

Die Halbmikrotechnik

von Klaus-G. Häusler

Die Halbmikrotechnik in der Chemie ist eine Möglichkeit, anhand geeigneter Experimente in Schülerübungen Stoffumsetzungen zu studieren, die über den Reagenzglasversuch hinausgehen.

Durch die kleineren Mengen sinkt sowohl der Stoffverbrauch als auch die Gefährdung. Die unmittelbare Nähe des Experimentes und die Möglichkeiten der Einflußnahme steigern die Motivation des Schülers. Dies wiederum trägt zur Verbesserung des Lernerfolgs bei.

Die Halbmikrotechnik hat schon lange ihre Daseinsberechtigung in der analytischen Chemie, wo es notwendig ist, auch mit kleinsten Mengen Nachweise führen zu können.

In der präparativen Chemie in Forschung und Industrie wird auch bei größeren Ansätzen der Syntheseweg mit Halbmikroansätzen auf die Erfolgsaussichten und Ausbeuten geprüft. Hier stehen besonders ökonomische, zeitliche und wirtschaftliche Interessen im Vordergrund.

Für die Aufgaben der Schulchemie ist es sinnvoll, spezielle Glasapparaturen zu entwickeln, die es ermöglichen, Schülerübungen unter Berücksichtigung des verantwortungsvollen Umganges mit Chemikalien durchzuführen. Nutzt man dazu schon bekannte Entwicklungen und die modernen Fertigungstechniken der Labor- und Glasindustrie, so erhält man durch die Verwendung von Glasgewinden und PTFE/Silicon-Dichtungen ein hochwertiges, kombinationsfähiges und damit preiswertes Schülerübungsmaterial, das in ähnlicher Weise auch in Forschung und Industrie Verwendung findet.

Mit einer für den Gebrauch in der Schule abgestimmten Spezialentwicklung lassen sich die besonderen didaktischen Problemstellungen des Planens und Durchführens von Schülerexperimenten lösen [1, 2, 3].

Der Halbmikro-Experimentiersatz

Papiermodelle

Papiermodelle sind Verkleinerungen, die alle wesentlichen Teile in der Stückzahl des Halbmikrosatzes enthalten. Durch doppelseitiges paßgenaues Drucken können die asymmetrischen Teile auch rückseitig verwendet werden.

Mit dem Papierumdruck kann das Begreifen und Benennen geübt werden. Man muß sich vorstellen, daß der Schüler im Moment des ersten Kontaktes nur wenige Laborgeräte kennt. Teile benennen zu können und ihre Funktion zu kennen, ist wichtige Grundbedingung für das Arbeiten im Labor.

Man kann so mit den Schülern meist schon zu einem früheren Zeitpunkt die Regeln besprechen, wie man in der Technik *Geräte* benennt.

Die einfachste Art nennt

1. *Material/Form/Aussehen* z. B. Eisenkugel, Glasrohr ...

Die aussagefähigere Weise beschreibt durch Nennung von

2. *Funktion bzw. Arbeitsweise* z. B. Gegenstromkühler, Gasbrenner ...

Bei komplizierten oder in Fachkreisen bekannten Geräten nennt man

3. Name des *Herstellers/Erfinders* z. B. Liebigkühler, Bunsenbrenner ...

Mit dem Ausschneiden wird der Schüler gezwungen, die Einzelteile zu „begreifen“. Damit weiß er, über welche Glasteile er verfügen kann. Auch kann er bei seiner Hausaufgabe schon treffende Namen geben z. B. Tropfer, T-Stück, Verbindungsstück.

Die ausgeschnittenen Teile werden in einem gelochten Briefumschlag aufbewahrt. Mit diesen Teilen können später aufwendigere Apparatur-Konstruktionen als Hausaufgabe gelöst werden. Damit erreicht man, daß der Schüler auch nach einiger Zeit mit seinen Konstruktionsvorschlägen im Bereich des Realisierbaren bleibt.

Der Adhäsiv-Foliensatz

Der Adhäsiv-Foliensatz besteht aus einer rot eingefärbten Lagerfolie (nicht adhäsiv), einer schwarz eingefärbten Adhäsiv-Folie der Teile und einer Ablegefolie (für die Apparatekonstruktionen). Eine weiße Papierseite dient dem Kontrast und dem Vermeiden des Zusammenklebens, wenn mehrere Foliensätze als Klassensatz abgeheftet werden sollen.

