



**MNI-Fonds für Unterrichts- und Schulentwicklung
S5 „Entdecken, Forschen und Experimentieren“**

MICROSCALE SCHÜLER- EXPERIMENTE MIT LOW COST EQUIPMENT II

DI Dr Albrecht Sottriffer

DI Andreas Reindl



Wien, Juli 2006

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	2
ABSTRACT	3
1 EINLEITUNG	4
1.1 Ausgangspunkt	4
1.1.1 Räumlich	4
1.1.2 Zeitlich.....	4
1.1.3 Finanziell.....	4
1.2 Ziele	4
1.2.1 Schaffen von Voraussetzungen	4
1.2.2 Motivation der SchülerInnen	4
2 LITERATUR	5
3 KONZEPT	7
4 MATERIALIEN	8
4.1 Reaktions- und Destillationsapparatur	8
4.2 Gaschromatograph	10
4.2.1 Aufbau des GC	13
4.2.2 Ergebnisse mit dem GC	16
5 PRAKTISCHE ERFAHRUNGEN	19
5.1 Destillationsapparatur	19
5.2 Gaschromatograph	20
6 EVALUATION UND AUSBLICK	21
6.1 Einsetzbarkeit der entwickelten Materialien	21
6.2 Pädagogischer Nutzen.....	21
7 LITERATUR	23

ABSTRACT

Im Rahmen dieses Projektes sollten Möglichkeiten geschaffen werden, Schülerexperimente mit geringem Kostenaufwand auch im Bereich der organischen Chemie durchzuführen. Eine einfache Adaption der Vorjahresergebnisse war nicht denkbar, da die dabei verwendeten Materialien nicht geeignet sind (keine ausreichende Beständigkeit gegen organische Lösemittel, bzw. keine Möglichkeit zum Erhitzen).

Zwei Produkte wurden im Rahmen dieses Projekts entwickelt:

- 1) eine Microscale Destillationsapparatur auf Basis von Einweg PE Pasteur Pipetten.*
- 2) ein Gaschromatograph, der in wesentlichen Teilen von Schülern und Schülerinnen gebaut werden kann.*

Die bisherigen Erprobungen dieser Produkte im praktischen Einsatz kann man als Erfolg werten.

Schulstufe: 10

Fächer: Angewandte Chemie und Ökologie

Kontaktperson: DI Dr. Albrecht Sottriffer

Kontaktadresse: TGM Wexstrasse 19-23 1200 Wien

1 EINLEITUNG

Da die Chemie zu einem großen Teil von Phänomenen lebt, ist es geboten, den SchülerInnen im Rahmen des Chemieunterrichts die Möglichkeit zur eigenständigen Erfahrung durch selbständiges Experimentieren zu geben. Dies ist häufig mit großen Schwierigkeiten verbunden. Diese können in der räumlichen Ausstattung, den finanziellen Rahmenbedingungen, der Geräteausstattung oder dem Vorbildungsstand der SchülerInnen begründet sein. Es können also häufig keine standardisierten Verfahren angewendet werden, sondern es muss auf die jeweiligen Rahmenbedingungen eingegangen werden.

1.1 Ausgangspunkt

1.1.1 Räumlich

Für den Chemieunterricht stehen keine Laborräume zur Verfügung. Die Schülerexperimente müssen in einem herkömmlichen - auf Demonstrationsexperimente ausgelegten - Chemiesaal durchgeführt werden.

1.1.2 Zeitlich

Es stehen zwei Wochenstunden in Form von Doppelstunden zur Verfügung.

1.1.3 Finanziell

Da die finanziellen Ressourcen begrenzt sind, ist die Anwendung kommerziell verfügbarer microscale Experimentiersets auf Basis von Glasgeräten im Schülerexperiment nicht denkbar.

1.2 Ziele

1.2.1 Schaffen von Voraussetzungen

Die im Vorgängerprojekt entwickelten Materialien sind im Bereich der organischen Chemie nicht einsetzbar, da sie gegen die meisten organischen Lösemittel nicht beständig sind und nicht erwärmt werden können.

Aus diesem Grund mussten neue Ansätze gefunden werden, um auch hier kostengünstige und gefahrlose Schülerversuche zu ermöglichen.

1.2.2 Motivation der SchülerInnen

Die Erfahrungen aus dem Vorgängerprojekt zeigen, dass SchülerInnen durch eigenständiges Arbeiten besser motiviert werden können als durch klassischen Frontalunterricht. Eine verbesserte Motivation sollte sich schlussendlich auch in einem verbesserten Behalten der Lerninhalte niederschlagen.

2 LITERATUR

Gibt man bei Amazon.com als Suchbegriff „microscale organic chemistry“ ein, so erhält man 126 Bücher zu diesem Thema als Suchergebnis¹. Bei näherer Betrachtung muss man jedoch feststellen, dass nahezu alle diese Bücher für die hier bearbeitete Fragestellung wertlos sind, da sie auf der Verwendung von verkleinerten konventionellen Glasapparaturen basieren. Diese sind teuer, kompliziert in der Handhabung und aufgrund des Bruchrisikos in großen Gruppen nicht sicher verwendbar. Meistens wird in diesen Büchern klassische präparative organische Chemie beschrieben, für die in der Schule auch die Zeit fehlt, bzw. auch ein Vorwissen erfordert, das in der begrenzten zur Verfügung stehenden Stundenzahl nicht zu vermitteln ist.

Ein brauchbarer Ansatz findet sich unter den Beckerdemos². Hier wird eine Destillationsapparatur auf der Basis von Einweg Pasteur Pipetten verwendet, die jedoch eine Reihe von Problemen – wie relativ komplizierte Herstellung - aufweist und somit nur nach relativ großem Vorbereitungsaufwand einsetzbar erscheint.

Eine große Zahl von klassischen Demonstrationsexperimenten ist für die Adaption zu Schülerexperimenten nicht wirklich geeignet.

Es ist also in diesem Bereich notwendig Neuland zu betreten um auch in diesem Bereich unter erschwerten Bedingungen SchülerInnen das Experimentieren zu ermöglichen.

Zu einem in der organischen Chemie wichtigen Trennverfahren - der Gaschromatographie – gibt es viel versprechende low cost Ansätze.

