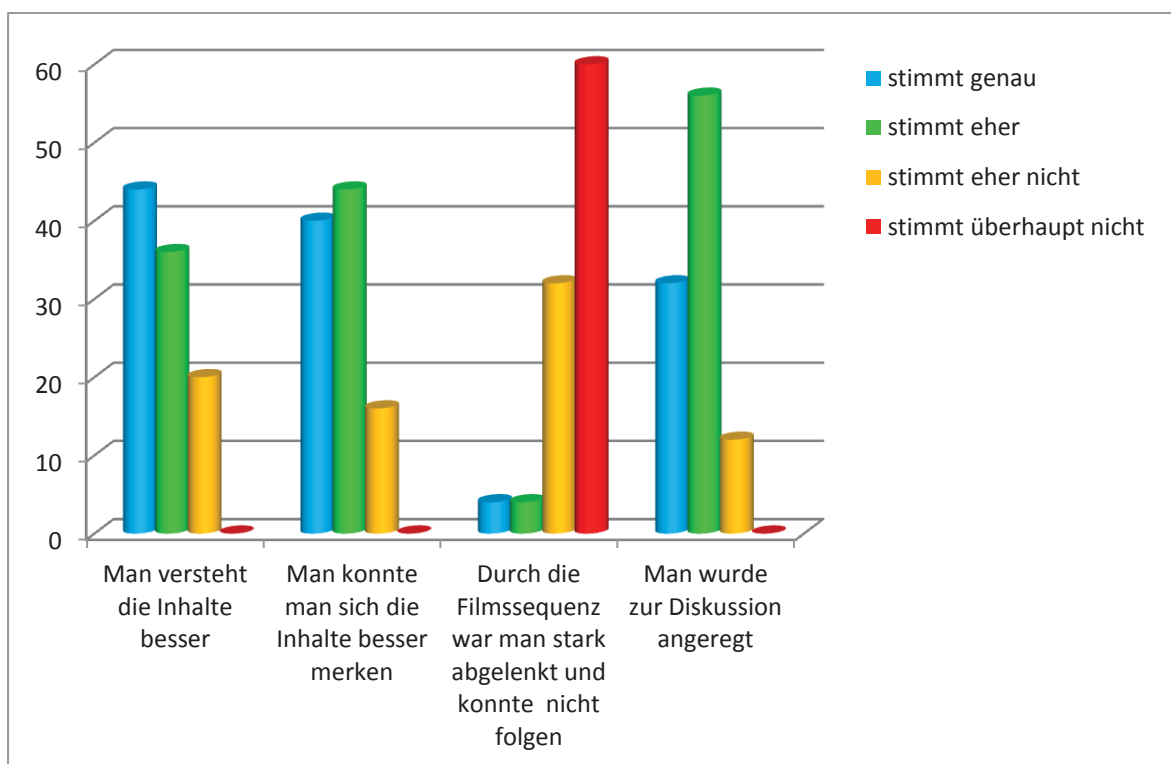


Abbildung 146: Auswertung Dantes Peak I – Film und Unterrichtsinhalt

88 Prozent der Schülerinnen und Schüler widersprachen der Aussage, dass die Filmsequenzen vom Unterricht ablenken (stimmt überhaupt nicht 60 %, stimmt eher nicht 32 %).

Bei Fragen zum Aufbau und der Struktur der Unterrichtseinheit gaben 84 % (stimmt genau 36 %, stimmt eher 48 %) der Lernenden an, dass ihnen zu jeder Zeit des Unterrichts klar war, was die gezeigten Spielfilmsequenzen mit dem Unterrichtsstoff zu tun haben.

Dadurch war für 92 % der Befragten in allen Unterrichtsstunden ein roter Faden nachvollziehbar (stimmt genau 20 %, stimmt eher 72 %).

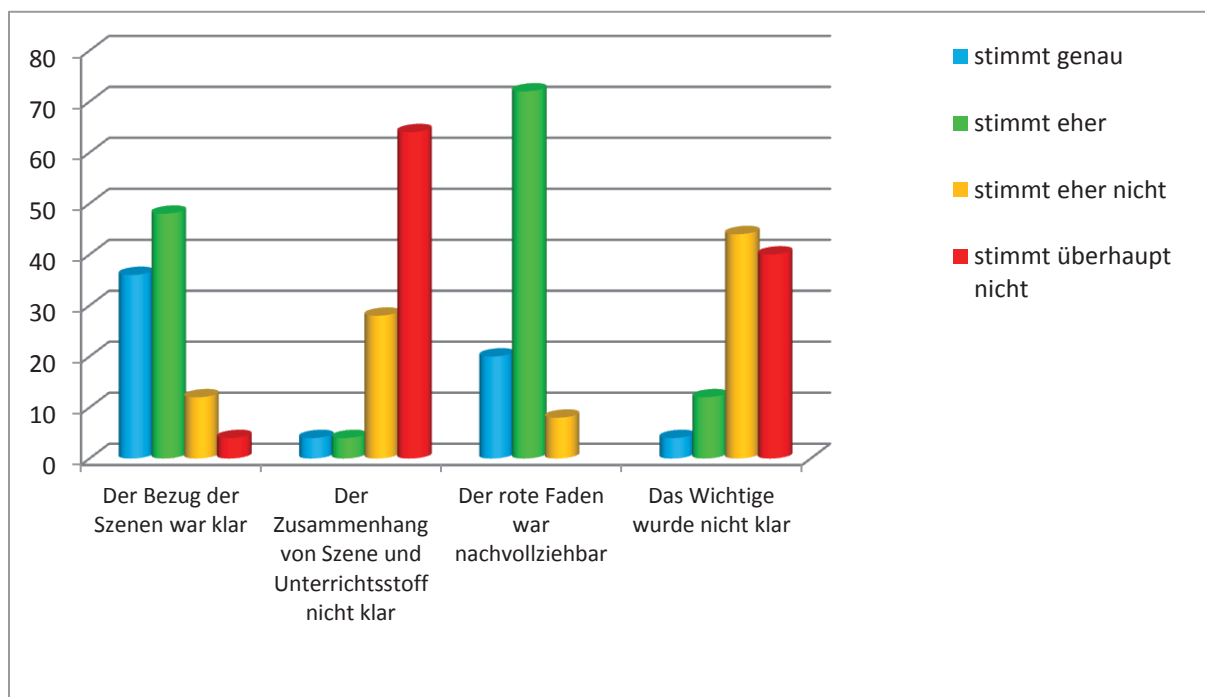


Abbildung 147: Auswertung Dantes Peak - Struktur

Zusammenfassend lässt sich somit festhalten, dass die Idee Spielfilmsequenzen in den Unterricht zu integrieren um sonst eher als langweilig empfundene Fachinhalte ansprechender zu vermitteln, gut ankam.

Zudem gab die Mehrheit der Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Fallstudie Dantes Peak I an, die Unterrichtsinhalte leichter zu lernen und diese auch besser behalten zu können. Unterstützt wird dieser Eindruck durch einen signifikanten Leistungszuwachs der schwächeren Schülerinnen und Schüler der Experimentalgruppe aus der Hauptstudie Dante´s Peak II.

Entkräftet werden konnte zudem der Vorwurf, Spielfilme würden vom relevanten Unterrichtsstoff ablenken und effektives Lernen behindern. Es zeigte sich, dass die Lernenden zu jeder Zeit über den Stand des Unterrichts sowie sich der Relevanz der gezeigten Spielfilmzene bewusst waren und zu keiner Zeit den „roten Faden“ des Unterrichts verloren hatten.