Nach dem Ausschneiden der schwarzen Adhäsiv-Teile werden die roten Stellen der Lagerfolie paßgenau abgedeckt. Auf diese Weise hat der Lehrer beim Einsammeln in kürzester Zeit einen Überblick, ob und welche Teile verloren gegangen sind.

Der Adhäsiv-Foliensatz ist während der Entwicklung des Halbmikro-Glasbausatzes entstanden. Um optimale Geräteteile zu entwickeln, wurden viele gängige Apparaturen photokopiert, zerschnitten und in immer neuer Anordnung wieder zusammengelegt. Um diese Teile zu fixieren, sollten sie auf dem Kopf liegend photokopiert werden. Dabei verrutschten die Teile hoffnungslos. Mit den adhäsiven Folienteilen ist selbst das Umdrehen kein Problem. Für die Arbeit des Lehrers in der Klasse ergeben sich daraus nützliche Anwendungen.

Im Anfangsunterricht wird man den Foliensatz mehrfach einsetzen, um in Gruppenarbeit Apparaturen entwickeln zu lassen. Hat man unterschiedliche Lösungsvorschläge und nur noch wenig Besprechungszeit, kann man einen weitgehend richtigen Vorschlag auf dem Overhead-Projektor erläutern lassen. Anderenfalls ist es auch möglich, mehrere Vorschläge vergleichend zu diskutieren, ohne daß die Teile verrutschen. Fehlende Teile können leicht auf Folienresten mit Permanentstiften selbst ergänzt werden.

In der Vorbereitung des Unterrichts hat der Lehrer die Möglichkeit, Apparaturen auf Folien zu konstruieren und sie entweder durch Schüler direkt vorführen zu lassen oder sie als Verkleinerungen in Schülerarbeitsblättern zu verwenden.

Der Halbmikro-Glasbausatz

Der Halbmikro-Glasbausatz besteht aus Borosilicat-Glas mit laborüblichen Glasgewinden und PTFE/Silicon-Quetschdichtungen.

Diese Art der Glasverbindung ist gerade im Hinblick auf Bruchunempfindlichkeit, Dichtigkeit und Handhabungssicherheit insbesondere in der Schule jeder anderen

Verbindungstechnik vorzuziehen. Die neu in die Labortechnik eingeführte Federklammer ermöglicht ein sekundenschnelles Auf- und Abbauen selbst komplizierter Apparaturen. In Verbindung mit dem Alu-Vierkantrohr hat der Lehrer von jeder Seite Einblick in das Versuchsgeschehen. Die Stoffportionen bewegen sich bei Lösungen im Bereich zwischen 5 Tropfen und 2 Millilitern und bei Feststoffen bis ca. 500 Milligramm. Damit sind die Stoffportionen einer gängigen Lehrerdemonstration im Makromaßstab größer als die von 8 Schülerversuchen. Obwohl elektrische Heizöfen angeboten werden, ist bei diesen Mengen das Erhitzen mit der freien Sparflamme des Gasbrenners die gängige Methode. So siedet 1 ml Wasser in einer Apparatur nach ca. 45 Sekunden, und der Versuch kann bereits nach 3 Minuten wieder abgeräumt werden.

Beim Erhitzen über längere Zeit mit gleichbleibenden Temperaturen (Destillation) oder gleichbleibendem Temperaturanstieg (Schmelz-, Siedetemperatur-Bestimmung) haben elektrische Öfen jedoch Vorteile.

Die Halbmikro-Projektion

Durch die Verwendung eines Spezial-Projektors in der Arbeitsweise eines liegenden Overhead-Projektors ist es möglich, die gleichen Halbmikro-Glasapparaturen für die Lehrerdemonstration zu verwenden, somit entsteht für Schüler kein Verfremdungseffekt. Die offene Bauweise des Projektors erlaubt das Arbeiten mit dem Gasbrenner. Zwei Zugeständnisse an die Projektion müssen jedoch gemacht werden. Zum einen sind die Apparaturen real seitenverkehrt aufzubauen, damit die Projektion seitenrichtig d. h. von links nach rechts mit dem Massetransport erscheint. Zum zweiten müssen auf die runden Reaktionsgefäße kleine Küvetten aufgesteckt werden, um die Linsenwirkung mit Wasser gefüllter Gefäße auszuschalten und hineinschauen zu können.