So verwendet Thomson³ Waschmittel als stationäre Phase, Erdgas als Trägergas und einen Kupferdraht als Beilsteindetektor für halogenierte Kohlenwasserstoffe. Dieser Ansatz ermöglicht den raschen Aufbau eines GC zu geringsten Kosten. Ein Problem ergibt sich aber in der Verwendung von Erdgas als Trägergas, das bei nicht 100%iger Dichtheit der Apparatur zu Sicherheitsproblemen führt. Die in den USA verwendeten Waschmittel haben eine andere Zusammensetzung als in Österreich verwendete (Polyphosphate) und es konnten keine gefunden werden, die sich gut als stationäre Phase eigneten.

Ein weiterer Ansatz zu einem improvisierten GC findet sich im Internet⁴. Hier wird Wasserstoff als Trägergas in einem Glasrohr eingesetzt, wobei als stationäre Phase Kochsalz, das mit Paraffinöl imprägniert wurde, zum Einsatz kommt. Zur Detektion wird entweder die Helligkeit der Flamme, oder ein einfachster FID herangezogen, der zu geringen Kosten herstellbar ist. Hier sind es vor allem die Sicherheitsprobleme, die die Verwendung von Wasserstoff als Trägergas mit sich bringen, die eine unkritische Übernahme unmöglich machen.

Der so genannte low cost GC nach Kappenberg⁵ ist zwar als Demonstrationsgerät finanzierbar, im Schülerversuch aus Kostengründen jedoch problematisch, wenn auch hier die Sicherheitsproblematik durch die Verwendung von Luft als Trägergas

¹ Amazon.com (21.4.2006)

² Chemmovies.unl.edu/chemistry/beckerdemos/BD049c.html (21.4.2006)

³ Stephen Thompson; Chemtrek: small scale experiments for general chemistry ; prentice hall 1990

⁴ www.chemieexperimente.de (12.7.2006)

⁵ www.kappenberg.com (12.7.2006)

(Aquariumpumpe) vorbildlich gelöst ist. Die Gefahr, dass er nur als black - box betrachtet wird ist ebenfalls nicht zu vernachlässigen.

Alles in allem zeigt sich, dass der Bereich Schülerexperimente in der organischen Chemie noch recht wenig bearbeitet ist, was aber auch an den nicht unbeachtlichen Schwierigkeiten liegt.

3 KONZEPT

Im Gegensatz zum letztjährigen Projekt ⁶ gibt es für den hier bearbeiteten Bereich nur wenig Vorarbeiten, auf denen aufgebaut werden konnte. Es wurde also hier darauf verzichtet ein weit gestreutes Programm mit einer großen Zahl von Experimenten auszuarbeiten, sondern es wurden ganz bewusst zwei Schwerpunkte gesetzt. Einerseits die Ausarbeitung einer Apparatur die zur Destillation und zum Erhitzen unter Rückfluss einsetzbar ist, die zumindest bis ca. 100 °C erhitzbar ist (Wasserbad) und die ausreichend lösemittelbeständig ist, um im Bereich organischer Chemie arbeiten zu können.

Der andere Bereich war der Entwicklung eines Gas-Chromatographen gewidmet, der die Vorzüge der im letzten Kapitel besprochenen Systeme vereinen sollte, ohne deren Nachteile aufzuweisen. d.H. sichere und zuverlässige Bedienbarkeit wie im Konzept des Kappenberg GC kombiniert mit den geringen Kosten des Konzepts von Thomson.

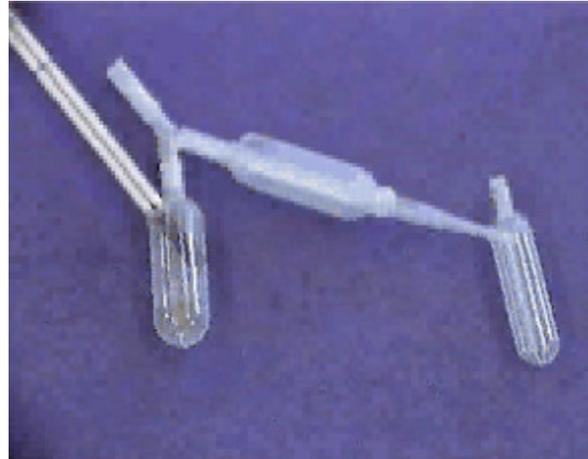
⁶ A. Sotriffer, A. Reindl; Microscale Schülerexperimente mit Low Cost Equipment im Chemieunterricht Projekt IMST3 Abschlussbericht

imst.uni-klu.ac.at/materialien/index2.php?content_id=176752 (12.7.2005)

4 MATERIALIEN

4.1 Reaktions- und Destillationsapparatur

Die von D.W. Brooks im Internet präsentierte Destillationsapparatur⁷ ist ein bestehend origineller Ansatz.



Die Destillationsapparatur wird aus Einwegpipetten aufgebaut, die mithilfe von Schere, heißem Draht und Heisskleber in die entsprechende Form gebracht werden. Für die Verbindung der Teile sorgt ein Y Schlauchverbinder.

Die Verwendung von PE als Material ermöglicht den Einsatz einer Reihe von organischen Stoffen und auch ein Erhitzen im Wasserbad ist möglich.

Beim Versuch des Nachbaus zeigen sich jedoch die Nachteile: Durch die Große Zahl von Teilen ist der Aufbau relativ kompliziert. Es ist relativ schwierig eine dichte Apparatur zu bekommen, die während des weiteren Experimentierens nicht zerfällt. Eine radikale Vereinfachung des Konzepts war daher notwendig.

Nach mehreren Versuchen kristallisierte sich das folgende Model als brauchbar heraus:

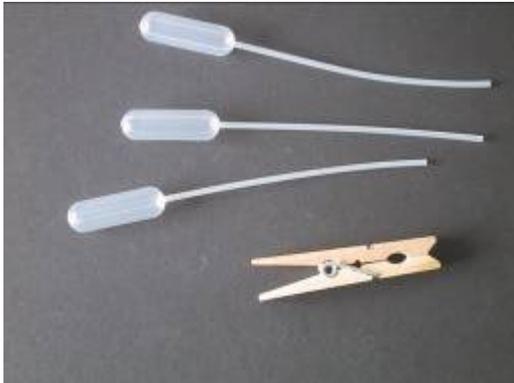


Microscale Destillationsapparatur

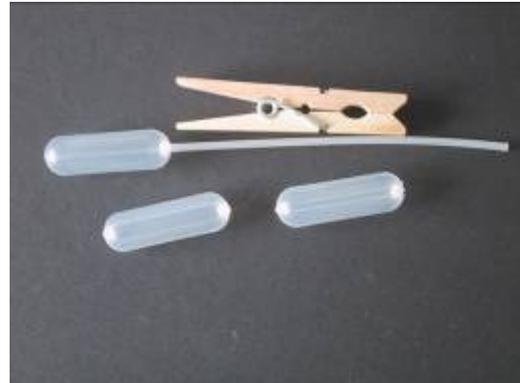
⁷ Chemmovies.unl.edu/chemistry/beckerdemos/BD049c.html (21.4.2006)

Es besteht aus zwei Einwegpipetten und einer Wäscheklammer. Von einer Pipette wurde der Hals abgeschnitten und ein weiteres Loch auf der anderen Seite mit einer Schere angebracht. Dieser Hohlkörper wird nun auf die zweite Pipette geschoben und mit Heisskleber fixiert. Er dient nun als Kühler und wird durch Eintauchen in Wasser und wiederholtes Zusammendrücken mit Wasser gefüllt.

