

Halbmikrotechnik im Anfangsunterricht

am Beispiel Kupfersulfat – Eine Einführung mit Recycling-Modell-Charakter

K.-G. Häusler

1 Einleitung

1.1 Die spezifische Anfangsmotivation im Fach Chemie

Wer Anfangsunterricht im Fach Chemie erteilt, braucht sich über mangelnde Schülermotivation nicht zu beklagen. Wählt man als Einstieg gar einen Versuch mit Showeffekt, z. B. den Ammoniumdichromat-Vulkan (Vorsicht! Abzug!) oder eine Knallgas-Explosion, ist der Bann gebrochen, es leuchten die Kinderaugen. Im Vordergrund steht nur der Wunsch:

„Viel hilft viel“.

In der Folgezeit wird man es schwer haben, die geweckten Erwartungen weiterhin zu erfüllen. Es ist auch klar, daß sich die Frage nach dem Definitionsbereich des Faches Chemie auf die Antwort reduziert:

„Chemie ist, was knallt und stinkt“.

Der Versuch, Schülern ein umweltbewußtes Verhalten zu vermitteln, wird hierdurch nicht erleichtert. Das ist bei dieser Art Einstieg verständlich, denn:

„Von nichts kommt nichts“.

1.2 Die Halbmikrotechnik als logische Konsequenz des Bildungsauftrages im Fach Chemie

Die Kurzdefinition der Naturwissenschaft Chemie lautet: Chemie befaßt sich mit Stoffen, ihren Eigenschaften und Umwandlungen.

Ergänzend dazu die Definition für die Technik: Technik ist die systematische Anwendung naturwissenschaftlicher Kenntnisse zur Erweiterung der Fähigkeiten des Menschen mit dem Ziel der Vereinfachung der Lebensbedingungen aller Menschen. Beide Zielrichtungen und das Vermitteln von Umweltbewußtsein stehen im Mittelpunkt des Chemieunterrichts. Eine Abwägung der vorangestellten Sätze zeigt, daß

1. erst naturwissenschaftliche Grundlagen geschaffen werden müssen, um

2. die technische Nutzung durchführen zu können.

Die Erfahrung ungehemmter Anwendung von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen in der Technik führt jedoch kaum zur Vereinfachung, geschweige denn zur Verbesserung der Lebensbedingungen aller Menschen. Das gesteckte Ziel kann nur erreicht werden, wenn die bestehenden Gleichgewichte der Natur möglichst wenig verändert werden. Daher ist es notwendig, dem Schüler Kreisläufe und Zusammenhänge der Stoffumwandlung aufzuzeigen und einsichtig zu machen.

Im Gegensatz zur Anwendung der Chemie in der Technik, hat die Chemie in der Schule nur die wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung zum Ziel. Zur Vermittlung von Erkenntnissen benötigt man keine großen Stoffportionen. Hier aber liegt der Ansatzpunkt für den Einsatz der Halbmikrotechnik in der Schulchemie, bietet doch gerade sie die Möglichkeit, unter Ausnutzung ökonomischer und ökologischer Vorteile (siehe diese Zeitschrift, Zitate) mit geringeren Stoffportionen und weniger Aufwand mehr Erkenntnisse für mehr Schüler bereitzustellen.

1.3 Erweiterte Zielvorstellung der Erkenntnisgewinnung durch Vermittlung von Zusammenhängen

Im folgenden Abschnitt soll gezeigt werden, wie es durch systematisches Anwenden der experimentierfreundlichen Halbmikrotechnik bereits im Anfangsunterricht gelingt, Zusammenhänge zu unterrichten. Ausgewählt wurde dazu das Stoffbeispiel „blaues Kupfersulfat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)“,

das wohl in keinem Anfangsunterricht fehlt [1–3]. Im Vordergrund dieser Betrachtungen stehen die experimentellen Möglichkeiten, wie sie die Halbmikrotechnik für Schülerübungen [4] bietet. Besondere Berücksichtigung findet der Aspekt der Sicherheitsschulung des Schülers. Die didaktischen Überlegungen sind so angelegt, daß sie für den Stoff „blaues Kupfersulfat“ in einem Recycling-Modell münden. Wesentlich für die Konstruktion von Chemie-Apparaturen durch Schüler ist die Einsicht über den Sinn der chemischen Untersuchung: Werden Stoffe nur zum Zweck der Erkenntnisgewinnung (Analyse) umgesetzt, so muß man versuchen, mit kleinsten Mengen den Nachweis führen zu können.

Der Schüler muß mit dem Bewußtsein aufwachsen, daß jeder unbekannte Stoff so lange als giftig gilt, bis der Nachweis der Ungiftigkeit erfolgt ist. Damit verbunden werden muß die Erkenntnis, daß alle Stoffe und ihre Umwandlungsprodukte auch entsorgt werden müssen.

Aus diesen Gründen folgt zwingend die Verwendung kleinster Stoffportionen, die nach Möglichkeit noch wiederaufbereitet werden sollten.

2 Die Unterrichtsreihe: Das blaue Kupfersulfat

2.1 Allgemeines

2.1.1 Lernvoraussetzungen für die Bearbeitung des Themas

Für die Unterrichtsreihe werden nur wenige Kenntnisse vorausgesetzt. Den Schülern sollte bekannt sein, daß alle Stoffe sich fühlen lassen und unterschiedliche Eigenschaften durch die menschlichen Sinne erfaßt werden können. Ferner sollte vereinbart sein, daß alle Beobachtungen schriftlich festgehalten werden.

Entscheidend für das gemeinsame Lernen ist die Bereitschaft, über Beobachtetes nachzudenken und Vermutungen freimütig zu äußern.

An Gegenständen sollte der Gasbrenner bekannt sein. Für erste Versuche des Erhitzens von Stoffen eignen sich Reagenzglasversuche mit *Zinkoxid* (Salbenbestandteil; reversible Verfärbung), weißes Polyethylen (Bestandteil von Gefrierboxen oder Yoghurtbechern; irreversible Veränderung; ungiftig, kein Polystyrol oder PVC verwenden!), *Traubenzucker* oder *Zucker* (Haushaltsware; irreversible Veränderung mit sichtbarem gasförmigem Zersetzungsprodukt; Karamell, u. U. essbar).

Die drei Aggregatzustände des Wassers sind den Schülern ohnehin bekannt. Der Aggregatzustandswechsel von Reinstoffen bei stoffspezifischer Temperatur sollte durch ein Schmelz-/Siedediagramm bei Wasser und einem anderen festen Reinstoff (z. B. Stearinsäure) festgestellt worden sein.

