

Chemie und Hollywood-Blockbuster – anhand ausgewählter Szenen aus den Spielfilmen „Das Boot“ und „Apollo 13“

M. Ducci und M. Oetken

Einleitung

In Spielfilmen finden sich häufig naturwissenschaftliche Fragestellungen, die kritisch hinterfragt und experimentell nachgestellt werden können.

In dem Beitrag wird an den Filmen „Das Boot“ und „Apollo 13“ aufgezeigt, wie sich mit Hollywood Blockbustern spannende Zugänge zu verschiedenen Themenfeldern, wie z. B. Atmung, Redoxreaktionen, Sauerstoffverbindungen der Alkalimetalle, herstellen lassen.

Das Unterseeboot Boot U 96 ist eines der berühmtesten U-Boote in der Seekriegsgeschichte. Auf ihm fuhr Lothar-Günther Buchheim, der spätere Bestseller-Autor, auf einer Patrouille als Kriegsberichterstatler; seine Erinnerungen an die Ereignisse dieser Fahrt führten zu dem Best seller-Roman „Das Boot“, der schließlich unter dem gleichen Namen verfilmt wurde.

Das U-Boot U 96 wurde am 16. September 1939 in Kiel zu Wasser gelassen. Die Besatzung bestand aus 48-52 Mann. Am 14. September 1940 wurde es unter dem ersten Kommandanten Heinrich Lehmann-Willenbrock in Einsatz gestellt. Am 30. März 1945 wurde U-96 in Wilhelmshaven bei einem alliierten Bombenangriff versenkt.

Der Film Das Boot beinhaltet eine Szene, bei der ein Fliegerangriff auf das U-Boot bei der Durchquerung der Straße von Gibraltar gezeigt wird.

Bei diesem Angriff wird das Boot schwer beschädigt und sinkt nahezu manövrierunfähig auf den 280 Meter tief liegenden Meeresgrund.

Eine weitere Filmszene zeigt eine Lagebesprechung, in der der Leitende Ingenieur (LI) und der Kapitänleutnant (KaLeu) mit Hilfe eines Konstruktionsplanes des Bootes die Möglichkeit des Wiederauftauchens diskutieren.

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.“

Mit den benannten Filmausschnitten wird für den chemisch interessierten Leser die zentrale Problematik offenkundig, dass der Sauerstoffgehalt im Boot nicht ausreichen wird und dass der CO_2 -Anteil (Kohlenstoffdioxid) stetig zunimmt.

Gleichzeitig kann die wichtige Frage formuliert werden, welche Funktion die Kalipatronen haben, wie sie aufgebaut sind und was sie in dieser Situation bewirken sollen.

Aus weiteren Filmszenen geht hervor, dass die Kalipatronen offensichtlich das CO_2 binden können, das Gas also aus der Umgebungsluft entfernt werden soll. Im Folgenden muss somit die Frage geklärt werden, wie diese CO_2 -Fixierung funktioniert und wie die Tauchretter-Kalipatronen aufgebaut sind.

Ein solcher Tauchretter besteht aus zwei zentralen Bauteilen, einer Alkalipatrone und einer Sauerstoffflasche. Über den Atemschlauch wird die Ausatemluft in die Alkalipatrone (befüllt mit ca. 1 Kg Kaliumhydroxid; KOH) geleitet, durch die gleichzeitig auch Sauerstoff aus der Vorratsflasche in die Lunge gelangt und damit die Zufuhr des notwendigen Atemsauerstoff gewährleistet.

Wir wollen nun die chemische Funktion des Kaliumhydroxids in den Tauchrettern untersuchen.

Versuch 1: Die Reaktion von Kohlenstoffdioxid mit Kaliumhydroxid

Geräte und Chemikalien: Stativmaterial, 2 Kolbenprober 100 mL, 2 Schlauchstücke je ca. 2 cm, Quarzrohr (8-10 cm, $d = 1$ cm), kl. Glasrichter mit Schlauchstück ca. 2cm, Spatel, Uhrglas, Waage, Digitalthermometer mit Temperaturfühler, Glaswolle, Kohlenstoffdioxid, Kaliumhydroxid.