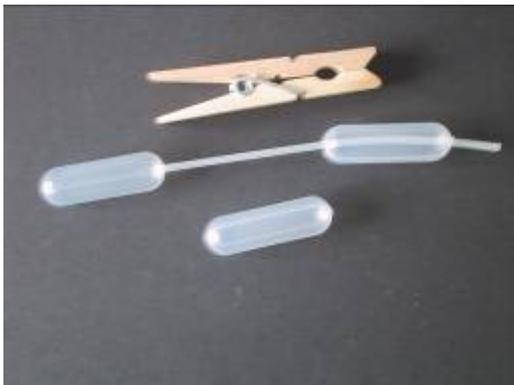
Herstellung der Apparatur:



Ausgangsmaterial



1. Zurechtschneiden



2. Aufsetzen des Kühlers



3. Verkleben mit Heisskleber



4. Fertige Apparatur

Lässt man die Apparatur gerade, so kann der Kühler als Rückflusskühler eingesetzt werden. Wird der „Hals“ mit einer Wäscheklammer in Form gebracht, so erhält man eine Destillationsapparatur. Als Vorlage dient dabei eine weitere abgeschnittene Pipette.

Im Gegensatz zu der Konstruktion von D.W. Brooks ist hier kein Siedesteinchen einsetzbar. (Man könnte mit einem heißen Nagel ein Loch in den „Kolben“ schmelzen und nach Zugabe des Siedesteinchens dieses Loch mit Heißkleber verschließen.) Nach den bisherigen Erfahrungen war allerdings der Einsatz von Siedesteinchen nicht notwendig.

Der Vorteil dieser Konstruktion ist, dass im Rahmen des Unterrichts in einer Klasse innerhalb von 10 Minuten jeder Schüler und jede Schülerin eine eigene Apparatur herstellen kann und so wesentlich mehr Zeit für die eigentliche Arbeit bleibt. Ein weiterer Vorteil besteht in der Dichtheit der Apparatur und in ihrer Flexibilität im wahrsten Sinne des Wortes, die den Einsatz auch als Rückflussapparatur ermöglicht. So kann zum Beispiel bei einer Estersynthese zuerst unter Rückfluss erhitzt werden und dann der gebildete Ester abdestilliert werden.

4.2 Gaschromatograph

Nach Studium der – in der Literatur bekannten – System von low cost GC's wurde zunächst versucht die Vor- und Nachteile der einzelnen Konzepte zusammenzufassen.

	Thomson	Haupt/Möllencamp	Kappenberg
Trägergas	Erdgas	H ₂	Luft (Pumpe)
Säule	Trinkhalm	Glasrohr	Kunststoffrohr
Füllmaterial	Waschpulver	NaCl/Paraffinöl	z. OV 100
Detektor	Cu- Draht (Beilstein)	Flammenhelligk. Selbstbau FID	WLD (Glühlämpchen)
Kosten	geringfügig	geringfügig	Ab 285.-€

Jedes der Konzepte hat seine Stärken. Die Verwendung eines Trinkhalms gefüllt mit Waschpulver als Füllmaterial ist genial einfach, aber in Ermangelung eines geeigneten Waschmittels hierzulande nicht durchführbar. Die Verwendung von Erdgas als Trägergas stellt bei improvisierten Apparaturen ein Sicherheitsrisiko dar.

Bei Haupt/Möllencamp besticht die Idee, die stationäre Phase durch Beschichten von Kochsalz mit Paraffinöl herzustellen. Die uniforme Korngröße von Kochsalz gewährleistet eine gute Durchströmbarkeit und durch Variation des Beschichtungsmaterials können unterschiedliche Polaritäten erreicht werden. Glasrohre und Wasserstoff als Trägergas sind im Schülerversuch problematisch.

Der hier konzipierte Gaschromatograph sollte also nach Möglichkeit die Vorteile der hier angesprochenen System vereinen und dabei weder unfinanzierbar noch zu kompliziert werden.

Es war relativ bald klar, dass sich folgende Komponenten kombinieren lassen:

Säule:	Trinkhalm	(Thomson)
Füllmaterial	NaCl/Paraffinöl	(Haupt/Möllencamp)
Trägergas	Luft (Aquariumpumpe)	Kappenberg
Detektor	??	??

Die hier eingesetzten Komponenten liegen im Bereich von Cent bei den Kosten und lassen so eine Einsetzbarkeit im Schülerbereich zu. Was noch fehlt ist ein geeignetes Detektorsystem, das in der Luft einsetzbar ist. Der eigentliche Detektor im Kappenberg GC ist das Filament eines Glühlämpchens. Dies ist kostengünstig. Der Nachteil liegt jedoch darin, dass die Auswerteelektronik für einen FID dieser Art aufwändig – und daher vergleichsweise teuer ist. Auf der Suche nach Alternativen wurde unter anderem ein SnO₂ Halbleiterdetektor, der in Gaswarngeräten, einfachen Alcotestgeräten etc. eingesetzt wird, ausprobiert.

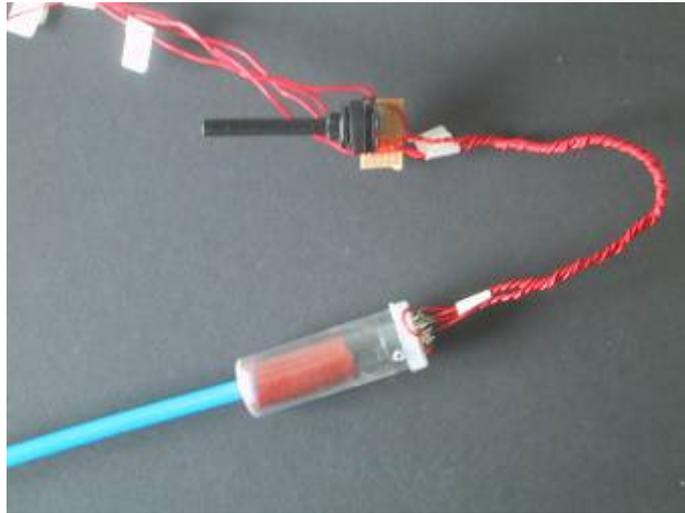


Halbleiter Gassensor⁸

In diesen Sensoren wird der Widerstand durch die Sauerstoffaktivität an den Korngrenzen bestimmt. In Gegenwart oxidierbarer Gase sinkt diese Sauerstoffaktivität mit dem Effekt, dass die Potentialbarriere - und damit der Widerstand - sinkt.