Es scheint somit eine realisierbare Möglichkeit gefunden, den oft als uninteressant und lebensfernen sowie medial wenig abwechslungsreichen Chemieunterricht für die Lernenden anregender zu gestalten.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Resümierend lässt sich festhalten, dass eine Implementierung von Filmsequenzen in den naturwissenschaftlichen Unterricht eine geeignete Möglichkeit darstellt, Schülerinnen und Schüler für die Erarbeitung von chemischen, biologischen sowie physikalischen Fachinhalten zu motivieren. Dies konnte durch eine umfangreiche empirische Untersuchung der Unterrichtseinheit Dante´s Peak II an acht Gymnasien der Regierungspräsidien Freiburg und Karlsruhe sowie einer Fallstudie der Einheit Dantes Peak I belegt werden.

Durch die vorgestellten Einheiten konnte aufgezeigt werden, dass es durchaus möglich ist Unterricht an Spielfilmsequenzen auszurichten, der dazu beiträgt geforderte Kompetenzen und Inhalte des Bildungsplans 2004 zu erarbeiten.

In der vorliegenden Arbeit wurden sieben Unterrichtseinheiten nach dem ChemCi-Konzept vorgestellt. Durch diese ist es möglich, die Chemie der Säuren in Sekundarstufe I und II anhand von „Dante´s Peak“, die Gasgesetze von Boyle-Mariotte, Gay-Lussac und Amontons am Spielfilm „Men of Honor“, das Apnoetauchen und die damit verbundenen Aspekte Lunge, reversible Löslichkeit von Gasen und Druck unter Berücksichtigung von „Im Rausch der Tiefe“, „Freediver“ und „Geo-Reportage: Apnoetauchen – Taucher im Tiefenrausch“, die Kohlenstoffdioxidadsorption von Lithium- und Kaliumhydroxid sowie deren technische Nutzung in U-Booten und der Raumfahrt an „Das Boot“ und „Apollo 13“ zu erarbeiten und deren Weiterentwicklung zu sauerstoffunabhängigen Tauchrettern auf Kaliumhyperoxidbasis an „James Bond – Feuerball“ nachzuvollziehen.

In der Erprobung erwiesen sich die Unterrichtseinheiten als praktikabel im Schulalltag und wurden von den Lehrkräften ebenfalls positiv bewertet.

Möglicherweise ist mit „**Chemistry and Cinema**“ ein Konzept gefunden worden, welches zu einer höheren Akzeptanz des Chemieunterrichts bei den Lernenden einen Beitrag zu leisten vermag.

Film / Serie	Mögliche Verwendung im Unterricht
Beverly Hills Cop	Die Sichtbarmachung von Fingerabdrücken
Captain Future	Erarbeitung Kern-Hülle-Modells
Crossing Jordan: Pakt mit dem Teufel	Geheimtinte
CSI Miami – verschiedenste Folgen	Thematisierung von Blut (Sichtbarmachung von Blut durch Luminol)
CSI Miami – Tödliche Brandung	Auswirkungen von konzentrierten Säuren (Zerstörung eines Tonbands mit Salzsäure)
CSI Miami – z.B. Abschied für immer	Sichtbarmachen von Fingerabdrücken



Da Vinci Code	Auswirkungen von konzentrierten Säuren (Zersetzung von Papier mit Säure)
Familie Feuerstein	Legierungen (Bronzeherstellung)
Feuerzangenbowle	Alkoholische Gärung
Fight Club	Verätzungen durch Säure und Neutralisation Herstellung von Seife
Der Flug des Phönix	Wassergewinnung durch Kondensation
Das große Krabbeln	Optik
Hot Shots	Memorymetalle
Mc Gyver	Komplexbildner
Mc Gyver	Herstellung eines Feuerlöschers
Mc Gyver	Daniell-Element
Mc Gyver	Vanadium
Mc Gyver	Neutralisation von Säure (durch Milch und Backofenreiniger)
Rambo III	Fluoreszenz
Die Simpsons	Neutralisation von konzentrierter Säure mit konzentrierter Lauge
Die Simpsons	Schnapsbrennen
Sommerfelds	Veresterung (Buttersäure)
Sommerfelds	Selbstentzündung (Geldscheine)
Spiderman	Die Chemie der Spinnenseide
Superman	Herstellung von Diamanten
Terminator	Metallische Flüssigkeiten
The 6th Day	Thermitverfahren

Tabelle 84: Weitere mögliche Filme zur Konzeption von ChemCi-Einheiten

Der weitere Fundus an möglichen Filmen ist noch groß, es bieten sich zahlreiche Möglichkeiten Unterrichtseinheiten nach dem ChemCi-Konzept zu erarbeiten.

So sind bereits experimentelle Vorarbeiten zum Themengebiet „Chrom IV und Chrom III“ anhand des Spielfilms „Erin Bronkovich“ geleistet. Die Konzeption einer Unterrichtseinheit wäre wünschenswert.

Weitere Vorarbeiten zur Erschließung eines neuen Themengebiets „Geheimtinte“ sind zu den Filmen „Das Vermächtnis der Tempelritter“ und „Der Name der Rose“ vorhanden.



Zudem bietet das Themengebiet des Tauchens noch vielfältige weitere Ansatzpunkte für motivierenden, spannenden Chemie-, bzw. naturwissenschaftlichen Unterricht (vgl. Kapitel 4.7).

Ein äußerst interessanter Themenbereich, der auch bei Schülerinnen und Schülern aller Altersstufen gut ankommen würde, ist die Forensik. Hierbei bietet sich die Erarbeitung der DNA, z.B. ihr Aufbau, ihre Funktion, ihr Nachweis an. Damit könnten Elemente der Chemie und Biologie miteinander verknüpft werden. Eine weitere spannende Unterrichtseinheit könnte mit Hilfe gerichtsmedizinischer Sendungen den Bereich des Blutes, seine Funktionen und gerichtmedizinischen Nachweise konzipiert werden.

Erstrebenswert wären zudem weitere umfangreiche, empirische Untersuchungen der vorgestellten Unterrichtseinheiten hinsichtlich Motivation und Leistungszuwachs bei den teilnehmenden Schülerinnen und Schülern. Besonders interessant wären Untersuchungen darüber wie sich der ChemCi-Unterricht auf die Beliebtheit des Faches Chemie auswirkt.

Zusätzlich denkbar ist die Erhebung hinsichtlich einer Genderabhängigkeit des Interesses an ChemCi-Unterrichtseinheiten. Spannend wäre hierbei festzustellen, ob es Filme gibt, die eher Jungen bzw. Mädchen ansprechen.