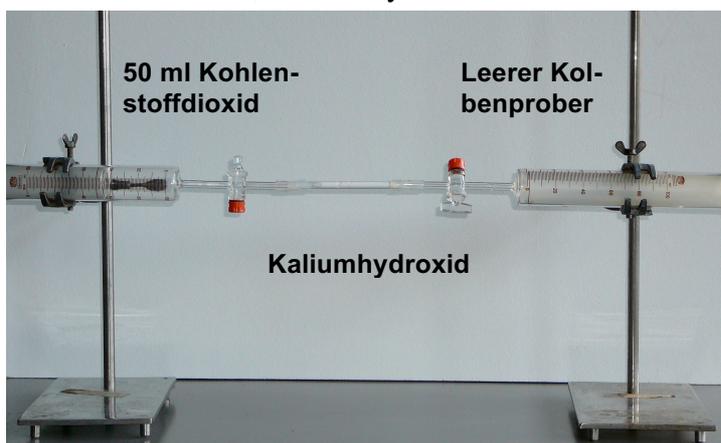


Abb. 1: Versuchsaufbau Reaktion von Kohlenstoffdioxid mit Kaliumhydroxid

Durchführung und Beobachtung: Es werden etwa 1 g Kaliumhydroxid abgewogen und mit Hilfe des Glasrichters mit Schlauchstück in das Quarzrohr gefüllt, das zu beiden Seiten mit Glaswolle verschlossen wird.

In einen der beiden Kolbenprober werden 50 mL Kohlenstoffdioxid gefüllt und dieser gemeinsam mit dem Quarzrohr entsprechend der Abbildung in den Versuchsaufbau integriert und der Temperaturfühler am Quarzrohr befestigt.

Nun wird das Kohlenstoffdioxid vorsichtig über das Kaliumhydroxid geleitet. Dabei ist eine deutliche Temperaturerhöhung am Quarzrohr zu beobachten. Der zweite Kolbenprober bleibt leer; dies zeigt, dass das Kohlenstoffdioxid vollständig gebunden wurde. Im Quarzrohr ist zudem die Bildung von Wasser zu beobachten.

Erklärung: In einer exothermen Reaktion wird Kohlenstoffdioxid von Kaliumhydroxid unter Bildung von Kaliumcarbonat und Wasser gebunden.



Da das Versuchsergebnis gezeigt hat, dass das Kohlenstoffdioxid vollständig durch Kaliumhydroxid in Form von Kaliumcarbonat gebunden werden konnte, stellt sich an dieser Stelle die Frage, wie sich der Einsatz der Tauchretter auf die Atemsituation der U-Bootfahrer ausgewirkt hat bzw. konkret die Frage: Wie lange kann die Besatzung (50 Seeleute waren in U 96) von U 96 ohne weitere Frischluftzufuhr überleben? Bei einem CO₂-Anteil in der Luft von 5 % tritt bereits akute Atemnot und Ohnmacht, bei ca. 8 % CO₂-Anteil der Tod ein.

Ein erwachsener Mensch atmet pro Atemzug ca. 500 mL Luft ein und setzt beim Ausatmen 20 mL CO₂ frei. Bei durchschnittlich 20 Atemzügen pro Minute setzt ein Seemann 400 mL CO₂ frei.

Im Rahmen einer Überschlagsrechnung kann man aus den vorgegebenen Daten errechnen, dass bei einer Besatzungsstärke von 50 Mann in einer Stunde 1.200 L CO₂ freigesetzt werden; in 15 Stunden produziert die Besatzung 18.000 L und in 25 Stunden 30.000 L CO₂. Bezogen auf ein Innenvolumen des U-Bootes aus dieser Baureihe von etwa 350.000 L beträgt nach 15 Stunden der CO₂-Anteil der Luft im Boot etwa 5,1 %, d. h. es würde bereits akute Atemnot herrschen. Nach 25 Stunden liegt der CO₂-Anteil im Boot bei 8,5 %. Ohne weitere Luftzufuhr bzw. ohne eine Reduktion des CO₂-Anteils in der Luft wäre die Besatzung nicht mehr am Leben!

Bei Einsatz der Kalipatronen-Tauchretter mit insgesamt 50 Kg KOH könnten bezogen auf die zugrunde liegende Reaktionsgleichung insgesamt 446 Mol CO₂ gebunden werden; dies entspricht einem Volumen von 10.704 L CO₂.