⁸ www.figarosensor.com(29.5.06)

Dies wurde nun anhand eines Prototypen überprüft. Die erhaltenen Ergebnisse waren vielversprechend.



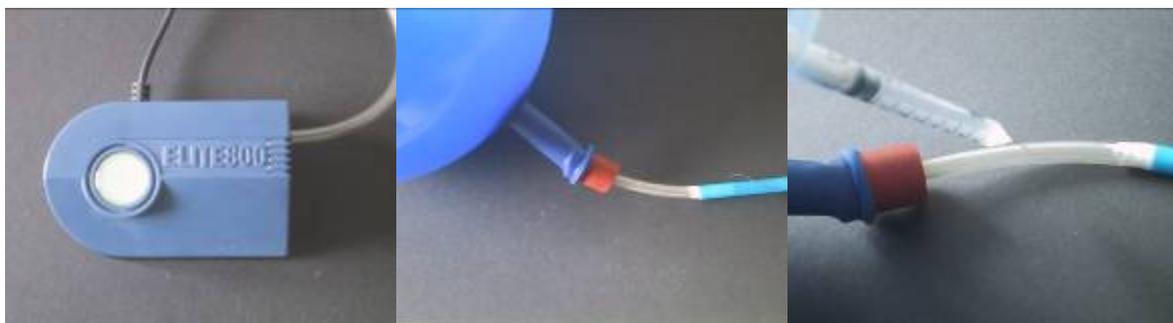
Prototyp des GC Detektors mit Auswertelektronik

4.2.1 Aufbau des GC

Der GC besteht aus den teilen Gasversorgung und Einspritzsystem, Säule und Detektor

4.2.1.1 Gasversorgung und Einspritzsystem

Nach der Festlegung von Luft als Trägergas war es nahe liegend eine Aquarienpumpe zur Gasversorgung heranzuziehen, wie dies auch beim Kappenberg GC geschieht. Die meisten erhältlichen weisen jedoch eine zu hohe Fördermenge auf und müssen gedrosselt werden. Dies kann zum Beispiel durch eine gewöhnliche Schlauchklemme oder durch im Aquarienbedarf erhältliche Ventile geschehen. Nach einzelnen Vorversuchen zeigte sich jedoch, dass ein Luftballon einen ausreichenden Gasvorrat und einen ausreichenden Druck bietet um einfache Trennungen durchzuführen, das heißt die Gasversorgung kann mit einem Luftballon und einem Stück Vakuumschlauch, mit dem dieser am Gasversorgungsschlauch angekoppelt werden kann, ausreichend eingerichtet werden.



Gasversorgung mit Aquariumpumpe bzw. Luftballon, Injektion mit Insulinspritze

Als Gasschlauch wurde ein handelsüblicher PVC Schlauch mit 4mm Innen Ø eingesetzt. In dieses wurde vor dem Eintritt in die Säule mit einer dicken Injektionsnadel

ein Loch gebohrt, in welches dann die Proben mit einer Insulin U100 Spritze eingespritzt wurden. Eventuell nötige Dichtungen erfolgten mit PTFE Band.

4.2.1.2 Säule



Trinkhalme als GC Säulen

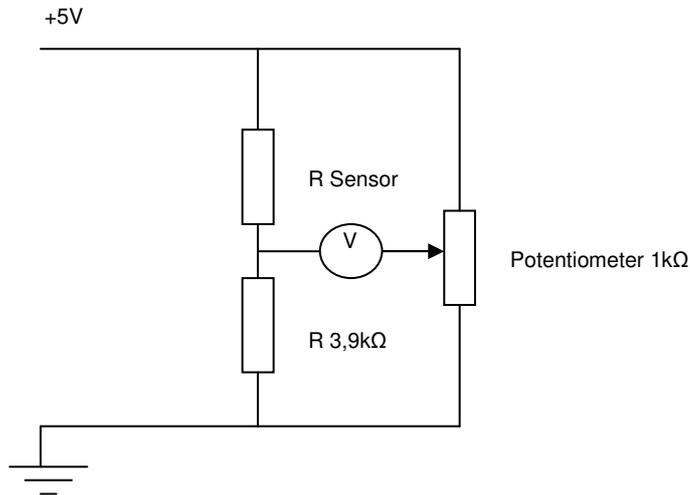
Die Säule besteht aus einem 100cm langen „Partytrinkhalm“ mit 6,5mm InnenØ, der in vielen Supermärkten erhältlich ist. Als Füllmaterial wird – wegen der guten Durchströmbarkeit – ein Material mit möglichst engem Kornspektrum benötigt, das mit einer Trennschicht imprägniert werden kann. Handelsübliches Speisesalz erfüllt diese Anforderung gut, ist billig und leicht erhältlich. Zum Imprägnieren wurden zu 100g Kochsalz 30ml Petrolether 30-40°C und 1g Paraffinöl gut vermischt. Der Petrolether wurde abgedampft und der Rest im Trockenschrank bei 120°C getrocknet. Nach dem Abkühlen wird das Material in einen Trinkhalm gefüllt, fest geklopft und mit Watte fixiert. Diese Säule sollte eher unpolar und damit z.B. für die Trennung von Alkanen geeignet sein.

Eine Säule mit höherer Polarität wurde analog mit Ricinusöl und Methanol als Lösemittel hergestellt. Die OH Gruppen in der Ricinolsäure sollten eine deutlich höhere Polarität bewirken. Mit dieser Säule sollten sich z.B. Alkohole trennen lassen.

Die unterschiedlichen Farben der Trinkhalme ermöglichen so eine Farbcodierung. Weitere Säulenfüllungen sind denkbar.