Gemäß der Aufgabe der Chemie, Stoffe zu erkennen und ihr Verhalten zu beschreiben, sind die Siede-/Schmelztemperaturen eine erste und wichtigste Identifizierungsmöglichkeit für Reinstoffe und daher Gegenstand weiterer Untersuchung (s. Arbeitsblatt 1).

2.1.2 Sicherheitsoptimierung einer Siedetemperaturbestimmungsapparatur

Bei der Untersuchung eines unbekanntes Stoffes muß bis zum Beweis des Gegenteils mit der Gefährdung des Experimentators gerechnet werden. Die Problemstellung für den Schüler lautet:

Konstruiere eine Apparatur, die es ermöglicht, möglichst gefahrlos die Siedetemperatur einer unbekanntes Flüssigkeit zu ermitteln (s. Arbeitsblatt 2).

Man macht sich als Lehrer häufig nicht klar, mit welcher Schwierigkeit die Aufgabe für den Schüler verbunden ist, sind ihm doch keine Laborglasgeräte bekannt. Daher soll darauf aufmerksam gemacht werden, an sich selbst zu beobachten, mit welchen Hemmnissen allein das Verstehen der bereits vorgegebenen Lösung verbunden ist. Die Unterrichtsform kann daher nur das gelenkte Unterrichtsgespräch sein, bei dem der Schüler alle zur Verfügung stehenden Apparateile des Halbmikroglasbaukastens vor sich hat.

<p>Primitive Apparaturen gefährden den Betreiber. (billig, schnell, unbedacht)</p> <p>Sicherheit ist mit einem Mehr an Aufwand verbunden. (Vermehrte Teilezahl, höherer Material- und Zeitaufwand)</p> <p>Zu aufwendige Apparaturen stellen ein neues Risiko dar. (Bruchgefahr, Handhabungsfehler)</p> <p>Gesucht ist die „mittlere Lösung“. Sie besitzt das kleinste Restrisiko.</p> <p>Ein Restrisiko bleibt immer!</p>

Abb. 1: Tafelbild

Letzteres ist praktisch nur mit Halbmikrogeräten möglich. Andere Anschauungsmaterialien wie Magnettafelteile, Tafelbilder oder Folien von Fertigapparaturen können nicht die Möglichkeit des „Begreifens“ bieten. Aus der Vielzahl von Möglichkeiten sind die durch Schüler häufig vorgelegten oder im gelenkten Unterrichtsgespräch gewonnenen Varianten A–G in einer Folie zusammengestellt (s. Arbeitsblatt 2). Sie kann als Ergebnissicherung im Unterricht eingesetzt werden.

2.2 Bedeutung des Glasblasens durch Schüler

Für den Umgang mit chemischen Apparaturen sind Kenntnisse über den Umgang mit Glasgeräten zweckmäßig. Obwohl alle Glasteile zu Halbmikrogeräten im Fachhandel erhältlich sind, ist es von Vorteil, sich selbst Zusatzteile anfertigen zu können. Die Grundlagen hierzu können frühzeitig gelegt werden.

Gewöhnlich findet im Anfangsunterricht eine Einweisung in die Funktion des Gasbrenners statt. Statt Sicherheitsfragen interessieren die Schüler mehr die Fragen, wie heiß die Flamme ist und was man damit machen kann. Nach ein paar von Schülern vorgeschlagenen Stoffen setzt der Lehrer schließlich das Erwärmen von ausgewählten Stoffen an. Dabei werden das Schmelzen, Erweichen und Verdampfen entdeckt. Für die (Schul-)Chemie sind Schmelz- und Siede-

vorgänge von entscheidender Bedeutung, sie sind die zur Identifikation eines Reinstoffes wesentlichen Eigenschaften. Die Erweichungs- und Verfestigungsvorgänge jedoch, die bei der Formgebung z. B. in der Glasbearbeitung von großer Bedeutung sind, werden jedoch häufig im Unterricht nur am Rande erwähnt. Gemeinhin vermutet man bei den Schülern keine ausreichende Fertigkeit zum Glasblasen brauchbarer Glasteile. Das ist jedoch nicht der Fall.

Neben der technischen Bedeutung sind aber noch wesentliche Gründe zu nennen, weshalb die Glasbearbeitung in den Anfangsunterricht gehört.

Zum einen geht von der Glasbearbeitung eine Faszination aus, wie man es bei Glasbläsern auf den Weihnachtsmärkten beobachten kann. Da es dem Schüler schon in kurzer Zeit gelingt, einfache Formen zu gestalten, kann diese Begeisterung für den Umgang mit Glas leicht auch auf die chemischen Glasgeräte und die darin ablaufende Chemie übertragen werden.

Zum anderen wird durch eine geschickte Auswahl der zu formenden Gegenstände das Bewußtsein auf chemierelevante Geräte gelenkt. Wenn diese *selbstgestalteten* Glasteile auch noch in Schülerübungen zweckbestimmt eingesetzt werden können, steigt die Begeisterung an der eigenen Tätigkeit enorm. Darüberhinaus vermittelt die Fähigkeit, Glas die gewünschte Form geben zu können, wertvolle Einsichten bei der Entwicklung von schultechnisch machbaren Glasapparaturen.

Aber auch ökonomische Gründe sprechen für eine Einführung in die Glasbearbeitung in Schülerübungen der Sek. I. Zu nennen sind die Möglichkeit, vorausschauend zu planen, indem Apparaturteile, die bei der chemischen Umsetzung der Zerstörung ausgesetzt sind, im „Eigenbau“ hergestellt werden. Außerdem entsteht dem Lehrer eine wesentliche zeitliche Erleichterung, da die Schüler so großen Spaß an der Glasbearbeitung finden, daß sie bereitwillig kleine Winkel, Einschnürungen und Reaktionskölbchen herstellen, die sich problemlos in die Schraubgewinde der Halbmikroapparate einsetzen lassen. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang auch die Entlastung des Chemieetats.

Letztendlich ist es jedoch ein Teil der Bildungsarbeit, die den Ausschlag für einen ca. 4-stündigen Kurs Glasbearbeitung geben. Es werden sowohl Freude am eigenen Tun entwickelt, als auch die eigenen Grenzen erkannt. Es werden die Leistungen und Werte, die in der Arbeit anderer Menschen stecken, für den Schüler erkennbar und damit erst achtbar gemacht.

Der hohe Stellenwert eines effektiven Lernziels ist hierbei besonders zu erfahren.

Stundenplanung

Anfertigen eines kugelförmigen Glühröhres mit Weiterverwendung im nächsten Versuch (s. Arbeitsblatt 3).