7.1 Abbildungsverzeichnis

1	Lernen durch Instruktion (verändert nach Mandl, 1995, S. 28)	4
2	Lernen als Konstruktion (verändert nach Mandl, 1995, S. 47)	7
3	Übersicht lerntheoretischer Ansätze (Tulodziecki, Herzig & Grafe, 2010, S. 90)	8
4	Beispielaufgabe MAI-Ansatz (Kuhn, 2005, S. 283)	13
5	Varianten der Lernmotivation (verändert nach: Deci und Ryan, 2000)	16
6	Motivationsarten nach Deci und Ryan ergänzt durch Krepp (Kramer, 2003, S. 15)	17
7	Bedingungen motivierten Lernens (Prenzel, 1998)	18
8	Zusammenspiel der vier Kompetenzbereiche in den Naturwissenschaften (verändert nach: MNU 2004a, S.2)	28
9	Flucht vor Dante´s Peak (Dante´s Peak, Universal, 1997)	35
10	Bildung einer sauren Lösung nach dem Konzept von Arrhenius	37
11	Ausbruch des Stromboli (Gawenda, 2010, http://www.fotocommunity.de/pc/pc/display/21675303)	41, 253, 268
12	Ausbruch des Mount St. Helens (United States Geological Survey, 1980)	41
13	pH-Wertmessung mit pH-Meter (Dante´s Peak, Universal, 1997)	46
14	Leitfähigkeitsmessung	47
15	Erhitzen von Mineralwasser	48
16	Einleiten von Kohlenstoffdioxid in Wasser	48
17	Herstellung Kohlen-/schweflige Säure	49
18	Metall und Säure	50
19	Reaktion von Säure mit Metall	51
20	Concept-Map Säure	53
21	Säuren und Basen nach dem Brönstedt-Lowry-Konzept	58
22	Kontaktverfahren (Seilnacht, 2011, http://www.seilnacht.com/Lexikon/Doppelko.htm)	60
23	Schülerarbeitsblatt Internetrecherche AB DG1	63
24	Herstellung von Schwefeldioxid	65
25	Verbrennen von Schwefel mit Katalysator	67
26	Rösten von Pyrit	68
27	Die Entstehung von saurem Regen (Klett, 1995)	71, 289
28	Schädigungen durch sauren Regen (Schrödel, 1994)	71, 289
29	Ausschnitt einer Folie der Unterrichtseinheit F DG2	71
30	Regen (peppitext, 2010, http://www.peppitext.de)	72, 291
31	Ausschnitt aus einer Folie der Unterrichtseinheit F DG 4	72
32	Auto im Regen (solarlumax, 2010, http://www.solar-lumax.de)	72, 290
33	Folie saurer Regen und seine Auswirkungen auf Autos und Fahrräder F DG3	72
34	Kontaktverfahren (Elemente Chemie 2, Arbeitsblätter CD, Klett, 2010)	73, 291
35	Ausschnitt aus einem Arbeitsblatt der Unterrichtseinheit AB DG16	73
36	Im Rausch der Tiefe (Les Films de Loup, 1987, http://www.cinema.de/stars/star/jean-marc-barr,1571095,ApplicationStar.html)	76
37	Überblick über die verschiedenen Taucharten	78



38	Bild einer präparierten Schweinelunge	79
39	Schnitt entlang eines Bronchialasts einer Schweinelunge	79, 92
40	Zusammensetzung der Lungenkapazität	80
41	Druck als Kraft pro Fläche	82
42	Umfrageergebnisse Tauchen I	86
43	Umfrageergebnisse Tauchen II	87
44	Schemazeichnung Simulation der Bauchatmung	89
45	Schemazeichnung Unterscheidung Raumluft / ausgeatmete Luft	90
46	Auszug aus einem Arbeitsblatt der Unterrichtseinheit AB R5	91
47	Schemazeichnung Vitalkapazität	92
48	Schnitt in die Lungenspitze	93
49	Auszug aus Arbeitsblatt AB R 10	94
50	Schemazeichnung Überprüfung des CO ₂ -Gehalts mit Universalindikator	95
51	Ausschnitt aus einem Arbeitsblatt der Unterrichtseinheit AB R13	97
52	Tieftauchen mit angehaltener Luft (Silbernagl, 2003, S. 135)	99, 336
53	Men of Honor (Fox, 2000, http://www.contactmusic.com/images/reviews2/menofhonor.jpg)	104
54	Helmtaucher (Kant, 2010, http://www.fotocommunity.de/pc/pc/display/9310164)	105, 112, 358
55	Druck-Volumen-Abhängigkeit eines idealen Gases (Mortimer, 2003, S. 147)	106
56	Temperatur-Volumen-Abhängigkeit (Mortimer, 2003, S. 147)	107
57	Nächtliches Lernen (Men of Honor, Fox, 2000)	110, 351, 349
58	Schemazeichnung Versuch zum Boyle`schen Gesetz	111
59	Graphische Auswertung Versuch zum Boyle`schen Gesetz	112
60	Ausschnitt aus einem Arbeitsblatt der Unterrichtseinheit AB H1	112
61	Ausschnitt Arbeitsblatt AB H2	113
62	Ausschnitt II Arbeitsblatt AB H1	113
63	Ausschnitt Folie F 1	114
64	Graphische Auswertung Versuch 1. Gesetz von Gay-Lussac	115
65	Das Boot (Bavaria, 1981, http://www.filmstadt-shop.de/out/pictures/2/das-boot-dirc-cut-1%282%29.jpg)	118
66	Mannschaft der Apollo 13 vor dem Start (Apollo 13, Universal, 1995, http://blog.silive.com/weather/2008/05/tn2_apollo_13_4.jpg)	119
67	Matrose mit Kalipatrone an Bord der U 96 (Das Boot, Bavaria, 1981)	121
68	Schemazeichnung eines Tauchretters der Firma Dräger 1914 (verändert nach: http://www.therebreathersite.nl/Zuurstofrebreathers/German/photos_selbstretter-tubben.htm , 2010)	121
69	Abbildung eines halbgeschlossenen Rebreathers (verändert nach: http://www.rebreathers.net/de/technik/scr-flash.php , 2009)	122
70	Abbildung eines geschlossenen Rebreathers (verändert nach: http://www.rebreathers.net/de/technik/scr-flash.php , 2009)	122
71	Der Mensch als Subsystem (verändert nach Messerschmid, 1997, S. 113)	123
72	Abbildung eines Spacelabs (Messerschmid, 1997, S.116)	124
73	Ausschnitt der Lagebesprechung (Das Boot, Bavaria, 1981)	127
74	Schemazeichnung Kaliumhydroxid und Kohlenstoffdioxid	127

75	Rechenanlässe zu "Das Boot"	128
76	CO ₂ -Problematik an Bord der Apollo 13 (Apollo 13, Universal, 1995)	129
77	Rechenanlass zur Apollo 13-Mission	130
78	Wiedereintritt in die Erdatmosphäre (Apollo 13, Universal, 1995)	130
79	Dr. No mit Tauchern (James Bond: Feuerball, Fox, http://www.cinefacts.de/kino/bild/3995_e8c8b392521c6ab43c95777bc3e89f8f/3995/sg/bild_gross/james_bond_007_feuerball_bild_2.jpg , 1965)	133
80	Kristallstruktur von Kaliumhyperoxid (Röhr, http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/oxide_3_1.html , 2008)	134
81	Das Atemschutzgerätes AirElite der Firma MSA Auer (verändert nach Auer, http://www.msa-auer.de/uploads/tx_comacatalog/27-430.2_AirElite_4h_DE_18.05.05.pdf , 2007)	135
82	MO-Schema des Hyperoxid-Anions (Lorenz, http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/alkalimet_verb/alkalimet_verb.htm , 2010)	136
83	Schematische Darstellung einer Gouy'schen Waage (Housecroft, 2006, S. 640)	137
84	Mini-Tauchgerät (Feuerball, Fox, 1965)	139
85	Tauchermaske auf KO ₂ -Basis (therebreathersite.nl, http://www.therebreathersite.nl/Zuurstoffbreathers/Operational%20principes/Images%20Op%20Principles/Chemical.jpg , 2010)	140
86	Schemazeichnung Reaktion von Kaliumhyperoxid mit Kohlenstoffdioxid	140
87	Partielle Rotfärbung von Kaliumhyperoxid durch den thermischen Verfall in Sesquioxide	141
88	Qualitative Untersuchung des gasförmigen Reaktionsprodukts mit Universalindikator	142
89	Positive Glimmspanprobe	143
90	Gaschromatographische Untersuchung des Reaktionsprodukts (10 Messungen)	144
91	Austreiben von Kohlenstoffdioxid aus Carbonat durch Salzsäure	145
92	Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt AB F3	146
93	Schemazeichnung "Das brennende Teelicht im geschlossenen System"	147
94	Sicherheitshinweise im Umgang mit Kaliumhyperoxid (Merk, 2009)	148
95	Rechenanlässe aus dem Bereich Tauchen	152
96	Rechenanlässe aus dem Bereich Tauchen	152
97	Rechenanlässe aus dem Bereich Tauchen	153
98	Übersicht Taucherkrankheiten (Kromp, Roggenbach & Bredebusch, 1999, S. 97)	153
99	Flüssigkeitsatmung (Abyss, Fox, http://tauchen.nullzeit.at/Content.Node/wissenswertes/infopoint/fluessigatmung.jpg , 1989)	154
100	Rechenanlässe Taucherglocke	156
101	Schnorcheltauchen (Silbernagl 2003, S. 135)	157
102	Schemazeichnung Schnorcheltaucher	158
103	Schemazeichnung Taucherflasche	159
104	Schemazeichnung Druckluftflasche	160