Das Auditorium hat während der Versuchsdurchführung direkte Einsicht in das Versuchsgeschehen. Zur Seite des Auditoriums dämmt eine Rauchglas-Acrylglasplatte das helle Licht des Projektors und dient gleichzeitig als Spritzschutz, damit man zum Zweck optimaler Projektion bis dicht an die erste Sitzreihe fahren kann.

Anwendungsbeispiel „Kohlenstoffdioxid in Atemluft“

Unterrichtliche Einordnung und herkömmliche Durchführung

Der Planung einer Apparatur zum Nachweis von Kohlenstoffdioxid in Atemluft mit gesättigtem Kalkwasser sollte ein Versuch vorausgeschickt werden, in dem die Wirkung von Kalkwasser auf Eiklar demonstriert wird (Denaturierung).

Das im Labor übliche Gerät, mit dem Gase durch eine Flüssigkeit geleitet werden, ist die Gaswaschflasche. Will man den gleichen Atemzug vor und nach dem Atmen auf Kohlenstoffdioxid untersuchen, werden üblicherweise zwei Gaswaschflaschen über ein T-Stück gegeneinandergeschaltet (Abb. 1). Der Zugang der Luft wird meist durch Schlauchklemmen geregelt.

Für Schülerübungen stehen selten genügend Gaswaschflaschen zur Verfügung, die mittlere Entfernung eines Schülers vom Lehrerdemonstrationstisch ist so groß, daß die Anordnung der Zu- und Ableitungsrohre schlecht erkennbar ist.

Arbeitet man jedoch im Halbmikromaßstab, so können entsprechende Apparaturen (Abb. 2) durch jede Schülergruppe nachgearbeitet werden. Die Bruchgefahr ist mini-

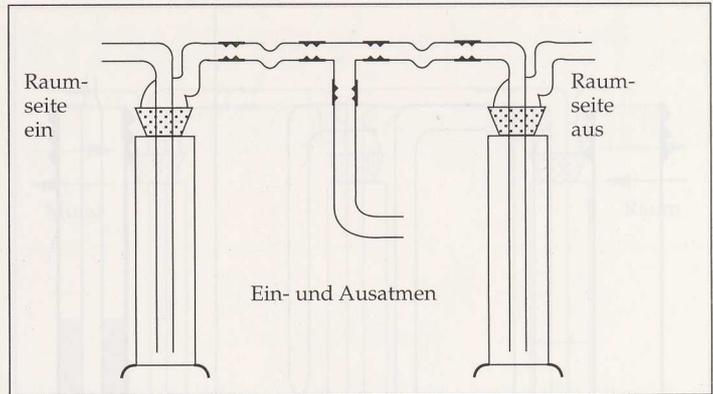


Abb. 1: Üblicher Aufbau zum Nachweis von Kohlenstoffdioxid in Atemluft; z. B. Klett: ELEMENTE (NRW Klasse 7; S. 48)

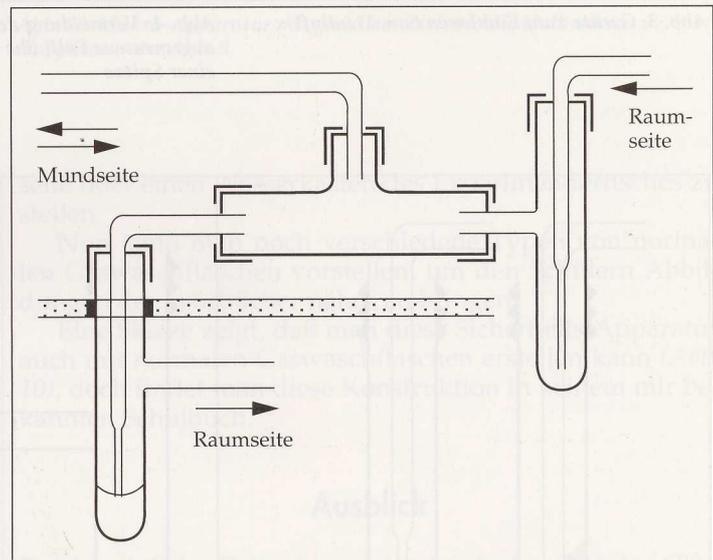


Abb. 2: Die Halbmikro-Apparatur zum Kohlenstoffdioxidnachweis in Atemluft

mal, da das Verhältnis von Wandstärke des Glases zur Größe der Gesamtapparatur groß ist. Außerdem werden keine Schläuche verwendet, so daß Verletzungsgefahr oder das Festkleben von Gummi auf Glas nicht auftreten.