1. Stunde: Schneiden, Ablängen, Entgraten, Wärme prüfen, Rundschmelzen.
2. Stunde: Spitze ziehen, Pipetten machen, Abkühlen, Böden blasen.
3. Stunde: Winkel biegen, Oliven blasen.
4. Stunde: Kugel blasen, Ampullen zuschmelzen, Kleinst-Vase blasen.

Der Unterricht besteht im Durchlesen einzelner Abschnitte des Arbeitsblattes, dem Herausfinden für die Gründe, wie beschrieben zu verfahren, einer Demonstration und Üben der einzelnen Phasen durch jeden Schüler (s. Arbeitsblatt 4).

Arbeitsblatt 1: Bestimmung der Siedetemperatur einer unbekanntten Flüssigkeit

Durchführung: Geräte bereitlegen; gegenüberliegende Schraubkappen lose auf das T-Stück aufschrauben, Gasableitungsrohr durchstecken, festziehen; waagrecht halten und Wasser einfüllen; Ausgleichsrohr einsetzen und festschrauben. Siedegefäß am A1-Vierkanthrohr befestigen und durch Drehen an der Federklammer eine Neigung zum Rückfluß einstellen. Thermometer in die Schraubkappe einstecken; Rückflußkühler und Thermometer einsetzen und die ganze Apparatur am Stativ in der Höhe so einstellen, daß die Spitze des Siedegefäßes etwa 1 cm vom Boden des Siedegefäßes entfernt ist.

Beschickung: Thermometer mit Schraubkappe entfernen; mindestens 4 große Tropfen der zu untersuchenden Flüssigkeit einfüllen; mit dem Thermometer verschließen.

Entsorgung: Die geringen Mengen Alkohol kann man mit viel Wasser wegspülen, da sie in den Kläranlagen biologisch abgebaut werden können.

Mit dieser Apparatur wird die Siedetemperatur einer unbekanntten Flüssigkeit festgestellt. Dabei wird das Entweichen des Dampfes in den Raum für kurze Zeit deutlich vermindert. Die Zeit reicht aus, um ein konstantes Sieden beobachten zu können.

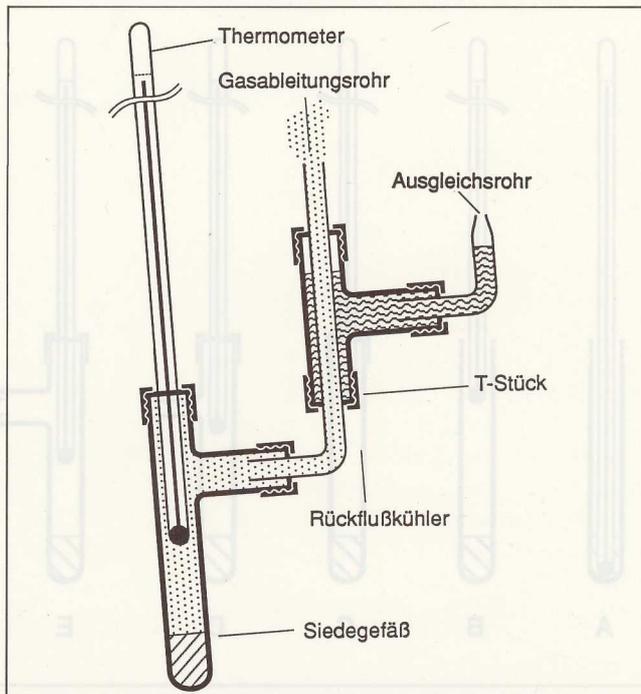


Abb. 2: Apparatur zur Siedetemperaturbestimmung

Beobachtung: (Wann geschieht was, wo und wie? Numeriere!)

- 1) _____

- 2) _____

- 3) _____

- 4) _____

Auswertung: Identifiziere Deine Flüssigkeit unter den möglichen Alkoholen:

	Methanol	Ethanol	Propanol	Butanol	Pentanol
in °C	65	78	97	118	138

Neue Begriffe, Erfahrungen und Stoffe:

Rückflußkühler, Außenkühler, Siedegefäß, Siedekrone, Gasdurchbruch durch den Kühler, Restrisiko, Alkohole.

Arbeitsblatt 2: Entwicklung einer Apparatur zur Bestimmung der Siedetemperatur

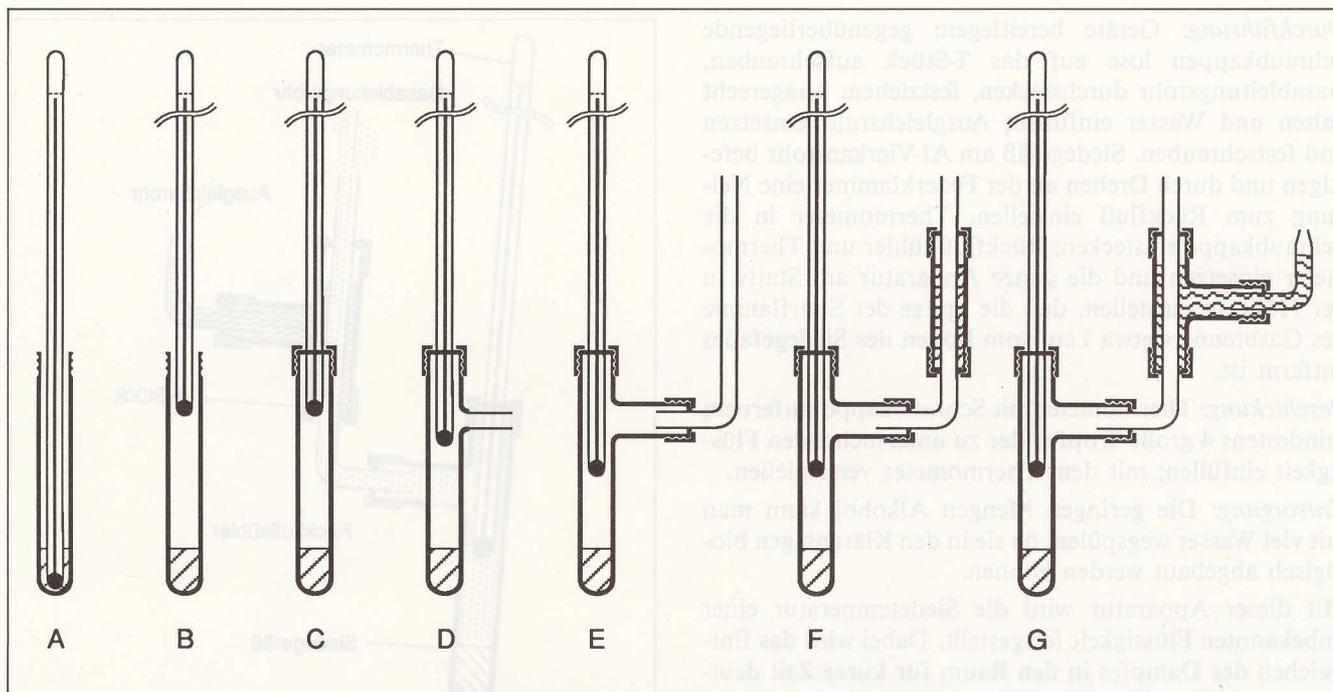


Abb. 3

Diskussion

Variante A ist unzureichend, da

1. u. U. giftige Dämpfe in die Laborluft gelangen,
2. die Siedetemperatur einer Lösung höher liegt als die des Lösemittels.