Vergleicht man nun dieses maximal durch den Einsatz der Tauchretter gebundene CO₂-Volumen mit dem von der Besatzung in einer Stunde freigesetzten CO₂-Volumen, zeigt sich in einer entsprechenden einfachen Berechnung, dass durch den Einsatz von Tauchrettern die Männer neun Stunden länger überleben können!

Ein anderer Hollywood-Blockbuster mit einer ähnlich gelagerten kritischen Situation ist der Spielfilm Apollo 13.

Bei der 1970 durchgeführten Apollo-13-Mission kam es während des Fluges zu einer Explosion eines Sauerstofftanks. Die Explosion riss ein Leck in den danebenliegenden Sauerstofftank. Dies bedeutete, dass die Brennstoffzellen, die mit Sauerstoff aus den beiden Tanks gespeist wurden, die notwendige Strom und Wasserversorgung

nicht lange gewährleisten konnten. Zudem stieg in der Raumkapsel bereits nach kurzer Zeit die CO₂-Konzentration rapide an, so dass die Astronauten bereits unter Sauerstoffmangel litten. Es blieb daher nur die Möglichkeit, die Apollo-13-Mission abzubrechen und die Astronauten schnellstmöglich zurück zur Erde zu holen.

Aus einer Filmsequenz (Filmszene ab 1:23:46 bis 1:25:35) wird deutlich, dass der CO₂-Anteil in der Raumkapsel innerhalb kurzer Zeit stark angestiegen ist [9]. Gleichzeitig arbeitet das Bodenkontrollteam der NASA fieberhaft an der Frage, wie das von der Apollo-Besatzung freigesetzte CO₂ aus der Raumkapsel entfernt werden kann. Dabei erhält die Apollo-Besatzung vom Leiter des Kontrollteams die Arbeitsanweisung zum Bau einer Luft-Filteranlage, bei dem neben anderen Materialien auch zwei Lithiumhydroxid-Kanister zum Einsatz kommen. Auch hier stellt sich die Frage, welche Bedeutung das Lithiumhydroxid (LiOH) bei der Entfernung des Kohlenstoffdioxids aus der Umgebungsluft hat.

Analog der oben beschriebenen Vorgehensweise bei dem Spielfilm Das Boot lässt sich auch diese Frage experimentell untersuchen.

Versuch 2: Die Reaktion von Kohlenstoffdioxid mit Lithiumhydroxid.

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

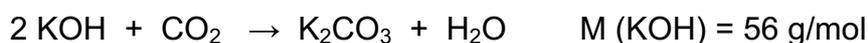
Durchführung und Beobachtung: 0,5 g Lithiumhydroxid werden abgewogen und mit dem Glastrichter in das Quarzrohr gefüllt, welches anschließend an beiden Seiten mit Glaswolle verschlossen wird. Nach Befüllen eines Kolbenprobers mit 50 ml Kohlenstoffdioxid werden die Geräte dem Versuch 1 entsprechend aufgebaut.

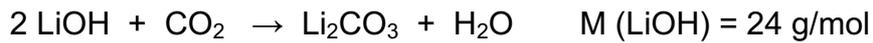
Nun wird das Kohlenstoffdioxid langsam über das Lithiumhydroxid geleitet. Es lässt sich ein deutlicher Temperaturanstieg verzeichnen, das Kohlenstoffdioxid wird wiederum vollständig umgesetzt, im Quarzrohr ist die Bildung von Wasser zu erkennen.

Erklärung: Lithiumhydroxid reagiert in einer exothermen Reaktion mit Kohlenstoffdioxid unter Bildung von Lithiumcarbonat und Wasser.



An dieser Stelle kann man auch der Frage nachgehen, warum in der Raumfahrttechnologie Lithiumhydroxid anstatt Kaliumhydroxid eingesetzt wurde. Mit Blick auf die Molmassen der an den Verbindungen beteiligten Atome wird deutlich, dass bezogen auf die zugrundeliegenden 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 und einen entscheidenden Vorteil bezüglich einer angestrebten Gewichtsreduktion in der Raumfahrttechnologie darstellt.