Baut man die Apparatur der Abb. 1 im Halbmikromaßstab nach, kann man schlauchlos arbeiten und schließt so die Bruchgefahr an den Einsätzen der Gaswaschflaschen aus. Schlauchklemmen sind nicht notwendig, es reicht ein Verschließen des Ein- bzw. Austrittsrohres mit dem Finger.

Problematisch wird die Aufsicht des Lehrers zum richtigen Umgang mit der Apparatur (s. u.). Ein Ausweg ist die Projektion der Halbmikro-Apparatur. Der Lerneffekt im Planen von Apparaturen bleibt dann zwar erhalten aber der verantwortungsbewußte Umgang mit Chemikalien geht verloren.

Anders verhält sich die Sache, wenn die Schüler an der Planung beteiligt werden und diese durch eigenes Experimentieren erleben können. Die Halbmikrotechnik bietet dazu die Möglichkeit.

Planung einer Halbmikro-Apparatur mit Schülern

Dem Schüler des Anfangsunterrichtes ist unklar, welche Geräte er zur Realisierung seiner Aufgabe benutzen kann. Hier können Papierumdruck bzw. Adhäsivfolie weiterhelfen.

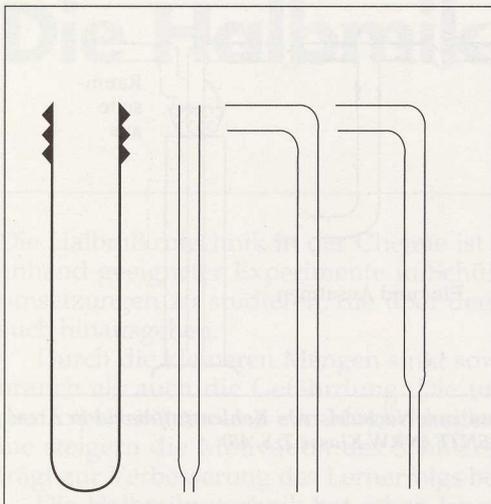


Abb. 3: Geräte zum Einblasen von Atemluft

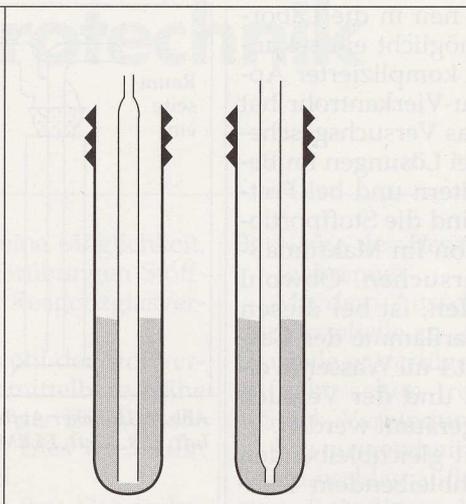


Abb. 4: Vermeidung des Überfließens durch angemessene Füllhöhe und Verwendung einer Spitze

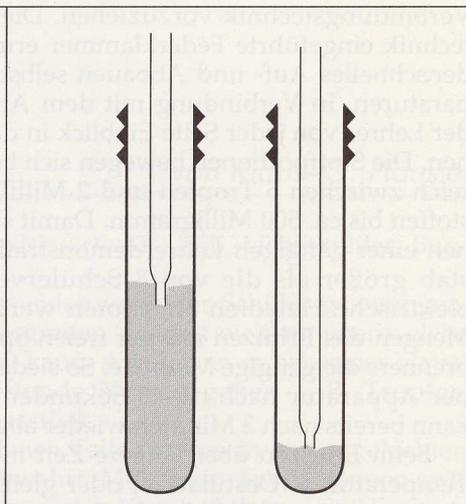


Abb. 5: Vermeiden des Überfließens durch die Wahl eines angemessenen Volumens und Eintauchen bis knapp unter die Oberfläche