Variante B vermeidet zwar Fehler A 2, ist dennoch unpraktisch, da

1. beim Sieden das Thermometer längere Zeit gehalten werden muß,
2. Fehler A 1 unvermindert wirkt.

Variante C vermeidet die Nachteile von B, ist jedoch unzureichend, da

1. Siedetemperaturen mit dem Druck ansteigen,
2. die allseitig geschlossene Apparatur platzen kann.

Variante D ist schließlich unzureichend (Fehler Variante A 1)

Variante E ist bedingt geeignet. Versuche mit dieser Apparatur führen zu neuen Erkenntnissen.

1. Das Phänomen „Siedekrone“ wird sichtbar.
 2. Das Kondensat verstopft den Luftkühler. Leichtes Drehen der Apparatur aus der Senkrechten führt zur Idee des Rückflußkühlers.
 3. Das Drehen in die „falsche“ Richtung bereitet die Idee zur Trennung eines Stoffgemisches durch Destillation vor.
 4. Nach kurzer Zeit wird der Luftkühler vom Gas „durchbrochen“. Die Kühlwirkung muß erhöht werden.
- Vorschläge, längere Luftkühler zu nehmen, machen die Apparatur zu unhandlich.
Anregung für die Schüler: Wie wird der Motor des Autos gekühlt?

Variante F hat verbesserte Kühlwirkung, bei längerem Erwärmen tropft trotz festen Verschraubens der Dichtungen des Kühlers das Kühlwasser heraus.

Abhilfe: Druckausgleichsgefäß für das Kühlwasser

Unterrichtsgespräch: Vorkommen von Druckausgleichsgefäßen. Bekannt sind den Schülern in der Regel die „rote Kugel“ in der Zentral-Heizungsanlage und das Ausgleichsgefäß am Autokühler.

Variante G ist geeignet und entspricht dem Prinzip nach den Anforderungen nach Sicherheit im Umgang mit insbesondere unbekanntem Stoffen.

Arbeitsblatt 3: Anfertigen eines kugelförmigen Glühröhres zur Weiterverwendung im nächsten Versuch

Zielvorstellung:

1. Ablängen und Abrichten (Entgraten) von Glasrohr

Glas ist eine unterkühlte Flüssigkeit (!), die keine Kristalle bildet. Sie ist damit vergleichbar mit Honig. Man kann Glas mit einem Glasmesser anritzen, an der Stelle bricht das Glas dann leicht. Mit dem Glasmesser wird unter kräftigem Druck und Drehen ein deutlich sichtbarer Riß von etwa 5 mm in das Glasrohr geritzt. Anschließend wird der Riß sofort (!) angefeuchtet. Zum Trennen faßt man mit beiden Händen das Glasrohr von oben, so daß der Riß zwischen den beiden Daumen liegt und zieht mit nur ganz leichtem Abknicken das Rohr auseinander. Dabei entstehen Glaskanten mit zum Teil rasiermesserscharfen Graten. Durch schleifendes Abrollen auf eine Tischkachel sind diese Grate provisorisch zu beseitigen. Für die weitere Verwendung ist es jedoch notwendig, das Glas rundzuschmelzen.

2. Rundschmelzen von Glasrohrkanten

Dazu wird das Glasrohrende leicht schräg nach unten in die heißeste Stelle des Gasbrenners gehalten und fortwährend gedreht. Unsere verwendete Glassorte beginnt bereits nach etwa 10 Sekunden zu fließen. Das Zusammenhalten der Rohrenden ist unbedingt zu vermeiden, das Rohrende sollte der nebenstehenden Abbildung entsprechen!

3. Ablegen von heißem Glas; Prüfen der Glastemperatur

Zweckmäßigerweise schmilzt man zunächst alle Rohre auf einer Seite rund und legt sie auf einem Holzreiter ab. Anschließend prüft man vor dem Rundschmelzen der anderen Seite, ob die bereits rundgeschmolzenen Enden ausreichend abgekühlt sind, indem man die gewölbte Hand über die vormals erhitzte Stelle hält.

4. Übergeben von heißem Glasrohr an andere Personen

Insbesondere im Unterricht werden häufig heiße Glasrohre anderen Personen gezeigt und übergeben. Dazu werden die Glasrohre mit Daumen, Zeigefinger und Mittelfinger einer Hand gefaßt, so daß der Daumen unten und die beiden Finger oben liegen und zwischen den beiden Fingern eine Lücke bleibt. Der Nehmende greift mit genau umgekehrter Handhaltung an der gleichen Stelle.

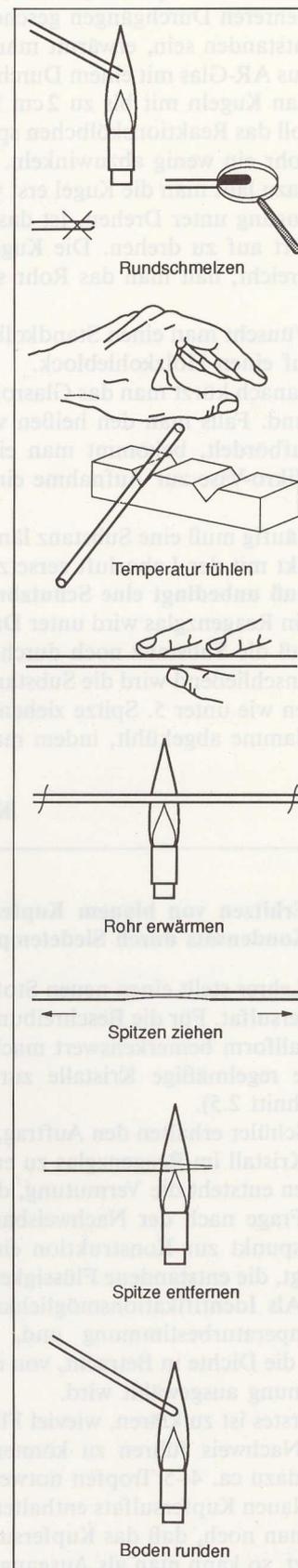
5. Spitzen ziehen

Wesentliche Vorarbeit für die Tätigkeit des Glasbläfers (Apparatebläser) ist das sogenannte Spitzenziehen. Dazu wird das Glasrohr waagrecht gehalten und *unter Drehen* im heißen Teil der Flamme allseitig erwärmt, bis es flüssig ist. Beide Ellenbogen bleiben auf dem Tisch, eine Hand greift von oben und dreht, die andere stützt das erweichende Glasrohrende und dreht behutsam mit.