105	Durchschnittlicher Massenverlust eines Teelichts	162
106	Schemazeichnung Atemregeneration durch Kaliumhyperoxid	165
107	Neodymmagnet, Kantenlänge 12 mm, Stückpreis ca. 1,76 €	165
108	Kaliumhyperoxid in Glaskapillare, frei hängend	166
109	Kaliumhyperoxid im Magnetfeld eines Neodymmagneten	166
110	Versuchsaufbau Lithiumperoxid und Kohlenstoffdioxid	167
111	Gaschromatogramm Lithiumperoxid (10 Messungen)	167
112	Skizze eines Haares	169,
113	Übersicht der Aminosäuren	170
114	Dauerwellprodukte	172
115	Lockenwickler (Slick, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/Lockenwickler.jpg , 2011)	177, 405
116	Einstiegsfolie Unterrichtseinheit Dauerwelle F W1	177
117	Inhalt des Podcast SWR3-Bescheidwisser (http://www.podcast.de/episode/1473573/Das+Geheimnis+der+Dauerwelle/ , 2011)	177
118	Schwefelnachweis im Pferdehaar	178
119	Auf Glasstab aufgedrehte Haarsträhne fixiert mit Nescofilm	179
120	Haarsträhne nach Behandlung mit Well- und Fixierlösung	180
121	Abbildung 121: Menschenhaar, 200 fache Vergrößerung (Homann, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c1/Menschenhaar_200_fach.jpg/220px-Menschenhaar_200_fach.jpg , 2006)	180, 386
122	Wasserstoffbrückenbindung	183
123	Disulfidbrückenbindung	183
124	Ausfällen von Cystin	183
125	Perücke (De Vermont, Nicolas de Largilliere)	185, 404
126	Dauerwellapparat (Bundesarchiv, Bild 102-08896)	185, 404
127	Die Dauerwelle im Wandel der Zeit AB W13	185
128	Text Marc der Chemiereporter, Folge 91 (http://corporate.basf.com/de/presse/podcast/channel2/91_BASF_Podcast_Reporter_de.mp3)	186
129	Chromatogramm von Cystin	189
130	Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der H ₂ O ₂ -Menge	190
131	Schemazeichnung Pufferwirkung	191
132	Mikroskopische Aufnahme eines unbehandelten Haares	192
133	Aufgequollenes Haar nach Behandlung	192
134	Beispiel einer offenen Reproduktionsaufgabe	196
135	Beispiel einer geschlossenen Transferaufgabe	196
136	Beispiele allgemeiner Fragen aus den Schülerinterviews	196
137	Beispielfragen hinsichtlich Unterschieden zwischen der Unterrichtseinheit und gewöhnlichem Unterricht	196
138	Beispielfragen zum ChemCi-Projekt	196
139	Abbildung ChemCi-Box	197
140	„Spaß am Unterricht“ (Fürniss, 2011)	198
141	„Intrinsische Motivation“ (Fürniss, 2011)	199
142	"Leistungserfassung gesamt" (Fürniss, 2011)	201
143	„Leistungen schwache Schüler“ (Fürniss, 2011)	201
144	„Leistung bei stärkeren Schülern“ (Fürniss, 2011)	202
145	Auswertung Dantes Peak I- Idee und Innovation	205

146	Auswertung Dantes Peak I – Film und Unterrichtsinhalt	206
147	Auswertung Dantes Peak - Struktur	207
148	Frau Müller (Bigstock, http://static2.bigstockphoto.com/thumbs/3/7/1/large2/17343116.jpg , 2012)	232, 233
149	Svante Arrhenius (Zeitschrift für Physikalische Chemie, Band 69, 1909)	235
150	Stratovulkan (Klett, http://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=infothek_artikel&extra=TERRA%20EWG-Online&artikel_id=105582&inhalt=kss_klett01.c.132043.de , 2005)	236
151	Marmorfigur(Wypch, http://solarwerkstatt.webhosting-einfach.de/famosCD/Informationen/Klima/ESPEREdez05/ESPEREde/www.atmosphere.mpg.de/enid/0,59a8eb73686f7774797065092d097072696e74/3__Saurer_Regen/-_Auswirkungen_2_42s.htm , 2003)	269
152	Marmorfigur geschädigt durch sauren Regen (Wypch, http://solarwerkstatt.webhosting-einfach.de/famosCD/Informationen/Klima/ESPEREdez05/ESPEREde/www.atmosphere.mpg.de/enid/0,59a8eb73686f7774797065092d097072696e74/3__Saurer_Regen/-_Auswirkungen_2_42s.htm , 2003)	269, 270
153	Baumschädigungen (bdk, http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Waldschaeden_Erzgebirge_3.jpg&filetimestamp=20061101203642 , 1998)	269, 270
154	Abgestorbener Baum	269
155	Schwefelsäuresynthese (Chemische Verfahren, http://chemische-verfahren.homepagestart.de/ , 2011)	285
156	Doppelkontaktverfahren (Elemente Chemie 2, Klett, 2010)	287, 288
157	Lungenpräparat (Johannes Gutenberg Universität Mainz, http://www.phmi.uni-mainz.de/4381.php , 2009)	293
158	Bauchatmung (Materie Natur Technik, Cornelsen, 2005, S. 55)	294
159	Brustatmung (Materie Natur Technik, Cornelsen, 2005, S. 55)	294
160	Lungenbläschen (Einblicke Biologie und Chemie 2, Klett, 1999, S.49)	296
161	Taucher (Tichatzky, 2011)	302, 309
162	Schemazeichnung Lunge (Riele, http://www.aktivwellness-magazin.de/images/stories/Gesundheit/lunge_gesundheit_st.jpg , 2011)	303, 310
163	U-Boot (Reiff, http://www.fotocommunity.de/pc/pc/display/9498474 , 2007)	341
164	Bibliothek (Men of Honor, Fox, 2000)	350, 352
164	Bindungen im Haar (Sengpiel, 1994): Kosmetik – Chemie. Hanno- ver: Schroedel	399