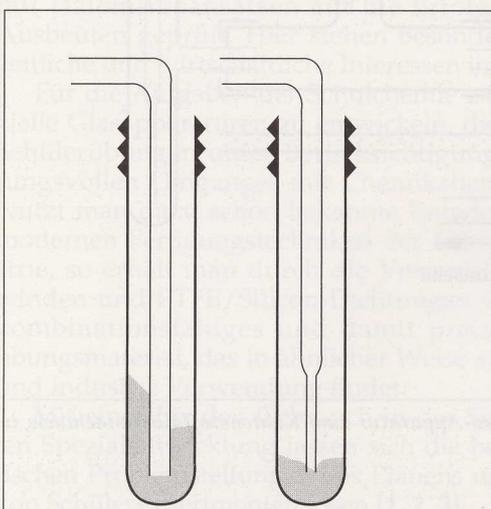


Abb. 6: Vermeiden der Gefahr des Herausspritzens durch Verwendung eines Rohres mit Spitze und Verringern der Gefährdung des Experimentators durch Verwenden eines gewinkelten Rohres evtl. mit Schlauch

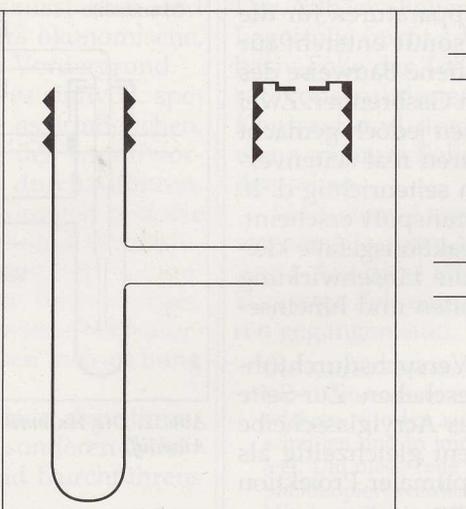


Abb. 7: Alternatives Reagenzgefäß zur Herabsetzung der Gefährdung durch herausspritzende Flüssigkeiten

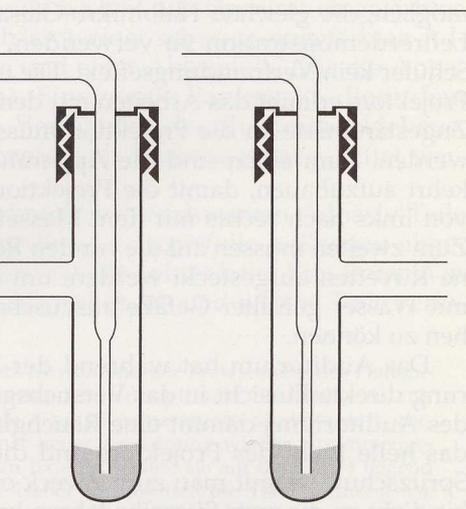


Abb. 8: Festlegen von Eintritts- und Austrittsrichtung

Er wird die Teile der Abb. 3. finden, die aber noch nicht endgültig benannt werden sollten, da die Namen Tropfer und Gaseinleitungsrohr die eigentliche Verwendung vorwegnehmen.

Zunächst läßt man durch einen „Blindversuch“ mit Wasser den Schüler die Eintauchrichtung (Abb. 4) und die Eintauchtiefe (Abb. 5) erproben. Dabei kann der Schüler auch herausfinden, wieviel Reagenzlösung für den Versuch notwendig ist. Es reichen in der Regel 1 – 2 ml Lösung.

Der Hinweis, daß Kalkwasser im Auge zu Verätzungen führt, zwingt zu weiteren Verbesserungen der Apparatur.