Anschließend wird das erweichte Glas aus der Flamme genommen und unter weiterem Drehen auseinandergezogen. Nochmaliges Erhitzen an der Einschnürung und erneutes Ziehen trennt die Rohrteile.

6. Boden blasen

Die eigentliche Tätigkeit des Glasblasens beginnt mit dem Entfernen der Glasspitze. Dazu wird das Rohr mit dem letzten noch parallelen Teil in den heißen Teil der Flamme gehalten und gedreht. Dabei erweicht der dünne Glasrohrabschnitt der Spitze zuerst und wird noch in der Flamme abgezogen. Anschließend wird das Rohr schräg nach unten in die Flamme gehalten und unter Drehen rundgeschmolzen. Dabei fällt das Glasrohr etwas ein. Um einen runden Boden zu erhalten wird nun das heiße Glasrohr vorsichtig *außerhalb der Flamme unter weiterem Drehen* aufgeblasen. Sollte der Boden nicht gelingen, wird der Vorgang (einfallen lassen und aufblasen) wiederholt.



7. Kugel blasen, (Halbmikro-)Vase fertigen

Kleine Reaktionskolben erhält man, wenn man zunächst, wie unter 6. beschrieben, einen runden Boden herstellt, der durch mehrfaches Einfallen und Aufblasen dickwandig geworden ist. Beim Aufblasen wird nun erst kräftig, dann aber vorsichtiger der Boden zur Kugel aufgeblasen. Das kann auch, falls die Kugel zu schnell erkalte, in mehreren Durchgängen geschehen. Sollte am Boden eine Glasverdickung (Glaslinse) entstanden sein, erwärmt man nur den Boden und bläst den Boden nochmalig auf. Aus AR-Glas mit einem Durchmesser von 8 mm und einer Wandstärke von 1 mm kann man Kugeln mit bis zu 2 cm Durchmesser problemlos anfertigen.

Soll das Reaktionskölbchen später waagrecht gehalten werden, empfiehlt es sich, das Rohr ein wenig abzuwinkeln.

Dazu läßt man die Kugel erst vollständig erkalten, erwärmt dann das Rohr am Kugelingang unter Drehen. Ist das Rohr heiß, entnimmt man das Rohr der Flamme und hört auf zu drehen. Die Kugel knickt jetzt ab. Ist der gewünschte Neigungswinkel erreicht, hält man das Rohr senkrecht und läßt das Glas vollständig erkalten.

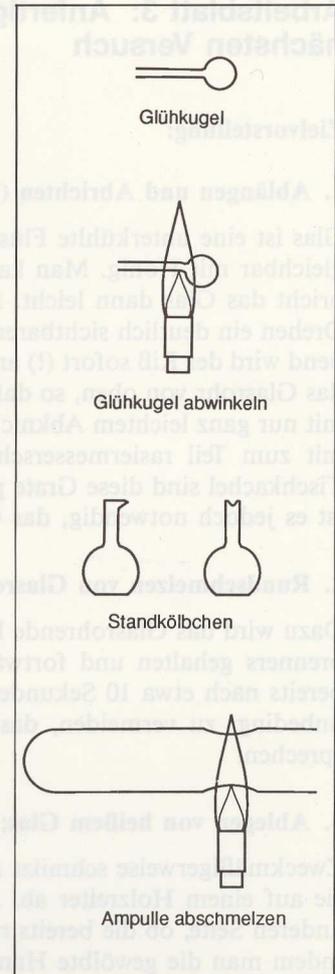
Wünscht man einen Standkolben, so setzt man die noch weiche Kugel senkrecht kurz auf einen Holzkohleblock.

Danach kürzt man das Glasrohr auf die gewünschte Länge, schneidet ab und schmilzt rund. Falls man den heißen weichen Glasrand mit einem eingewachsenen Eisendraht aufbördelt, bekommt man einen Standkolben mit Schnauze zum Ausgießen (eine Mikro-Vase zur Aufnahme eines Gänseblümchens).

Häufig muß eine Substanz längere Zeit gelagert werden, ohne daß sie sich durch Kontakt mit der Laborluft zersetzt. Dazu schmilzt man sie in eine Ampulle ein. **Hierbei muß unbedingt eine Schutzbrille getragen werden.**

Ein Reagenzglas wird unter Drehen am oberen Teil erhitzt und soweit einfallen lassen, daß die Substanz noch durch die Verjüngung paßt.

Anschließend wird die Substanz eingefüllt und die Verjüngung nach allseitigem Erhitzen wie unter 5. Spitze ziehen entfernt. Die Spitze der Ampulle wird langsam in der Flamme abgekühlt, indem man in den kälteren Teil der Flamme ausweicht.



Keinesfalls darf eine geschlossene Ampulle erhitzt werden.

2.3 Erhitzen von blauem Kupfersulfat und Identifikation des Kondensats durch Siedetemperaturbestimmung

Der Lehrer stellt einen neuen Stoff vor, das kristalline blaue Kupfersulfat. Für die Beschreibung der Kristalle und was die Kristallform bemerkenswert macht ist es von Vorteil, wenn große regelmäßige Kristalle zur Verfügung stehen (siehe Abschnitt 2.5).

Die Schüler erhalten den Auftrag, als Vorversuch einen kleinen Kristall im Reagenzglas zu erhitzen. Aus den Beobachtungen entsteht die Vermutung, daß dabei Wasser frei wird. Die Frage nach der Nachweisbarkeit des Wassers ist Ausgangspunkt zur Konstruktion einer Apparatur, mit der es gelingt, die entstandene Flüssigkeit als Wasser zu identifizieren. Als Identifikationsmöglichkeit kommen Schmelz-/Siedetemperaturbestimmung und, je nach Vorkenntnissen, auch die Dichte in Betracht, von der die Siedetemperaturbestimmung ausgewählt wird.