7.2 Tabellenverzeichnis

1	Verlauf der MAI-Studie (Kuhn, 2010)	13
2	Die vier Kompetenzbereiche des Faches Chemie (KMK, 2004a)	26
3	Die vier Basiskonzepte der Chemie (verändert und ergänzt nach MNU, 2004a)	26
4	Die Basiskonzepte der Biologie (verändert und ergänzt nach: MNU, 2004b)	27
5	Die Basiskonzepte der Physik (verändert und ergänzt nach: MNU, 2004c)	28
6	Die Leitthemen der 2-stündigen Kursstufe Chemie	30
7	Leitthemen 4-stündige Kursstufe Chemie	30
8	Die Leitthemen der Kursstufe Physik	32
9	Die Leitthemen der Kursstufe Biologie	33
10	Szenenüberblick Dante´s Peak I	36
11	Auszug aus der Spannungsreihe der Metalle (Mortimer 2003, Anhang B)	40
12	Überblick über die thematisierten Basiskonzepte	42
13	Inhalte der Basiskonzepte	44
14	Exemplarische Schülerbeobachtungen	52
15	1. Doppelstunde der Unterrichtseinheit Dante´s Peak I	54
16	2. Doppelstunde der Unterrichtseinheit Dante´s Peak I	55
17	3. Doppelstunde der Unterrichtseinheit Dante´s Peak I	55
18	4. Doppelstunde der Unterrichtseinheit Dante´s Peak I	56
19	5. Doppelstunde der Unterrichtseinheit Dante´s Peak I	56
20	6. Doppelstunde der Unterrichtseinheit Dante´s Peak I	57
21	Thematisierte Leitlinien der Unterrichtseinheit Dante´s Peak II	62
22	1. Doppelstunde der Unterrichtseinheit Dante´s Peak II	69
23	2. Doppelstunde der Unterrichtseinheit Dante´s Peak II	70
24	3. Doppelstunde der Unterrichtseinheit Dante´s Peak II	70
25	1. Doppelstunde der Kontrolleinheit Dante´s Peak II	74
26	2. Doppelstunde der Kontrolleinheit Dante´s Peak II	74
27	3. Doppelstunde der Kontrolleinheit Dante´s Peak II	75
28	Szenenüberblick „Im Rausch der Tiefe“	76
29	Szenenüberblick „Freediver“	77
30	Szenenüberblick "Apnoe-Taucher - Im Tiefenrausch	77
31	Überblick über die thematisierten Basiskonzepte der Biologie	83
32	Überblick über die thematisierten Basiskonzepte der Chemie	84
33	Überblick über die thematisierten Basiskonzepte der Physik	85
34	Thematisierte Kompetenzbereiche der Unterrichtseinheit	87
35	Durchschnittliche Ergebnisse einer 10. Klasse (25 Schüler) zu Versuch 11	88
36	Durchschnittliche Ergebnisse einer 10. Klasse (25 Schüler) zu Versuch 14	91
37	1. Unterrichtsblock der Einheit „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“	101
38	2. Unterrichtsblock der Einheit „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“	101
39	3. Unterrichtsblock der Einheit „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“	102
40	4. Unterrichtsblock der Einheit „Im Rausch der Tiefe“ und „Freediver“	102
41	Szenenüberblick „Men of Honor“	104
42	Erfüllte Leitlinien des Physikunterricht durch die Unterrichtseinheit „Men of Honor“	109
43	Messergebnisse Versuch zum Boyle`schen Gesetz	111



44	Messergebnisse Versuch Gay-Lussac	115
45	1. Doppelstunde der Unterrichtseinheit „Men of Honor“	116
46	2. Doppelstunde der Unterrichtseinheit „Men of Honor“	117
47	3. Doppelstunde der Unterrichtseinheit „Men of Honor“	117
48	Szenenüberblick „Das Boot“	119
49	Szenenüberblick „Apollo 13“	120
50	Überblick über die bei der Unterrichtseinheit thematisierten Leitlinien der Chemie	126
51	Überblick über die bei der Unterrichtseinheit thematisierten Leitlinien der Biologie	126
52	1. Stunde der Unterrichtseinheit "Das Boot" und "Apollo 13"	131
53	2. und 3. Stunde der Unterrichtseinheit „Das Boot“ und „Apollo 13“	131
54	4. Stunde der Unterrichtseinheit „Das Boot“ und „Apollo 13“	132
55	Szenenüberblick „Feuerball“	133
56	Überblick über chemische Leitlinien der Unterrichtseinheit „Feuerball“	138
57	Überblick über chemische Leitlinien der Unterrichtseinheit „Feuerball“	139
58	1. Doppelstunde der Unterrichtseinheit "Feuerball"	149
59	2. Doppelstunde der Unterrichtseinheit "Feuerball"	149
60	Szenenüberblick „Abyss“	151
61	Szenenüberblick „Geo – Reportage Apnoetauchen“ II	155
62	Szenenüberblick „Im Rausch der Tiefe“ II	156
63	Szenenüberblick "James Bond jagt Dr. No"	157
64	Vergleich von in Atemmasken verwendeten Hydroxiden	163
65	Elementaranalyse eines Haares (Zahn, 1989, S. 142)	169
66	Überblick über die fachwissenschaftlichen Inhalte der Chemie während der Unterrichtseinheit	175
67	Berücksichtigte Leitlinien der Chemie	175
68	Überblick über Fachwissenschaftliche Inhalte der Biologie im Verlauf der Unterrichtseinheit	176
69	Überblick über die handlungsorientierten Inhalte der Biologie während der Unterrichtseinheit	176
70	Bestandteile eines Wellmittels (Lang, 2004)	181
71	Bestandteile eines Fixiermittels (Lang, 2004)	181
72	1. Doppelstunde der Unterrichtseinheit "Dauerwelle"	187
73	2. Doppelstunde der Unterrichtseinheit "Dauerwelle"	188
74	3. Doppelstunde der Unterrichtseinheit "Dauerwelle"	188
75	Ergebnisse Pufferwirkung Wellflüssigkeit	192
76	Ergebnisse Quellwirkung	193
77	Überblick über den Unterricht der Kontroll- und Experimentalgruppe	194
78	Übersicht der Interventionsstudie	195
79	Werte „Spaß am Unterricht“ (Fürniss, Rubner, Friedrich, 2011)	198
80	Werte „Intrinsische Motivation“ (Fürniss, Rubner, Friedrich 2011)	199
81	Werte „Leistungserfassung gesamt“ (Fürniss, Rubner, Friedrich 2011)	201
82	Werte "Leistungen schwache Schüler" (Fürniss, Rubner, Friedrich, 2011)	202
83	Werte "Leistungen bei stärkeren Schülern" (Fürniss, Rubner, Friedrich, 2011)	202
84	Weitere mögliche Filme zur Konzeption von ChemCi-Einheiten	208



7.3 Versuchsverzeichnis

1	Testen von Alltagsprodukten	45
2	Leitfähigkeitsmessung von Essigsäureverdünnungen	46
3	Wie entstehen Säuren?	48
4	Herstellung von schwefliger Säure / Kohlensäure	49
5	Der Einfluss von saurer Lösung auf Zink, Eisen und Stahl	50
6	Die Reaktion von Säure mit Metallen	51
7	Die Wirkung von Säure auf tierisches Gewebe	53
8	Herstellen von Schwefeldioxid und Einleiten in Universalindikatorlösung	65
9	Die Verbrennung von Schwefel mit Katalysator	68
10	Rösten von Pyrit	69
11	Wie lange kannst du die Luft anhalten?	88
12	Die Simulation der Bauchatmung	89
13	Versuch zur Unterscheidung von Raumluft und ausgeatmeter Luft	90
14	Wie oft atmet ein Mensch in der Minute?	91
15	Bestimmung der Vitalkapazität	92
16	Reversible Reaktion von Kohlenstoffdioxid mit Wasser	93
17	Überprüfen des Kohlenstoffdioxidgehalts mit Universalindikator	94
18	Der hydrostatische Händedruck	96
19	Wovon hängt der Druck ab?	96
20	Woher kommt der Druck?	96
21	Druckabhängigkeit der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid	99
22	Versuch zum Boyle'schen Gesetz	111
23	1. Gesetz von Gay-Lussac	114
24	2. Gesetz von Gay-Lussac / Das Gesetz von Amontons	115
25	Die Reaktion von Kaliumhydroxid und Kohlenstoffdioxid	127
26	Die Reaktion von Lithiumhydroxid und Kohlenstoffdioxid	129
27	Die Reaktion von Kaliumhyperoxid mit Kohlenstoffdioxid	140
28	Qualitative Untersuchung des gasförmigen Reaktionsprodukts – Kohlenstoffdioxid	141
29	Qualitative Untersuchung des gasförmigen Reaktionsprodukts – Sauerstoff	142
30	Gaschromatographische Untersuchung des gasförmigen Reaktionsprodukts mit AK LowCost Gaschromatograph von Kapfenberg	143
31	Untersuchung des festen Reaktionsprodukts	144
32	Das brennende Teelicht im geschlossenen System	147
33	Schnorcheltaucher	158
34	Tauchen mit Drucklufttauchgerät	159
35	Tauchen mit Kreislauftauchergerät / geschlossener Rebreather (externe Atemgaszufuhr und Kalkabsorber)	160
36	Ermittlung des durchschnittlichen Massenumsatzes beim Abbrennen eines Teelichts	161
37	Die Reaktion von Natriumhydroxid mit Kohlenstoffdioxid	163
38	Die Reaktion von Natriumhydroxid und Kohlenstoffdioxid - Abwandlung	163
39	Atemluftaufbereitung durch LiOH bzw. KOH	164