Die oben beschriebenen Tauchretter auf KOH-Basis wurden technisch immer weiterentwickelt und optimiert. Bei genauer Betrachtung des Aufbaus des Tauchretters im Vergleich zu dem Tauchretter auf KOH-Basis fallen zwei entscheidende Unterschiede auf:

- 1) Es wird auf eine Zumischung von Sauerstoff durch eine externe Sauerstoffquelle (Sauerstoffgasflasche) verzichtet.
- 2) Das Gasgemisch wird nicht über Kaliumhydroxid geleitet, sondern über KO_2 , d.h. über Kaliumhyperoxid (früher Kaliumsuperoxid).

Die Tatsache, dass auf eine externe Sauerstoffzuführung bei Tauchrettern auf KO_2 -Basis verzichtet wird, führt zu der Frage, welche Reaktion zwischen Kohlenstoffdioxid und Kaliumhyperoxid abläuft. Das nachfolgende Experiment soll dem Leser erste Anhaltspunkte und Informationen liefern.

Versuch 3: Die Reaktion von Kohlenstoffdioxid mit Kaliumhyperoxid.

Geräte und Chemikalien: Stativmaterial, 2 Kolbenprober 100 mL, 2 Schlauchstücke je ca. 2 cm, Quarzrohr (8-10 cm, $d = 1 \text{ cm}$), kl. Glastrichter mit Schlauchstück ca. 2 cm, Spatel, Uhrglas, Waage, Digitalthermometer mit Temperaturfühler, Glaswolle, Kohlenstoffdioxid, Kaliumhyperoxid.

Durchführung und Beobachtung: Etwa 0,4 g Kaliumhyperoxid werden in ein Quarzrohr gefüllt, welches zu beiden Seiten mit Glaswolle verschlossen wird. Das befüllte Quarzrohr wird entsprechend der Abb. 6 in den Versuchsaufbau integriert. Danach werden 50 mL Kohlenstoffdioxid über das Kaliumhyperoxid geleitet. Es ist ein deutlicher Temperaturanstieg am Quarzrohr zu verzeichnen und im Quarzrohr entsteht ein weißes Reaktionsprodukt. Darüber hinaus sind partiell orange-rote Verfärbungen beim Kaliumhyperoxid zu beobachten (vgl. Abb. 2).

Nach dem Überleiten von 50 mL Kohlenstoffdioxid erhält man im zweiten Kolbenprober ein Gasvolumen von etwa 75 mL.

Erklärung: In einer exothermen Reaktion wird das Kohlenstoffdioxid gebunden und gleichzeitig Sauerstoff freigesetzt.



Das gelbliche Kaliumhyperoxid wird bei dieser Reaktion in weißes Kaliumcarbonat umgewandelt. Die zunächst überraschende Volumenzunahme ist mit der Stöchiometrie der Reaktion (d) leicht verständlich:

2 Mol Kohlenstoffdioxid reagieren zu 3 Mol Sauerstoff; bei Einsatz von 50 mL Kohlenstoffdioxid führt dies zu der Volumenzunahme auf ca. 75 mL.

Eine andere Stöchiometrie ergibt sich bei zu hoher Luftfeuchtigkeit bzw. feuchtem Kaliumhyperoxid. In diesem Falle zeigt sich keine Volumenzunahme, sondern eine Abnahme des eingesetzten Volumens, das sich durch folgende Reaktionsgleichung erklären lässt.



Die beim Durchleiten des Kohlenstoffdioxids zu beobachtende partielle orange-rot Verfärbung kann durch eine Nebenreaktion, die Bildung von so genannten Sesquioxiden (K_2O_3), erklärt werden. Sie entstehen durch thermische Zersetzung von KO_2 in Folge der exotherm verlaufenden Reaktion (d) und (e) [11]:

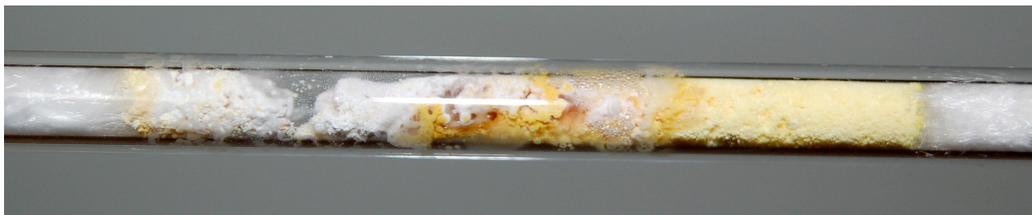
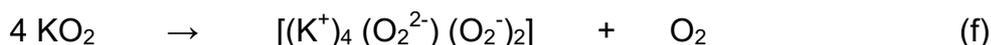