Als erstes ist zu klären, wieviel Flüssigkeit man braucht, um den Nachweis führen zu können. Im Halbmikromaßstab sind dazu ca. 4–5 Tropfen notwendig, die in dem Volumen des blauen Kupfersulfats enthalten sein müssen. Berücksichtigt man noch, daß das Kupfersulfat ebenfalls ein Volumen besitzt, so kann man als Ausgangsvolumen des blauen Kupfersulfats ca. 1 cm³ annehmen. Das ist gerade der Inhalt

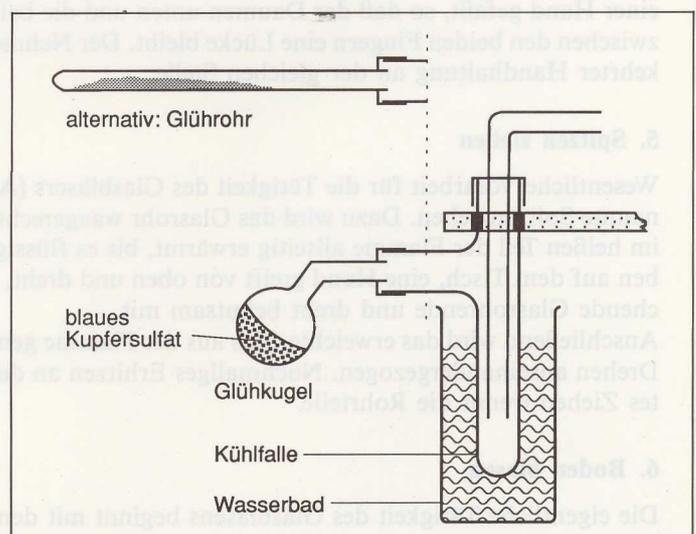


Abb. 4: Apparatur zur thermischen Zersetzung von Kupfersulfat

einer Glühkugel oder, falls man das Glasblasen durch Schüler umgehen möchte, der Inhalt eines Glührohres. Bis zum Nachweis des Wassers darf kein Dampf in das Labor dringen. Diese Bedingung führt zur Entwicklung einer Kühlfalle mit Außenkühlung.

MATERIALIEN

Arbeitsblatt 4: Lernkontrolle

Abfrage der Hausaufgaben

Name und Klasse:

In dem Handzettel zur Glasbearbeitung wurden viele Tätigkeiten genau vorgeschrieben, die Gründe dafür wurden besprochen, im Text fehlen sie absichtlich.

Zeige nun mit kurzen Sätzen, daß Du die Gründe kennst.

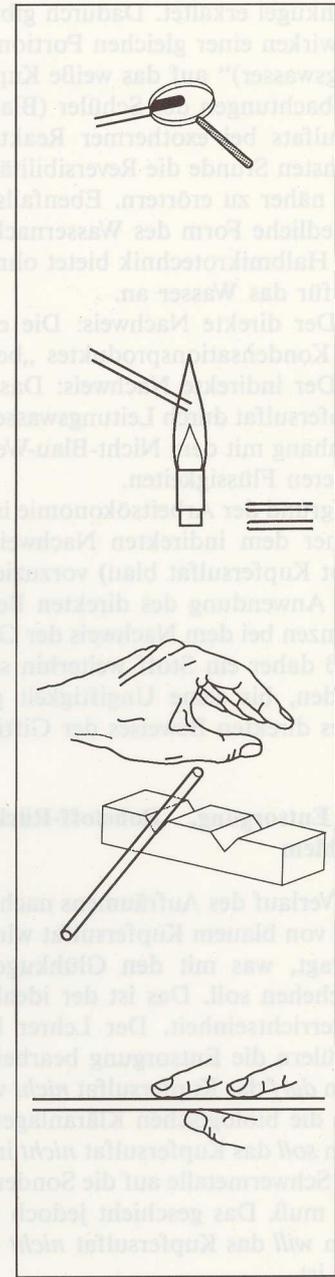
1. Warum muß Glasrohr *rundgeschmolzen* werden?

2. Warum werden *alle Rohre* von *einer Seite* rundgeschmolzen?

3. Warum muß auf so *merkwürdige Art der Temperaturzustand* bestimmt werden?

4. Warum muß eine so *merkwürdige Handhaltung* bei der *Übergabe* von bearbeiteten Glasrohren eingehalten werden?

5. Warum sollte man auch als Schüler/in Glaskugeln und Ampullen u. a. anfertigen können?



Das Ergebnis ist die in Abb. 4 wiedergegebene Apparatur. In der nächsten Stunde wird die Apparatur aufgebaut, und durch ganz langsames Erhitzen der Flüssigkeit aus dem blauen Kupfersulfat freigesetzt. Nach dem Versuch wird die Kühlfalle durch Einsetzen eines Thermometers oben und eines Rückflußkühlers am seitlichen Ansatz zur bekannten Siedetemperaturbestimmungsapparatur umgebaut (Abschnitt 2.1.2). Anschließend wird sofort die Siedetemperatur bestimmt (98–100 °C) und die Vermutung „Wasser“ verstärkt. Im Unterrichtsgespräch werden zusätzliche Bestimmungsmethoden angeführt. Zwischenzeitlich ist die Glühkugel erkaltet. Dadurch gibt sich die Möglichkeit, das Einwirken einer gleichen Portion „bekanntes Wasser (Leitungswasser)“ auf das weiße Kupfersulfat zu ermitteln. Die Beobachtungen der Schüler (Blaufärbung des weißen Kupfersulfats bei exothermer Reaktion) geben Anlaß, in der nächsten Stunde die Reversibilität von chemischen Reaktionen näher zu erörtern. Ebenfalls ist es wertvoll, die unterschiedliche Form des Wassernachweises zu diskutieren. Die Halbmikrotechnik bietet ohne Aufwand zwei Beweisarten für das Wasser an.

— Der direkte Nachweis: Die eindeutige Siedetemperatur des Kondensationsproduktes „beweist“ den Stoff Wasser.

— Der indirekte Nachweis: Das Blau-Werden von weißem Kupfersulfat durch Leitungswasser ist nur Beweis im Zusammenhang mit dem Nicht-Blau-Werden bei Kontakt mit allen anderen Flüssigkeiten.

Aufgrund der Arbeitsökonomie ist der direkte Nachweis fast immer dem indirekten Nachweis (auch (Leitungs-)Wasser färbt Kupfersulfat blau) vorzuziehen.