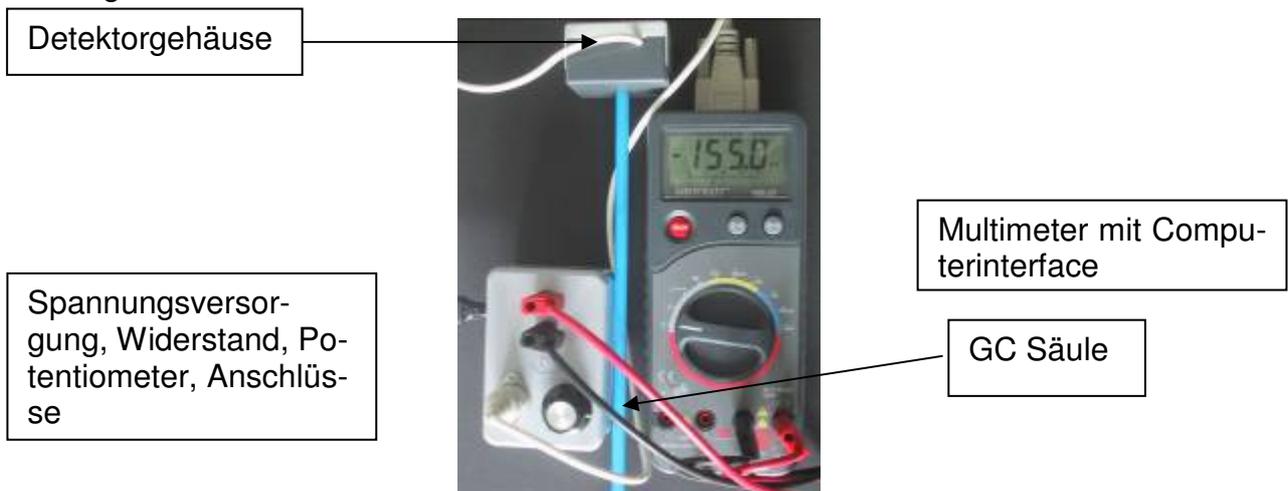
4.2.1.3 Detektor

Der Detektor erfordert eine vergleichsweise einfache Schaltung:



Der Detektor ist in einer Brückenschaltung verschaltet. Nimmt der Widerstand des Sensors ab, so steigt der Spannungsabfall am 3,9 kΩ Widerstand. Mithilfe des Potentiometers kann ein Nullpunkt eingestellt werden. Die Spannung zwischen dem Schleifer des Potentiometers und dem Mittelpunkt des aus Sensor und Widerstand gebildeten Spannungsteilers ist das Messsignal. Die stabilisierte Gleichspannung von +5V wird auch zur Versorgung der Detektorheizung herangezogen, die in dieser Schaltung der Einfachheit halber weggelassen wurde.

Zur Messung wurde ein Digitalmultimeter verwendet, das über ein Computerinterface verfügt. So können die Messwerte auf den Computer übertragen werden und Chromatogramme erstellt werden.



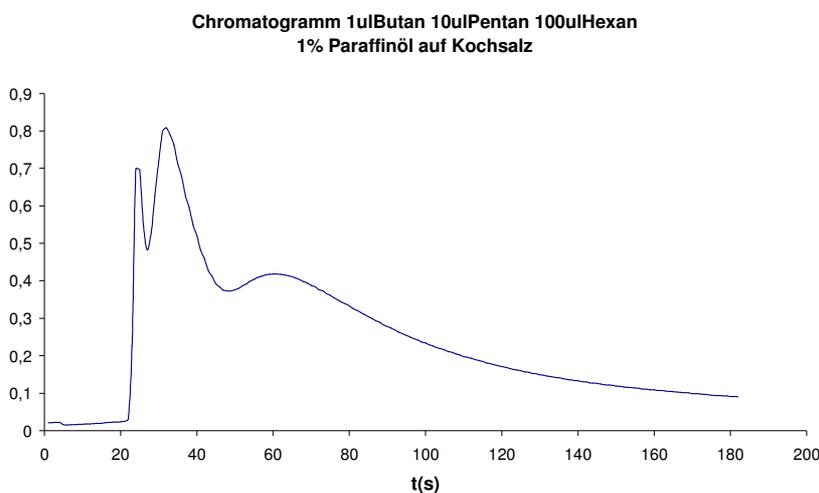
4.2.2 Ergebnisse mit dem GC

Die Ergebnisse, die mit dem GC erhalten wurden sind bemerkenswert. Die Empfindlichkeit übertraf alle Erwartungen. Es konnten problemlos Peaks mit Gasmengen im Bereich von weniger als 0,1 µl Flüssigkeitsdampf (Headspace) erhalten werden. Oftmals mussten die Gasproben auch mehrfach mit Luft verdünnt werden. Auch die Detektionsgeschwindigkeit ist ausreichend. Peakbreiten auf halber Höhe von wenigen Sekunden sind problemlos erreichbar.

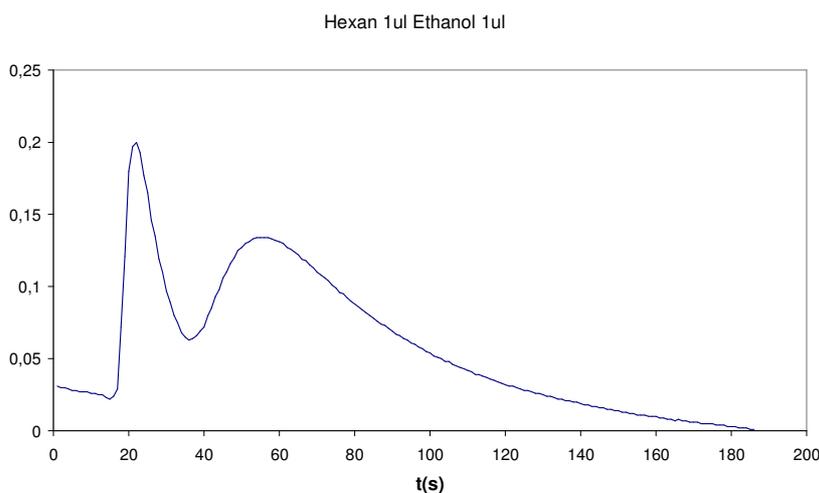
4.2.2.1 Beispielchromatogramme

Die folgenden Chromatogramme illustrieren die Trennleistung:

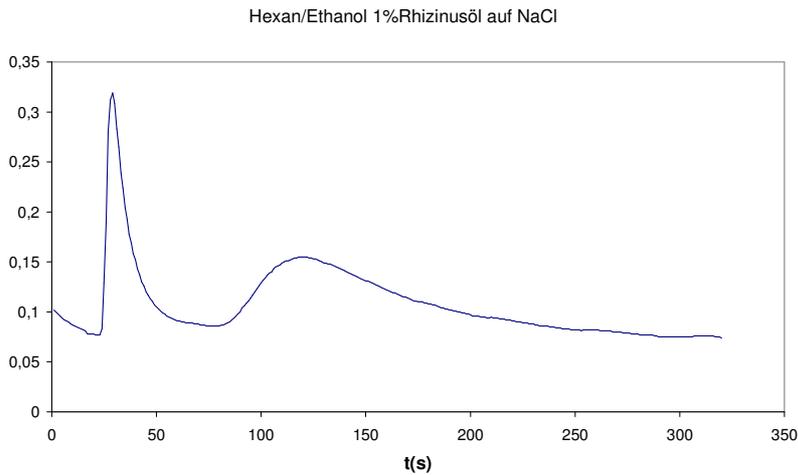
Im ersten Chromatogramm ist die Trennung von Butan, n-Pentan und n-Hexan an der 1% Paraffinölsäule zu sehen.



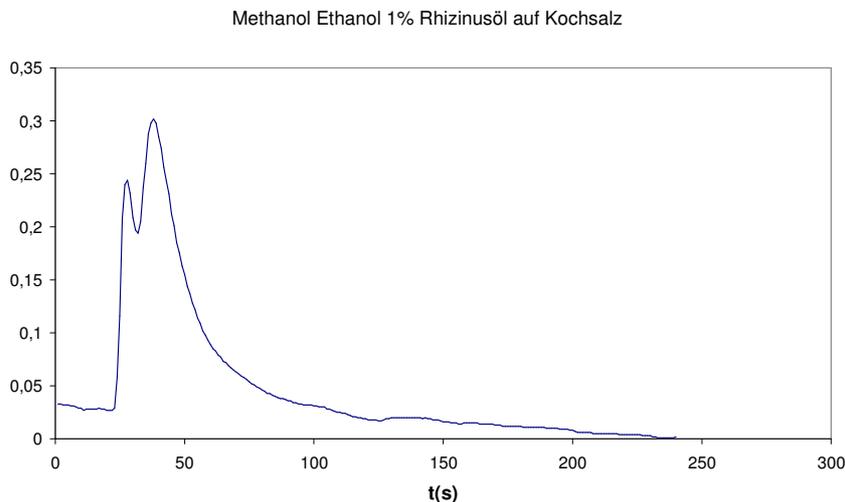
Dass es sich dabei nicht nur um eine Trennung nach Siedepunkten handelt zeigt das folgende Chromatogramm: Ethanol liefert einen Peak mit sehr kurzer Retentionszeit während n-Hexan mit ähnlichem Siedepunkt deutlich später anzutreffen ist.



Die Chromatogramme auf der Ricinusöl imprägnierten Säule sehen nur auf den ersten Blick ähnlich aus: Die Trennung Ethanol Hexan läuft ähnlich wie auf der Paraffinölsäule, die Peaks sind aber vertauscht.



Dass die Trennung von Methanol und Ethanol auf dieser Säule möglich ist zeigt ebenfalls die deutlich andere Polarität



Es lässt sich also mit einem GC dieser Bauart nicht nur die prinzipielle Funktionsweise eines Gaschromatographen demonstrieren, sondern auch Einflüsse unterschiedlicher Säulenmaterialien deutlich zeigen. Ebenso lässt sich demonstrieren, dass unbeschichtetes NaCl zu keiner Retention und damit auch zu keiner Trennung führt.

Die unterschiedliche Polarität der Beschichtungen lässt sich auch im Handversuch einfach demonstrieren: Paraffinöl ist mit Rhizinusöl nicht mischbar ebenso wenig mit Wasser. Auf dieser Basis kann man ein so genanntes Dreifarbenglas herstellen: Die wässrige Phase wird mit Kupfersulfat Blau gefärbt, während Iod das Paraffinöl violett und das Rhizinusöl braun färbt. Aufgrund der unterschiedlichen Dichten ergibt sich so eine Schichtung blau/braun/violett.¹²

¹² H.W. Roesky, K. Möckel; Chemische Kabinettstücke. Spektakuläre Experimente und geistreiche Zitate; Weinheim 1996, S150-151

4.2.2.2 Kosten

Der Aufbau der Elektronik ist zwar für den Aufbau durch SchülerInnen in einem kurzen Zeitraum zu kompliziert, aber einfach genug um umfassend verstanden zu werden.

Alle anderen Komponenten können durch SchülerInnen in Kleingruppen angefertigt und eingesetzt werden.

Durch die kurze Laufzeit der Chromatogramme sollten 3-4 Detektoreinheiten ausreichen um auch im Schülerversuch jeder Gruppe die Möglichkeit zu geben, eigene Versuche anzustellen.

Die Kosten für Gasversorgung, Säule und Einspritzung sind marginal. Wird statt des Luftballons eine Aquariumpumpe verwendet, so erhöhen sie sich um ca. 10€. Die Kosten für die Detektoreinheit sind vor allem von der Ausführung bestimmt. Frei fliegend verdrahtet, ohne Gehäuse und bei Verwendung eines billigen Potentiometers liegen die Kosten unter 25€. (Siehe Abbildung des Prototypen S.12)

Werden hochwertige Gehäuse, Stecker und Potentiometer verwendet steigen die Kosten auf ca. 100€, was immer noch deutlich unter dem Preis des Kappenberg GC liegt (in der günstigsten Variante ca. 285.-€ inkl Mehrwertsteuer).

4.2.2.3 Pädagogisches Konzept

Der Kostenvorteil gegenüber am Markt erhältlichen Materialien, (der sich bei einer seriösen Ausführung nur durch die Nichtbewertung der Arbeitszeit ergibt) alleine ist mit Sicherheit zu wenig, um den Aufwand zu rechtfertigen. Es gibt jedoch eine Reihe von Vorteilen, die dieses Konzept bietet:

- 1) **Keine Black Box:** Jede einzelne Komponente wird entweder von SchülerInnen hergestellt, oder ist extrem einfach aufgebaut. Dies gibt die Basis, um das Interesse für die Funktionsweise und das Zusammenspiel der Komponenten zu wecken.
- 2) **Offenheit:** Durch die Herstellung der Säulen inklusive des Füllmaterials ergibt sich eine viel höhere Flexibilität des Experimentierens. Mit einfachen Mitteln können neuartige Säulen hergestellt und gleich getestet werden.
- 3) **Höherer Aktivitätsanteil:** Die Eigenleistung der SchülerInnen ist im Vergleich zum Einsatz einer vorgegebenen Apparatur höher. Dies ermöglicht durch erhöhte Identifikation auch ein Anheben des Interesses und der Motivation.