Calciumhydroxid, $\text{Ca(OH)}_2(\text{S})$: ätzend C; R 34; S 26 – 36; für Schülerübungen zugelassen. Das gesättigte Kalkwasser hat ungefähr die Stoffmengenkonzentration $c(\text{Ca(OH)}_2) = 0,02 \text{ mol/l}$. Der Entsorgungshinweis, neutralisieren und in den Abfluß gießen, läßt sich sehr gut mit verd. Essigsäure durchführen und sollte später eine eigene Unterrichtseinheit bilden. Dabei werden zum einen die anhaftenden Kalk-Niederschläge gelöst, Kohlenstoffdioxid wird wieder frei (Entdecken der reversiblen Reaktion), die Reagenzglä-

ser, Tropfer, Gaseinleitungsrohre werden von anhaftendem Kalkstein befreit. Die Reaktion des Kalksteinentfernens mit verd. Essigsäure (Xi) kann auch verantwortungsbewußt im Haushalt angewendet werden.

Diese Erfahrungen der Schüler führen zum Einsatz eines abgewinkelten Glasrohres (Abb. 6b) mit langer dünner Spitze, die nur gering in ein kleines Volumen Kalkwasser eintaucht: Gaseinleitungsrohr.

Nun beginnt der eigentliche Teil der Apparaturkonstruktion mit den Schülern: Die feste Verbindung einzelner Bauteile zu einem Gerät. Dazu wird das einfache Reagenzglas durch ein Reagenzglas mit seitlichem Ansatz ersetzt und eine Schraubkappe mit Dichtung (Abb. 7) hinzugenommen.

Ein Reagenzglas mit Verschuß oben und einem seitlichen Gasaustritt zusammen mit dem Gaseinleitungsrohr wird als Gaswaschflasche bezeichnet. Die Austrittsöffnung sollte vom Experimentierenden weg zeigen (Abb. 8).

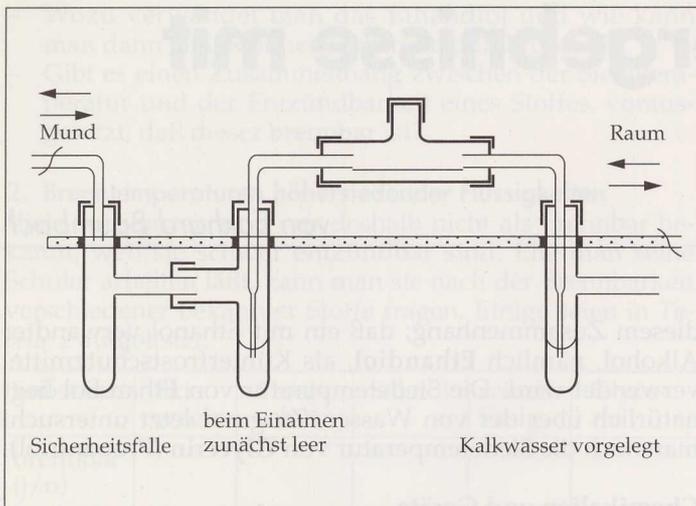


Abb. 9: Vollständige Apparatur zur Untersuchung des Kohlenstoffdioxid-Gehalts in der eingeatmeten und ausgeatmeten Luft unter Beachtung von Sicherheitsregeln

Es folgt das Verbinden zweier Gaswaschflaschen über ein T-Stück und man erhält die Halbmikroapparatur der Abb. 2. Diese muß aber für Schülerübungen noch bedienungssicherer werden (Bei falschem Öffnen bzw. Schließen könnte ein Schüler Kalkwasser in den Mund bekommen, oder das Kalkwasser spritzt auf den Tisch.).

Aspekte der weiteren Sicherheitsschulung

Ein Merksatz im Umgang mit Technik ist: Die wahrscheinlichsten Gefährdungen und/oder die Gefährdungen mit dem größten Schaden müssen zuerst ausgeschaltet werden. Die übriggebliebenen Gefahren nennt man Restrisiko. Das Restrisiko wird nach der gleichen Regel solange vermindert, bis die mögliche Gefahr, die von einer Apparatur ausgeht, klein ist gegenüber dem Nutzen. Ein Restrisiko bleibt immer.

Die Beurteilung und Verringerung vom Restrisiko läßt sich sehr gut an diesem „Atemversuch“ mit Schülern erarbeiten.

Die Einführung der Wasserfalle

Sicher erkennt der Schüler die Gefährdung durch Austreten von Flüssigkeit. Er muß also die Seite vorrangig durch eine Wasserfalle schützen, an der der Mund ansetzt. Einmal eingedrungene Flüssigkeit bleibt in der Falle gefangen. Dies ist bei den baugleichen Reagenzgefäßen gewährleistet (Abb. 9).