Abb. 2: Partielle orange-rote Verfärbung durch den thermischen Verfall in Sesquioxide

Thermischer Zerfall von Kaliumhyperoxid:



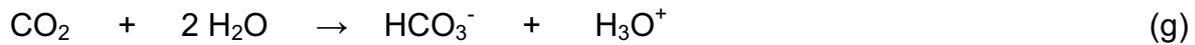
Zunächst soll eine qualitative Untersuchung des gasförmigen Reaktionsproduktes im Experiment erfolgen.

Versuch 4: Qualitative Untersuchung des gasförmigen Reaktionsprodukts.

Geräte und Chemikalien: 3 Bechergläser 100 mL, Becherglas 200 mL, 2 Kolbenprober 100 mL, Glimmspan, Tropfpipette, Gummischlauchstück ca. 2 cm, Stativmaterial, Universalindikatorlösung ca. 150 mL, Kohlenstoffdioxid.

Durchführung und Beobachtung: Die Universalindikatorlösung wird gleichmäßig auf die drei Bechergläser verteilt. In ein Becherglas werden mit Hilfe eines Kolbenprobers ca. 25 mL Kohlenstoffdioxid eingeleitet. Schon nach wenigen Millilitern zeigt sich eine kräftige gelbe Verfärbung der Universalindikatorlösung. In das zweite Becherglas leitet man 3 ca. 25 mL des Gasvolumens aus Versuch 3 ein. Es zeigt sich keine Farbveränderung. Das dritte Becherglas dient zum Farbvergleich.

Erklärung: Die zu beobachtende Gelbfärbung beim Einleiten von Kohlenstoffdioxid in die Universalindikatorlösung beruht auf der folgenden Reaktion:



Da beim Einleiten des gasförmigen Reaktionsprodukts keine Verfärbung der Indikatorlösung zu beobachten war, hat das Kohlenstoffdioxid offensichtlich vollständig mit dem Kaliumhyperoxid reagiert. Dieser experimentelle Befund führt zu der interessanten Fragestellung, um welches Gas es sich bei den 75 mL Reaktionsprodukt handelt. Da bei dieser Variante des Tauchretters keine externe Sauerstoffzufuhr vorhanden ist, liegt die Vermutung nahe, dass bei der Reaktion von Kaliumhyperoxid mit Kohlenstoffdioxid eine Freisetzung von Sauerstoff erfolgt. Das verbliebene Gas im Kolbenprober aus Versuch 3 wird daher mit Hilfe der Glimmspanprobe untersucht. Die positive Glimmspanprobe bei Überleiten des Gases bestätigt diese Vermutung. Diese qualitativen Ergebnisse können mit Hilfe der Gaschromatographie abgesichert werden.

Schlussbetrachtung

Nachdem im Beitrag die grundsätzliche Funktionsweise von Tauchrettern aus der chemischen Perspektive vorgestellt wurden, stellt sich jetzt natürlich die spannende Frage, ob die Besatzung im U-Boot bzw. in der Apollo-13-Kapsel durch den Einsatz von Kalium- bzw. Lithiumhydroxid überlebt hat.

Der Spielfilm *Das Boot* zeigt eindrucksvoll, dass dank des Einsatzes der Tauchretter die U-96 nach vielen Stunden tatsächlich wiederauftauchen und unbemerkt aus der Meerenge von Gibraltar nach La Rochelle entkommen konnte.

In dem Spielfilm *Apollo 13* führte der Einsatz von Lithiumhydroxid ebenfalls zu einem glücklichen Ausgang für die Besatzung. Nach einem außergewöhnlich langen so genannten „Blackout“ (Funkstille beim Wiedereintritt) wasserte die Apollo-13-Kapsel am 17. April 1970 im Pazifik, wo sie von der USS *Iwo Jima* aufgenommen wurde.

Sicherheitshinweise:

Zum 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, wirkt brandfördernd und ätzend.
- Bei Kontakt mit Wasser Bildung von Wasserstoffperoxid und Kalilauge sowie Sauerstoff unter starker Wärmeentwicklung.