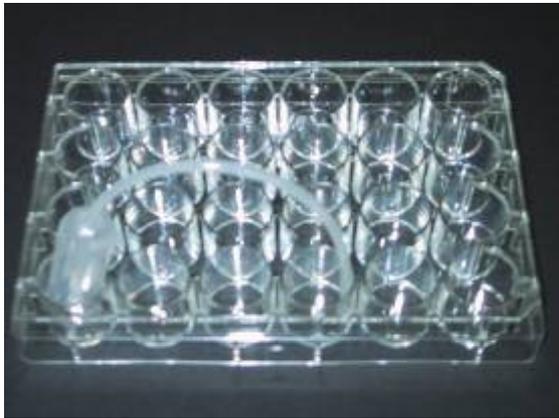
5 PRAKTISCHE ERFAHRUNGEN

5.1 Destillationsapparatur

Die Demonstration der Destillation von Alkohol gehört selten zu den wirklich aufregenden Unterrichtseinheiten. Es wird zunächst langwierig eine Apparatur aufgebaut, die anschließend eine halbe Stunde vor sich hintropft und das Resultat darf normalerweise nicht einmal verkostet werden. Hier wurde versucht, durch den Einsatz der microscale Destillationsapparatur etwas mehr Aktivität in diesen Stoffbereich zu bringen.

Folgender Ablauf der Unterrichtseinheit (Doppelstunde) wurde gewählt:

Zu Beginn der Stunde wurde in einer Apparatur wie der folgenden wurde die alkoholische Gärung mittels Traubensaft und Trockenhefe in Gang gesetzt. Die entstehenden Gase wurden in Kalkwasser eingeleitet.



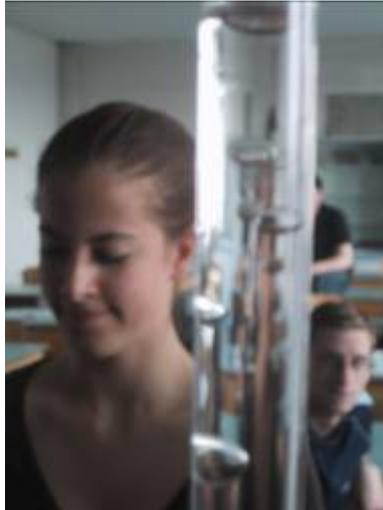
Gaseinleitungsapparatur

Anschließend wurde mit der Anfertigung der Destillationsapparaturen begonnen.



Herstellung der Destillationsapparaturen

Mit diesen Apparaturen wurde Inländer Rum (38%) destilliert. Dies hat zwei Gründe: Durch die Farbe lässt sich das Übergehen von Spritzern feststellen und der Alkoholgehalt ist in einem Bereich, wo komfortabel mit einem Wasserbad gearbeitet werden kann.



Destillationsapparaturen im Wasserbad/Abschätzung des Alkoholgehalts

Der Alkoholgehalt des Destillats wurde durch Eintropfen in Paraffinöl abgeschätzt. (Paraffinöl hat die Dichte von ca. 70%igem Alkohol. Steigt der Tropfen auf, so ist die Konzentration höher, sinkt er, so ist sie niedriger. Aus der Steig bzw. Sinkgeschwindigkeit kann weiter differenziert werden.) Es konnte also der Verlauf der Destillation verfolgt werden.

Der verbliebene Rest der Stunde wurde neben der Beobachtung der in der Zwischenzeit voll in Gang gekommenen Gärung mit der Protokollierung und Diskussion der Beobachtung zugebracht. Am Ende blieb noch ausreichend Zeit für Aufräumen etc.

Der Einsatz als Apparatur zum Rückflusskochen wurde anhand der Veresterung von Ethanol mit Essigsäure getestet. Bei der Verwendung konzentrierter Schwefelsäure als Katalysator zeigte sich, dass nach ca. 10 min Erhitzen im Wasserbad ein Abdestillieren des Esters problemlos möglich war. Diese Einsatzmöglichkeit der Apparatur wurde aber nur im Demonstrationsexperiment getestet, da die zurückbleibende konzentrierte Schwefelsäure in großen Gruppen ein beträchtliches Gefahrenmoment darstellt, vor allem die Gefahr des Verspritzens auch über größere Entfernungen durch die Pipettenkonstruktion relativ groß ist. (Ein Versehentliches zusammendrücken des „Kolbens“ kann die Apparatur zur Spritzpistole machen). Jedoch ist auch hier ein Vorteil gegenüber klassischen Glasapparaturen gegeben, sowohl was Kosten, als auch was Vor- und Nachbereitungsaufwand betrifft.

5.2 Gaschromatograph

Es war geplant den Gaschromatographen gegen Ende des Schuljahres im Unterricht einzusetzen. Durch die Renovierung der Chemiesäle am TGM, die eine Räumung derselben bereits im Anfang Mai erforderlich machte, war kurzfristig und unerwartet die Infrastruktur für ein solches Projekt nicht mehr vorhanden. Leider erfolgte die Kommunikation dieses Vorgehens so kurzfristig, dass es nicht möglich war das Projekt in anderem Rahmen zu realisieren. Eine praktische Erprobung des Ansatzes ist also erst im kommenden Schuljahr möglich.

6 EVALUATION UND AUSBLICK

Zwei Aspekte sind für die Evaluation dieses Projektes entscheidend:

6.1 Einsetzbarkeit der entwickelten Materialien

Die im Rahmen dieses Projekts entwickelten Experimentiermaterialien und Apparaturen sind zweifelsohne funktionstüchtig und im Unterricht einsetzbar. Sie erfüllen bzw. übertreffen die bei der Entwicklung gestellten Erwartungen. Von dieser Warte aus betrachtet ist das Projekt mit Sicherheit als Erfolg zu betrachten. Wesentlich schwieriger ist der weitergehende Nutzen zu beurteilen.

6.2 Pädagogischer Nutzen

Der Einfluss des Schülerexperiments auf die Motivation der SchülerInnen wurde bereits im Vorjahr im Rahmen des Vorgängerprojekts erhoben. Heuer wurde der Schwerpunkt darauf gelegt den Einfluss auf die Verankerung des Stoffgebiets zu erfassen. Dazu wurde ein Fragebogen zum Thema alkoholische Gärung und Destillation unter unterschiedlichen Voraussetzungen verteilt:

Einzelne Klassen hatten in den Stunden zuvor sowohl theoretisch, als auch in Schülerversuchen an diesem Thema gearbeitet.