Die Anwendung des direkten Beweises findet jedoch seine Grenzen bei dem Nachweis der Giftigkeit eines Stoffes. Hier muß daher ein Stoff weiterhin so lange für giftig gehalten werden, bis seine Ungiftigkeit gesichert ist. Der Versuch eines direkten Beweises der Giftigkeit ist lebensgefährlich!

2.4 Entsorgung, Rohstoff-Rückgewinnung und Trennproblem

Im Verlauf des Aufräumens nach dem Versuch der Thermo-lyse von blauem Kupfersulfat wird von den Schülern immer gefragt, was mit den Glühkugeln und den Rückständen geschehen soll. Das ist der ideale Einstieg für die nächste Unterrichtseinheit. Der Lehrer kann nun gestuft mit den Schülern die Entsorgung bearbeiten:

Man *darf* das Kupfersulfat *nicht* wegspülen, weil das Kupfersalz die biologischen Kläranlagen belastet.

Man *soll* das Kupfersulfat *nicht* in den Müll geben, da es wie alle Schwermetalle auf die Sondermülldeponie gebracht werden muß. Das geschieht jedoch mit dem Schulmüll nicht. Man *will* das Kupfersulfat *nicht* entsorgen, weil es zu wertvoll ist.

Man *muß* es wieder zurückgewinnen und wiederverwenden. Damit ist der Sinn des Recycling am konkreten Problem umrissen. Das Problem lautet: Wie erhält man Kupfersulfat aus dem Versuch so zurück, daß es wieder für weitere Versuche einsetzbar ist?

2.4.1 Mörsern, Lösen, Dekantieren, Filtrieren/Zentrifugieren, Auswaschen

Die weitere Unterrichtsführung unterscheidet sich didaktisch nicht wesentlich von der üblichen. Bei der Beschreibung werden die Besonderheiten, wie sie sich durch die

Anwendung halbmikrotechnischen Arbeitens ergeben, hervorgehoben.

Zunächst nutzt man zur Trennung des Kupfersulfats vom Glas die unterschiedliche Löslichkeit in Wasser. Um mit wenig Wasser auszukommen, werden die Glühkugeln mit Papier umwickelt und zerschlagen (Abb. 5 (1)). Anschließend werden die Reste in ein Reagenzglas überführt (2), mit Wasser bedeckt (3) und in der Hitze (4) gelöst. Die blaue Lösung wird in ein Reagenzglas mit seitlichem Ansatz dekantiert (5). Anschließend wird der Glasrest noch einmal mit wenig Wasser ausgewaschen (6), das Wasser durch Inversfiltration aus dem Bodensatz abgesaugt (7) und mit dem Kupfersulfat des ersten LöSENS vereinigt. Das Glasmehl wird verworfen und die Filtrate gesammelt zur nächsten Stunde aufbewahrt.

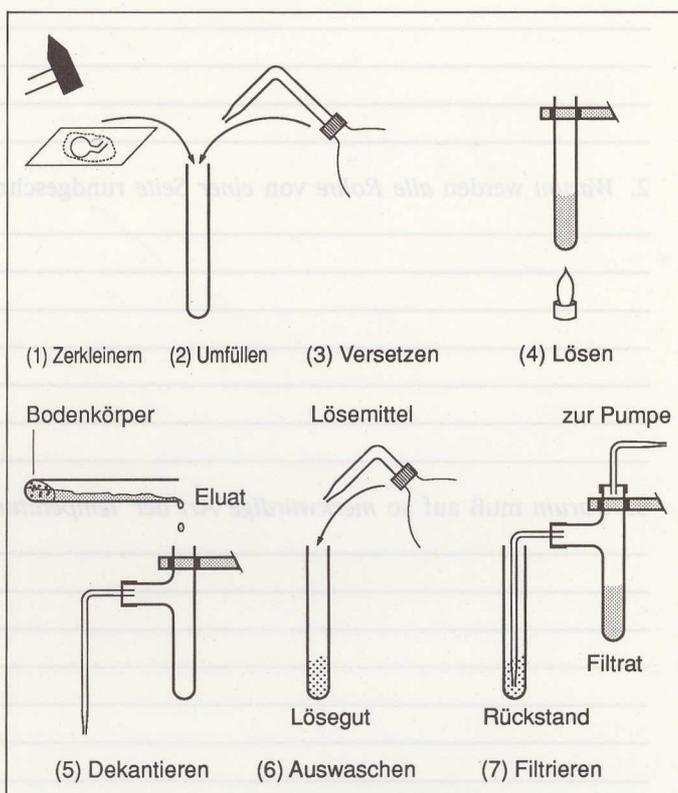


Abb. 5: Arbeitsschritte auf dem Weg zur Stofftrennung

Den Schülern bleibt natürlich nicht verborgen, daß das Gemisch Glas/Kupfersulfat nur durch das Gemisch Wasser/Kupfersulfat ersetzt wird. Die Frage, wie das Kupfersulfat vom Wasser befreit wird, ist das Thema der nächsten Stunde.

Die Schüler lernen in diesem Abschnitt,

- daß Lösemittel dann optimal lösen, wenn ein inniger Kontakt zum Lösegut hergestellt ist,
- daß mehrfaches Lösen mit wenig Wasser weniger Lösung ergibt als einmaliges Lösen mit viel Wasser,
- daß sich Stoffe in der Hitze meist besser lösen als in der Kälte,

- eine neue Arbeitstechnik, die (Invers-)Filtration,
- eine Vielzahl von Fachausdrücken der Stofftrennung, aber beschränkt auf die tatsächlich angewendeten.

Für die Schüler ist aber das effektive Lernen besonders wichtig. Einerseits erfahren sie, daß sie selbst aus Einsicht zur Umwelt ihre mühsam hergestellte Glühkugel zerstören müssen. Erfahrungsgemäß fällt das manchem Schüler schwer. Sie suchen Auswege, z. B. in Form von leichter her-

zustellenden Glührohren oder wollen gekaufte Glührohre einsetzen. Ein Blick auf den Schuletat (ca. 1,— DM pro Chemie-Unterrichtsstunde) ruft Erstaunen und Ungläubigkeit hervor. Andererseits erzieht es die Schüler von Beginn an, Versuche so zu gestalten, daß der materielle und ideelle Verlust minimiert wird.