40	Atemregeneration durch Kaliumhyperoxid	165
41	Paramagnetismus von Kaliumhyperoxid	165
42	Die Reaktion von Lithiumperoxid mit Kohlenstoffdioxid mit gaschromatographischer Untersuchung	166
43	Die Schuppenschicht des Haares	178
44	Nachweis von Schwefel im Pferdehaar	178
45	Wasser- und Dauerwelle im Vergleich (phänomenologisch)	179
46	Mikroskopieren von Haaren	180
47	Iod-Stärke-Reaktion von Well- und Fixiermittel	182
48	Die Dauerwelle im Reagenzglas	183
49	Die Mildwelle	185
50	Chromatographie von Cystin und Cystein	189
51	Demoversuch zur Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der H_2O_2 -Menge	190
52	Die Abhängigkeit von der Temperatur	191
53	Pufferwirkung von Dauerwellmittel und Stabilisierungsfluid	191
54	Quellen von Haaren	192



7.4 Literaturverzeichnis

Aebli, H.: Zwölf Grundformen des Lehrens. Eine allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage. Stuttgart: Klett Verlag 1985.

Apnoe-Taucher – Im Tiefenrausch: Geo Reportage 2009.

Apollo 13. Oscar Edition: Universal 1995.

Atkins, P.W. & Beran, J.A.: Chemie – einfach alles. Weinheim: VCH 1996 .

Attenberger, A. & Schultz-Paasch, G.: Fachkunde für Frisöre. 6. Auflage. Troisdorf: Bildungsverlag Eins 2008.

Blumenschein, P.: Eine Metaanalyse zur Effektivität multimedialen Lernens am Beispiel der Anchored Instruction. Albert-Ludwigs Universität Freiburg 2003.

Boot, das. Wenn Jäger zu Gejagten werden. Bavaria: 1997.

Bovet, G. (a): Lernmotivation. In: Leitfaden Schulpraxis. Pädagogik und Psychologie für den Lehrberuf. Hrsg. v. Giseline Bovet und Volker Huvendiek. Berlin: Cornelsen 2008. S. 299-321.

Bovet, G. (b): Wissenserwerb und Problemlösen. In: Leitfaden Schulpraxis. Pädagogik und Psychologie für den Lehrberuf. Hrsg. v. Giseline Bovet und Volker Huvendiek. Berlin: Cornelsen 2008. S. 221-254.

Brown, T.: Multimedia in Education. Anchored Instruction.
http://scs.une.edu.au/573/573_8.html. (11.07.08.).

Clancey, W.: Situated action: A neuropsychological interpretation. In: Cognitive Science 17. S. 87-116.

Dante´s Peak. Special Edition: Universal 1997.

Deberitz, J. & Boche, G.: Industrielle, medizinische und naturwissenschaftliche Bedeutung. Lithium und seine Verbindungen. Chemie in unserer Zeit 37 (2003). S. 258-266.



Deci, E. L., & Ryan, R. M.: The "what" and "why" of goal pursuits. Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry* 11 (2000). S. 227-268.

Decker, R. & Decker, B.: *Vulkane. Abbild der Erddynamik*. Heidelberg: Spektrum 1992.

Dittmer, M.; Balzereit, C.; Berg, S.; Hülse, J.; Schmidt, A.; Schulz, K.; Maliers, J. & Duvinage, B.: Saurer Regen. Ursache, Auswirkung und Vermeidung. In: *Praxis der Naturwissenschaften. Chemie im Unterricht* 3 (2006). 55. S. 22-26.

Doeneke, D., Koolmann, J., Fuchs, G. & Gerok, W.: *Karlsons Biochemie und Pathobiochemie*. 15. Auflage. Stuttgart: Thieme 2005.

Dubeck, L.; Moshier, S. & Boss, J.: *Fantastic Voyages. Learning Science through Science Fictions Films*. 2. Auflage. New York: Springer 2004.

Efthimiou, C. & Llewellyn, R.: *Hollywood Blockbuster. Unbegrenzter Spaß – begrenzte naturwissenschaftliche Bildung*. In: *PdN-PhiS* 7 (2007) 56. S. 21-30.

Ehm, O.: *Der neue Ehm. Tauchen noch sicherer. Tauchmedizin für Sporttaucher, Berufstaucher und Ärzte*. Cham: Müller Rüschnikorn 2007.

Faller, A.: *Der Körper des Menschen. Einführung in Bau und Funktion*. 13. Auflage. Stuttgart: Thieme 1999.

Foster, C.: *Anchored Instruction*.

<http://coe.sdu.edu./eet/articles/anchoredinstruc/start.htm>. (11.07.2008).

Fredebeul, M.: *Situiertes Lernen und Blended Learning. Didaktische Konzeption und methodische Gestaltungsansätze*. Saarbrücken: Verlag Dr. Müller 2007.

Freediver: Sunfilm 2003.

Fürniss, S., Rubner, I., Friedrich, J.: *Wirkung von an Spielfilmen verankerten Unterrichtskonzeptionen für den Chemieunterricht auf die Motivation und den Lernerfolg*. (Zur Veröffentlichung eingereicht)

Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin: HPNS.

<http://www.gtuem.org/985/Tauchmedizin/HPNS.html>, 2011. (11.09.2010).



Graf, E.: Aufgaben gut stellen und richtig beantworten. In: NiU 11 (2000). S. 35-37.

Greenwood, Norman: Chemie der Elemente. Weinheim: VCH 1990.

Gruber, A & Mandl, H.: Was lernen wir in Schule und Hochschule? Träges Wissen?
In: Mand, H. & Gerstemeier, J.: Die Kluft zwischen Wissen und Handeln. Göttingen.
Hogrefe. S.139-156.

Günter, T.: Raumstationen. Von den Anfängen bis zur ISS, Teil 1. In: Sterne und
Weltall 40 (2001). 1. S. 29-34.

Häußler, P.; Bündler, W.; Duit, R.; Gräber, W. & Mayer, J.: Naturwissenschaftsdidak-
tische Forschung. Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Kiel: IPN 1998.

Hedewig, R.: Atmung bei Menschen und Tieren. In: Unterricht Biologie. 26 (2002). S.
4-13.

Hess, H.: Taschen Atlas Vulkane und Erdbeben. Gotha: Justus Perthes 2003.

Hoffmann, I & Ralle, B.: Atmen unter Extrembedingungen. In: PdN-ChiS 50 (2001).
S. 16-22.

Holleman, A. F.; Wiberg, N.: Lehrbuch der Anorganischen Chemie. 101. Auflage.
Berlin: de Gruyter 1995. S. 1173-1177.

Holzapfel, R.: Richtig tauchen. 7. Auflage. München: BLV Verlagsgesellschaft 1995.