Andere Klassen hatten nur den theoretischen Teil hinter sich.

Die letzte Gruppe hatte nur den praktischen Teil hinter sich.

Klasse	Theorie	Praxis	Punkte (von max. 10)	Standardabweichung
2AHEL	0	1	6,9	2,6
2BHEL	1	0	7,5	0,8
2BHIT	1	0	7,3	1,8
2CHEL	2	1	8,1	1,2
2DHEL	2	1	8,4	0,9
2CHIT	1	2	9,5	0,6

0 bedeutet: wurde in dieser Klasse vor dem Testen nicht durchgeführt

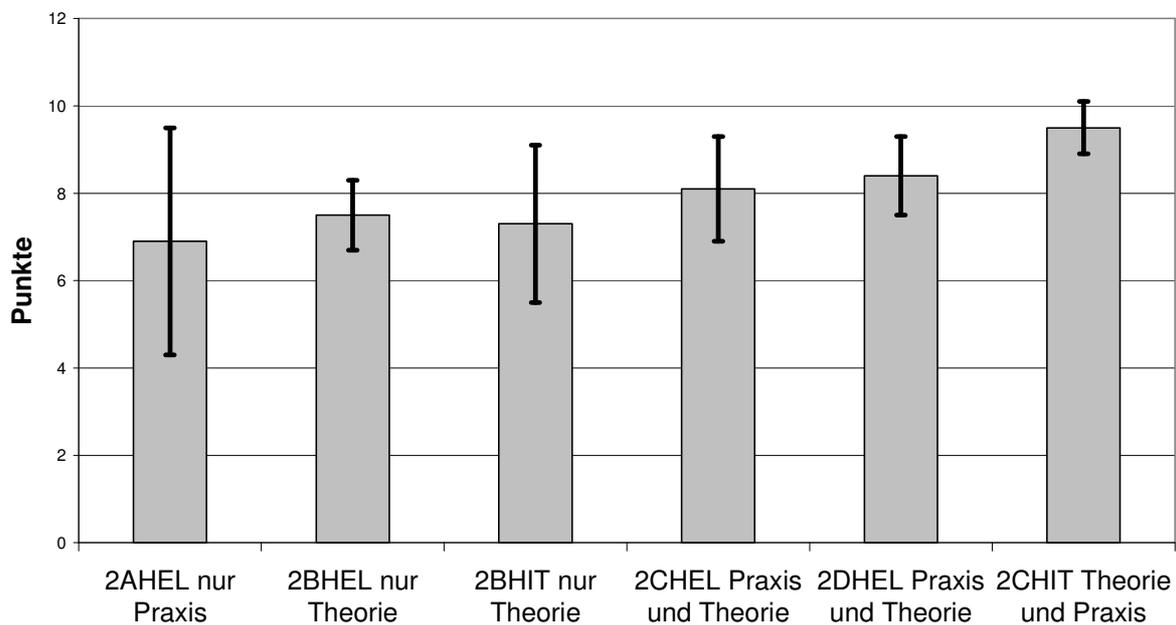
1,2 bedeutet : wurde in dieser Klasse vor dem Testen durchgeführt, Angabe der Reihenfolge

Hier zeigen sich einige erwartbare, aber auch einige überraschende Ergebnisse - wobei natürlich die statistische Signifikanz der Ergebnisse aufgrund der zugrunde liegenden Schülerzahlen nicht unbedingt gegeben ist. Die allgemein unerwartet guten Ergebnisse sind wahrscheinlich auf das hohe Interesse der SchülerInnen (15 Jahre 90% männlich) am Thema Alkohol zurückzuführen.

So überrascht ein wenig die Überlegenheit des Frontalunterrichts im Wissenserwerb gegenüber der praktischen Arbeit, die jedoch auch entsprechend begleitet wurde. Die beiden Klassen mit reinem Frontalunterricht (2BHEL und 2BHIT) schnitten besser ab als eine Klasse, die ausschließlich praktisch gearbeitet hatte (2AHEL), wobei hier die größte Streuung auftrat. Dass eine sowohl theoretische als auch praktische Erarbeitung des Stoffs zu einer Verfestigung und damit zu einer höheren Behaltequote führt ist nicht erstaunlich. Allerdings ist das Ausmass des Einflusses der Reihenfolge als sehr hoch einzustufen. In der 2CHIT, die den Stoff erst theoretisch und erst danach praktisch erarbeitete wurden sensationelle 95% der Fragen richtig beantwortet.

Dies zeigt, dass Schülerexperimente sehr gut geeignet sind, vorhandenes Wissen zu vertiefen, aber weniger effizient im Wissenserwerb.

Lernerfolg Alkoholische Gärung und Destillation



Man könnte das auch mit Goethe zusammenfassen: „Man sieht nur, was man weiß.“

Auf jeden Fall sieht man, wie wichtig für eine effiziente Unterrichtsgestaltung das Zusammenspiel von Experiment und Vortrag sein können und wie manchmal auch eine gewisse Dramaturgie erforderlich sein kann, um optimale Ergebnisse im Bezug auf Motivation und Behalten des Lehrstoffs zu erreichen.

7 LITERATUR

Amazon.com (21.4.2006)

Chemmovies.unl.edu/chemistry/beckerdemos/BD049c.html (21.4.2006)

Stephen Thompson; Chemtrek: small scale experiments for general chemistry ; prentice hall 1990

www.chemieexperimente.de (12.7.2006)

www.kappenberg.com (12.7.2006)

A. Sotriffer, A. Reindl; Microscale Schülerexperimente mit Low Cost Equipment im Chemieunterricht Projekt IMST3 Abschlussbericht

imst.uni-klu.ac.at/materialien/index2.php?content_id=176752 (12.7.2005)

Chemmovies.unl.edu/chemistry/beckerdemos/BD049c.html (21.4.2006)

www.figarosensor.com(29.5.06)

www.conrad.at (29.5.06)

H.W. Roesky, K: Möckel; Chemische Kabinettstücke. Spektakuläre Experimente und geistreiche Zitate; Weinheim 1996; 150-151

ANHANG

Bezugsquellen:

Kunststoffpipetten: www.vwr.at Bestellnr.: 612-1755 500Stk €15,20

Gassensor TGS 813 www.conrad.at Bestellnr.:183474 – HK €17,20

Trinkhalme 100cm 6,5mm Durchmesser z.B. Interspar 100Stk. € 1,99