Die Einführung der Sicherheitsflasche

Um nun aber auf dem gleichen Wege Ein- und Ausatmen zu können, ohne Ventile oder Hähne betätigen zu müssen, ist die konstruktive Hilfe des Lehrers notwendig. Er stellt in einer Apparaturskizze (Adhäsiv-Folie für den Overhead-Projektor: Abb. 9, ohne Text) eine komplette Apparatur vor. Die Schüler finden nun jeder für sich die Arbeitsweise heraus und diskutieren den Versuchsverlauf für das Ein- und Ausatmen gemeinsam.

Eine anschließende Diskussion beschäftigt sich mit der Frage, ob nicht auch die Raumseite mit einer Wasserfalle zu schützen sei. Dem erhöhten apparativen Aufwand wird die geringe Gefährdung gegenübergestellt. Als akzeptable Lösung wird daher die Möglichkeit gewählt, die Austritts-

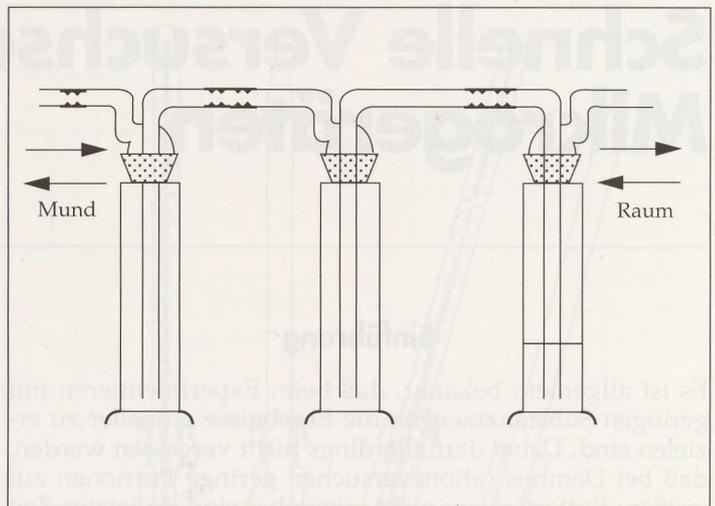


Abb. 10: Makro-Apparatur mit gleichem Ziel wie die Halbmikro-Apparatur der Abb. 9

seite über einen Wasserkasten des Experimentiertisches zu stellen.

Nun kann man noch verschiedene Typen von normalen Gaswaschflaschen vorstellen, um den Schülern Abbildungen der Lehrbücher näher zu bringen.

Eine Skizze zeigt, daß man diese Sicherheits-Apparatur auch mit normalen Gaswaschflaschen erstellen kann (Abb. 10), doch findet man diese Konstruktion in keinem mir bekannten Schulbuch.

Ausblick

Der beachtliche Zeitaufwand ist durch das Ziel des Chemieunterrichts, zu verantwortbarem Umgang mit Stoffen zu erziehen, gerechtfertigt. Im Laufe des Unterrichts nimmt der Zeitaufwand für das Beschreiben von Apparaturen und ihre Benutzung (Übung!) dermaßen ab, daß die eigentlich chemisch-theoretische Fragestellung nicht vernachlässigt werden muß. Auch kann häufig dem Wunsch einzelner Schüler, eigene Apparaturentwürfe auszuprobieren oder „eben mal schnell“ experimentell eine Hypothese zu prüfen, nachgegangen werden.

Literatur

- [1] Halbmikro-Glasbausatz; Firma TOBIFO, Rosenweg 12, W-6901 Nekarsteinach.
- [2] Häusler, K.-G.: Wassernachweis in blauem Kupfersulfat. PdN Chemie 40 (1991), H. 1, S. 17 ff.
- [3] Häusler, K.-G.: Über den Umgang mit Gefahrstoffen am Beispiel der Darstellung von Eisen(II)- und Eisen(III)-chlorid. PdN Chemie 40 (1991), H. 8, S. 30 ff.

Autor

Dr. Klaus-G. Häusler, geb. 1947, seit 1980 Lehrer am Immanuel-Kant Gymnasium in Münster/West.

Adresse: Eickenbecker Str. 7c, 4406 Drensteinfurt 3.