Horst Siebert: Konstruktivistisch lehren und lernen. Augsburg: Zentrum für interdis-
ziplinäres erfahrungsorientiertes Lernen 2008.

Housecroft, C. E.; Sharpe, A. G.: Anorganische Chemie, 2. Auflage. München: Pear-
son Studium 2006.

Jackson, J.: Tauchen. Vom Einstieg bis zum Könner. Bielefeld: Delius Klasing 2005.

James Bond - Feuerball: Fox 1965.

James Bond - James Bond jagt Dr. No.: mgm 1962.



Janssen, H.: Mit 007 im Hörsaal. Warum Bonds Reißverschluss-Trick brandgefährlich ist. In: Spiegel online (2005).

<http://www.spiegel.de/unispiegel/studium/0,1518,392009,00.html>, 2011. (22.05.2011).

Jany, P., Diekmann, K., Lipp-Thoben & H., Lück, D.: Friseurfachkunde. 6. Auflage. Wiesbaden: Vieweg & Teubner 2009.

Klauser, F.: „Anchored Instruction“ – eine Möglichkeit zur effektiven Gestaltung der Lehr-Lern-Prozesse in der kaufmännischen Ausbildung. In: Erziehungswissenschaft und Beruf. 46 (1998) 3. S. 283-305.

KMK Beschlüsse der Kultusministerkonferenz Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. 16.12.2004. Luchterhand 2005a.

KMK Beschlüsse der Kultusministerkonferenz Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. 16.12.2004. Luchterhand 2005b.

KMK Beschlüsse der Kultusministerkonferenz Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. 16.12.2004. Luchterhand 2005c.

Kohl, K.: Der hydrostatische Händedruck. Ein echtes Heimexperiment. In: MNU 61 (2008) 3. S. 150-151.

Kramer, Klaudia: Die Förderung von motivationsunterstützendem Unterricht – Ansatzpunkte und Barrieren. Christian Albrechts Universität Kiel 2002.

Kromp, T.: Praxis des Tauchens. 3. Auflage. Stuttgart: Nagelschmid 1999.

Kuhn, J.: Authentische Aufgaben im Physikunterricht. Wiesbaden: Vieweg & Teubner 2010.

Kuhn, J.: Ein modifizierter Anchored Instruction-Ansatz im Physikunterricht: Ergebnisse einer Pilotstudie. In: Empirische Pädagogik. 19 (2005) 3. S. 281-303.

Kunze, N., Oetken, M.: "KO₂ can do" - ein einfaches Experiment zur Demonstration des Phänomens des Paramagnetismus. CHEMKON 16 (2009) 4. S. 202-203.



Kunze, N.; Oetken, M.: "KO₂ can do" – Ein kurzer Einblick in die faszinierenden Eigenschaften von Kaliumhyperoxid. CHEMKON 17 (2010) 1. S.7-12.

Kunze, N., Friedrich, J., Rubner, I., Oetken, M.: Chemistry and Cinema. Das Projekt ChemCi: Eine Unterrichtseinheit zum Themenfeld Atmung - inszeniert und illustriert mit Szenen aus den Spielfilmen "Das Boot" und "Apollo 13". Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule 59 (2010) 4. S. 6-12.

Kunze, N., Friedrich, J., Rubner, I., Oetken, M.: Chemistry and Cinema - Das Projekt ChemCi: Eine experimentelle Unterrichtskonzeption im Rahmen des ChemCi-Projekts - inszeniert und illustriert an Szenen aus dem Spielfilm "Dante's Peak" Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule 61. (2012) 4. S. 37-42.

Kunze, N., Bröll, L., Zahn, Th., Oetken, M.: "Die Dauerwelle im Reagenzglas" - Die Redoxchemie der Aminosäuren Cystein und Cystin. CHEMKON 18 (2011) 4. S.184-186.

Lang, G: Haarverformungsmittel. In: Wilfried Umbach: Kosmetik von Kopf bis Fuß. 3. Auflage. Wiley-VCH 2004. S. 264-278.

Lave, J.: Situated learning in communities of practice. In: Resnick, L.; Levine, J.; Teasley, S.: Perspectives on socially shared cognition. Washington: American Psychological Association 1988. S. 63-82.

Lenz, T.: Chemische Aspekte der Haarkosmetik – ausgewählt an Beispielen der Pflege, Verformung und Färbung der Haare für den Einsatz im Chemieunterricht. Inauguraldissertation. Köln: Erziehungswissenschaftliche Fakultät 1994.

Lichtner, Hans-Dieter: Strukturierendes Lernen mit Basiskonzepten.
<http://www.biologieunterricht.homepage.t-online.de/Biodateien/Basiskonzepte.pdf>, 2005.

Lindemann, Holger: Konstruktivismus und Pädagogik. Grundlagen, Modelle, Wege zur Praxis. München: Reinhard Verlag 2006.

Linder: Biologie. 21. Auflage. Hrsg. v. Horst Bayrhuber. Hannover: Schroedel 1995.



Maier, U.: Eine qualitative Interviewstudie zum Einfluss des Lehrerverhaltens auf Lernemotionen von Schülern im naturwissenschaftlichen Unterricht. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. 8 (2002) S. 85-102.

Mandl H., Gruber H. & Renkl (2002): Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In: Issing & Klimsa (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Weinheim: Beltz. S. 139 – 149.

Mandl, H. & Gerstenmeyer, J.: Die Kluft zwischen Wissen und Handeln. Göttingen: Hogrefe 2000.

Mandl, H.: Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. Forschungsbericht Nr. 60. München: Ludwig Maximilians-Universität, Institut für Pädagogische Psychologie und Empirische Pädagogik 1995. S. 28.

Men of Honor: Fox: 2000.

Merck: Sicherheitsdatenblatt Kaliumhydroxid. <http://www.merck-chemicals.com/documents/sds/emd/deu/de/8141/814151.pdf>, 2009.

Messerschmid, E.: Raumstationen. Systeme und Nutzung. Berlin: Springer 1997.

Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden Württemberg: Bildungsplan für die Realschule. Ditzingen: Reclam 2004.

MNU: Arbeiten mit den Bildungsstandards im Fach Biologie fachspezifisch und fächerübergreifend, dimensioniert und niveauvoll. Empfehlungen für die Umsetzungen der KMK-Standards Biologie S I. <http://www.mnu.de/biologie/publikationen/153-arbeiten-mit-den-bildungsstandards-im-fach-biologie-s-i>, 2004. (22.05.2011).

MNU: Konkretisierung der Bildungsstandards und Kompetenzbereiche an Beispielen für den Chemieunterricht. Empfehlungen für die Umsetzung der KMK Standards Chemie S I. Teil II Kerncurriculum und Schulcurriculum. http://www.mnu.de/MNU_TR_BS_Chemie-ISBN_16-02-2.pdf, 2004b. (22.05.2011).

MNU: Konkretisierung der Bildungsstandards und Kompetenzbereiche an Beispielen für den Chemieunterricht. Empfehlungen für die Umsetzung der KMK Standards Chemie S I. Teil I Chemieunterricht und Aufgaben. http://www.mnu.de/MNU_TR_BS_Chemie-ISBN_16-02-2.pdf, 2004a. (22.05.2011).



MNU: Lernen und Können im naturwissenschaftlichen Unterricht. Denkanstöße und Empfehlungen zur Entwicklung von Bildungsstandards in den naturwissenschaftlichen Fächern Biologie, Chemie und Physik (Sekundarbereich I)

http://www.mnu.de/images/Dokumente/PDF/conceptual/mnu_publ_bildstand_natwis.pdf, 2005. (22.05.2011).

Moll, J.: Anatomie: Kurzlehrbuch. 18. Auflage. München: Urban und Fischer 2006.