Entsorgung von Kaliumhyperoxid

Reste von Kaliumhyperoxid mit Natriumthiosulfat umsetzen, Einstellung auf pH 6-8, anschließend dem Abwasser zuführen [12].

Entsorgung von Kalium- und Lithiumcarbonat

Beide Salze können vorsichtig, in kleinen Mengen, in ein mit Wasser gefülltes Becherglas gegeben, aufgelöst und anschließend über den Abfluss entsorgt werden.

Danksagung: Wir danken dem Fonds der Chemischen Industrie für die Unterstützung dieser Arbeit.

Literatur:

[1]	Niegemann, H.; Strittmatter, P.: Lehren und Lernen mit Medien. Didaktische Konzeption und Entwicklung medienbasierter Lernumgebungen. Wissenschaftliche Buchgesellschaft; Darmstadt, 2000, S. 28
[2]	Weidenmann, B.: Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In: Issing, I.J./ Klimsa, P. (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Beltz Verlag, Weinheim, 2002, S. 45-64
[3]	Bransford, J. D.; Sherwood, R. D.: Hasselbring, T. S.; Kinzer, C. K.; Williams, S. M.: Anchored instruction: Why we need it and how technology can help. In D. Nix & R. Spiro (Eds.), Cognition, education and multimedia: Exploring ideas in high technology (pp. 115-141, 1990). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum
[4]	Kuhn, J.; Müller, A.: Ein modifizierter ‚Anchored Instruction‘- Ansatz im Physikunterricht: Ergebnisse einer Pilotstudie. Empirische Pädagogik (EP) 19 (2005), Heft 3, S. 281-303 URL: http://www.uni-landau.de/physik/ArtikelEP.pdf (07.04.08)
[5]	Kuhn, J.: Authentische Aufgaben im Physikunterricht: Nachhaltige Bildung durch Entwicklung von Ankermedien und „Kultivierung“ von Aufgaben. In: Lemmermöhle, D./ Rothgangel, M. et al. (Hrsg.): Professionell lehren, erfolgreich lernen. Waxmann; Münster, München, Berlin, u.a., 2007
[6]	DVD, Das Boot Special Edition The director's Cut. Bavaria Film GmbH. Artwork 1997
[7]	http://www.w-ritter.de/U-764/feindfahrt1/flugzeug3b.htm
[8]	http://www.therebreathersite.nl/Zuurstofrebreathers/German/photos_selbstretter-tubben.htm
[9]	DVD, Apollo 13 (special edition); universal studios 1995
[10]	http://www.therebreathersite.nl/Zuurstofrebreathers/Operational%20principes/chemical_generator.htm
[11]	Greenwood, N.; Earnshaw, A.: Chemie der Elemente. Weinheim: VCH 1990. S. 110
[12]	http://www.merck-chemicals.com/documents/sds/emd/deu/de/8141/814151.pdf (letzter Zugriff: 03.03.2009)

Verfasser:

Nicole Kunze, Dr. Isabel Rubner, Prof. Dr. Jens Friedrich*, Prof. Dr. Marco Oetken*
Pädagogische Hochschule Freiburg, Abteilung Chemie, Kunzenweg 21, D-79117
Freiburg

Email: jens.friedrich@ph-freiburg.de; marco.oetken@ph-freiburg.de

Kurzbeschreibung:

Das Projekt ChemCi verbindet die Bereiche Film, Internet und Chemie und basiert auf einem modifizierten Anchored Instruction-Ansatz, der geeignete Filmsequenzen als Ankermedium nutzt mit dem Ziel, neue motivierende Zugänge zu relevanten Themenfeldern des Chemieunterrichtes zu erschließen.

Im Beitrag wird eine Unterrichtseinheit präsentiert, in der im Sinne dieses modifizierten Anchored Instruction-Ansatzes geeignete Sequenzen aus den Filmen „Das Boot“ und „Apollo 13“ als motivierende Ankermedien genutzt werden, um spannende Zugänge und Aufgabenstellungen zu verschiedenen Themenfeldern, wie z. B. Atmung, Redoxreaktionen, Sauerstoffverbindungen der Alkalimetalle, Das Gesetz von Avogadro zu schaffen.