Mortimer, C.E. & Müller, U.: Chemie. Das Basiswissen der Chemie. 8. Auflage. Stuttgart: Thieme 2003.

Motivating students for lifelong learning. OECD. Paris: Centre for Educational Research and Innovation 2000. S. 29.

Naturwissenschaftliches Arbeiten. Klassen 8-10 in der Realschule. Wissenswertes für Lehrkräfte. Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden Württemberg 2009.

Nils Ehrenberg: Am seidenen Faden. <http://www.bild-der-wissenschaft.de/bdw/bdwlive/heftarchiv/index2.php>, 2009. (10.08.2012).

Nuhn, P.: Naturstoffchemie. Mikrobielle, pflanzliche und tierische Naturstoffe. 2. Auflage. Stuttgart: Hirzel 1990.

Open Water: Universum films: 2004.

Osborne, J. & Collins, S.: Pupils' Review of the role and value of the school science curriculum: a focus-group study. International Journal of Science Education 23 (5). S. 441-467.

Pfeifer, P.: Chemie mit Haaren. In: Unterricht Chemie 14 (2003) 75. S. 114-117.

Pfeifer, P.; Lutz, B. & Bader, H.J.: Konkrete Fachdidaktik Chemie. München. Oldenbourg 2002.

Pfeifer, P.: Ist ein Umbruch in Sicht? Chemieunterricht an der Schwelle zum Jahr 2000. In: NiU-Ch. 6 (1995) S. 54-58.



Pintrich, P.: Students' motivational beliefs and their cognitives engagement in classroom academic tasks. In: Dale Schunk: Students perceptions in the classroom. Hillsdale: Erlbaum 1992. S. 149-183.

Poelchau, H.: Veränderte Schülerwelten – Herausforderungen für die Motivation. In: Schülermotivation. Hrsg. v. Dieter Smolka. München: Luchterhand 2004. S. 3-12.

Rattay, B.: Rebreather. <http://www.rebreathers.net/de/technik/scr-flash.php>, 2009.

Reich, K.: Konstruktivistische Didaktik. Lehr- und Studienbuch mit Methodenpool. 3. Auflage. Weinheim: Beltz Verlag 2006.

Rausch der Tiefe: Concorde 2009.

Renkl, A., Mandl, H. & Gruber, H.: Inert knowlege: Analyses and remedies. Educational Psychologist, 31, S. 115-121.

Renkl, A.; Gruber, H.; Mandl, H.; Hinkofer, L.: Hilft Wissen bei der Identifikation und Kontrolle eines komplexen ökonomischen Systems? In: Unterrichtswissenschaft 22 (1994) 3. S. 195-202.

Riedel, E.: Anorganische Chemie. 2. Auflage. Berlin: de Gruyter 1990.

Rieger, C; von der Hardt, H.; Sennhauser, F.H.; Wahn, U. & Zach, M.: Pädiatrische Pneumologie. 2. Auflage. Berlin: Springer 2004.

Schmidkunz, H.: Didaktik der Naturwissenschaften Band 2. Essen: Westarp 1992.

Schmidt, Anja: Komplexität des Anchored-Instruction-Ansatzes in seiner unterrichtspraktischen Realisation als Jasper-Woodburry-Serie. Dissertation. Göttingen 2000.

Schmincke, H.U.: Vulkanismus. 2. Auflage. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 2000.

Scholz, T.: Effekte der glossopharyngalen Insufflation auf das respiratorische System bei Apnoetauchern. Freiburg: Medizinische Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität 2010.

Sengpiel, E.: Kosmetik – Chemie. Hannover: Schroedel 1994.



Shell: Jugend 2010

http://www.shell.de/home/content/deu/aboutshell/our_commitment/shell_youth_study/2010/ (29.06.2011)

Sherwood, R. D., Kinzer, C. K., Bransford, J. D. & Franks, J. J. (1987). Some Benefits of Creating Macro-Contexts For Science Instruction: Initial Findings. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(5), S. 417-435.

Silbernagl, S.: Taschenbuch der Physiologie. Stuttgart: Thieme 2003.

Smolka, Dieter.: Motivation und Leistung. In: Schülermotivation. Hrsg. Von Dieter Smolka. München: Luchterhand 2004. S. 55-76.

Stibbe, A.: Sporttauchen. Der sichere Weg zum Tauchsport. Bielefeld: Klasing 1997.

Stinnesbeck, T.: Kosten der Weltraumfahrt www.optipoint.com/far/far1.htm., 2011.

Strahl, A.; Müller, R.; Mennerich, C. & Süllow, S.: Physics made by Hollywood. Über den Einsatz von Unterhaltungsfilmsequenzen in der Physiklehre. In: Praxis der Naturwissenschaften. *Physik in der Schule* (2007) 56. S. 14-20.

Struckhof, D.: Helmtaucher bei der Marine. <http://www.globaldefence.net/artikel-analysen/10548-europa-deutschland-helmtaucher-bei-der-marine.html>, 2011.(20.08.2012)

The Cognition and Technology Group at Vanderbilt: The Jasper Project: Lessons in Curriculum, Instruction, Assessment, and Professionals Development. New York: Lawrence Erlbaum Associates Inc. 1997.

Tobin, K.: Research on science laboratory activities. In: *School and Science & Mathematics*. 90 (1990). S. 403-418.

Tolan, M. & Stolze, J.: Geschüttelt, nicht gerührt. James Bond und die Physik München: Piper 2008.

Tulodziecki, G., Herzig, B.; Grafe, S.: Medienbildung in Schule und Unterricht. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhard 2010.



Umbach, W.: Kosmetik. Entwicklung, Herstellung und Anwendung kosmetischer Mittel. Stuttgart: Thieme 1995.

Umbach, W.: Kosmetik. Von Kopf bis Fuß. Weinheim: Wiley VCH 2004.

Unterricht aus konstruktivistischer Sicht. Die Welten in den Köpfen der Kinder. Hrsg. von Reinhard Voß. Basel: Beltz Verlag 2005.

Unterricht aus konstruktivistischer Sicht. Hrsg. von Reinhard Voß. 2. Auflage. Basel: Weinheim Verlag 2005.

Vollhardt, K. & Schore, N.: Organische Chemie. 4. Auflage. Wiley-VCH 2005.

Vollmer, G. & Franz, M.: Chemische Produkte im Alltag. Essen und Trinken, Gesundheit und Körperpflege, Reinigung, Düngung und Schädlingsbekämpfung. München: dtv 1985.

Von Ameln, Falko: Konstruktivismus. Tübingen: A. Francke Verlag 2004.

Walter, W.: Lehrbuch der organischen Chemie. 22. Auflage. Stuttgart: Hirzel 1991.

Wanjek, J.: Einflüsse von Alltagsorientierung und Schülerexperimenten auf den Erfolg von Chemieunterricht. Empirische Untersuchungen zur Entwicklung von Interessen und Einstellungen bei Schülern und Schülerinnen mit Vorschlägen für alltagsorientierte Unterrichtseinheiten. Dissertation. Münster: Westfälische Wilhelms-Universität 2000.

Weineck, J.: Sportbiologie. 9. Auflage. Balingen: Spitta 2004.

Weiser, J.: Die Chemie der Dauerwelle. In: PdN-ChiS. 3 (1997) 46. S. 38-40.

Werning, Rolf: Konstruktivismus. Eine Anregung für die Pädagogik? In: Pädagogik 7-8 (1998). S. 39 – 41.

Woest, V.: Der ungeliebte Chemieunterricht? Ergebnisse einer Befragung von Schülern der Sekundarstufe II. In: MNU 50 (1997) S. 50-57.

Zahn, H.: Das Haar aus der Sicht des Chemikers. Chemie in unserer Zeit 23 (1989) 5, 141-150.