2.4.2 Einengen, Destillieren, Kristallisieren, Umkristallisieren und Identifikation durch Kristallform und Schmelztemperatur

In der Regel wird im Rahmen der Hausaufgabe das Problem der Trennung von Kupfersulfat und Wasser durch den Schülervorschlag, das Wasser verdunsten zu lassen, gelöst. Angesichts des großen Volumens werden Vorschläge erarbeitet, den Vorgang zu beschleunigen. Hilfreich ist die Anknüpfung an das Wäschetrocknen. Der Vorschlag, die Lösung zu erwärmen, wird umgesetzt und mit dem Fachausdruck „Einengen“ belegt. Die Frage, ob nicht auch Kupfersulfat flüchtig ist und ob alle Lösemittel bedenkenlos durch Verdampfen bzw. Verdunsten entfernt werden können, muß meistens vom Lehrer in die Diskussion gebracht werden.

Die Ausgangsfrage zum Experiment lautet: Wie kann man gelösten Stoff und Lösemittel getrennt voneinander zurück-erhalten?

Als Anregung kann die Halbmikroapparatur zur Siedetemperaturbestimmung auf den Overhead-Projektor gelegt werden. Bei dieser Apparatur war das unkontrollierte Freisetzen von Flüssigkeiten beim Verdampfen durch einen Rückflußkühler verhindert worden. Die Frage beschränkt sich nur noch auf das ungelöste Trennproblem. Beim Rückflußkühler sollte die Flüssigkeit wieder zurückfließen, das wurde durch Neigen der Apparatur in eine bestimmte Richtung erreicht. Nun soll die Flüssigkeit *gerade nicht* zurückfließen. Schnell ist die Lösung gefunden, das Gefälle im Kühler muß von der Lösung weg zeigen. Damit ist die Apparatur bereits konzipiert. Die Realisierung geschieht durch Drehung um 180° des Rückflußkühlers um die Achse des seitlichen Ansatzes des Siedegefäßes und durch entsprechende Drehung des Druckausgleichsrohres am Kühler. Während die gesammelte Kupfersulfat-Lösung der vorherigen Stunde eingeeengt wird, kann noch ein chemischer Nachweis von Kupfer-Ionen in Wasser demonstriert werden.

Man nutzt dazu die Reaktion von Kupfer-Ionen mit Ammoniak-Lösung. Bei Anwesenheit von Kupfer-Ionen tritt eine Intensivierung und Verschiebung der Farbe nach blauviolett ein.

Die Schülerübungen verlaufen nach dem Arbeitsblatt 5. Die Schüler entdecken das Übliche: die Siedekrone, das Ansteigen der Temperatur bis zur Siedetemperatur von Wasser, das farblose Destillat, in dem auch mit Ammoniak kein Kupfer nachweisbar ist, die Intensivierung der Farbe im Siedegefäß, die beginnende Salzausscheidung in der konzentrierten Lösung. Ein Teil der Schüler destilliert bis zur Trockne und erhält zunächst blaue Kristalle, das Kupfersulfat-5-Hydrat, die dann jedoch wieder in weißes Kupfersulfat zerfallen. Interessanterweise erinnern sich die Schüler jetzt erst wieder, daß das erwartet werden mußte. Gleichzeitig erkennen sie, daß das bei Zimmertemperatur beständige blaue Kupfersulfat auch nur bei Zimmertemperatur gebildet werden kann. Daher entfällt in diesem Fall die in der Organischen Chemie so wichtige Bestimmung der Schmelztemperatur zur Beurteilung des Reinheitsgrades eines Stoffes.

Die Abscheidung von blauem Kupfersulfat aus der heißgesättigten Lösung verläuft innerhalb kurzer Zeit. Schöne

große Kristalle, die zur Betrachtung und dem Entdecken von Ähnlichkeiten an Kristallen des gleichen Stoffes führen, lassen sich jedoch langsam innerhalb von 2–3 Wochen züchten. Die Zeit kann themengleich zum Besprechen der Löslichkeit verschiedener Stoffe und Lösemittel und zum Züchten anderer Kristalle (z. B. Alaune, Zucker, Salz) genutzt werden.

Ein apparativer Aspekt der Destillation wird durch die Beobachtung, daß der Produktkühler sich im Verlauf des Experimentes erheblich erwärmt, angeregt: Wie kann man die Wirkung des Produktkühlers auch bei längerdauernden Experimenten sicherstellen? Die Frage ist geeignet, in einer weiteren Unterrichtsstunde den Gegenstromkühler entwickeln und bauen zu lassen. Dazu werden nur zwei T-Stücke mit einer Gewinde-Kupplung verbunden (s. Abb. 6). Das fehlende, lange, abgewinkelte Innenrohr wird durch die Schüler selbst geblasen. Durch die beiden ehemaligen Druckausgleichsrohre wird jetzt Wasser im Gegenstromprinzip durch den Kühler geleitet. Ein so durch Schüler selbstentwickelter Liebig-Kühler wird in seiner Funktion problemlos verstanden und durch die Eigenbeteiligung an der Herstellung intensiv gelernt. Mit diesem Gegenstromkühler können dann in einer nicht zur Reihe gehörigen Unterrichtsstunde größere Flüssigkeitsmengen (z. B. Wein) destilliert werden.

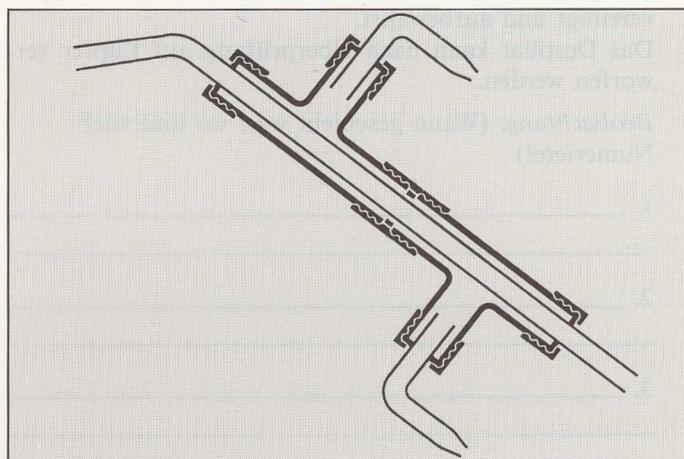


Abb. 6: Selbstentwickelter Gegenstromkühler

3 Transfermöglichkeiten des Recycling-Modells

3.1 Gewinnung von Trinkwasser/Salz/Quarzsand

Gewöhnlich steht auf den Lehrplänen der Sekundarstufe I auch die Wassergewinnung, Abwasserreinigung und Meer-/Solesalzgewinnung. Die Übertragbarkeit ist derart offenkundig, daß sich eine Beschreibung auf die Aufzählung der Analogien beschränken kann. Das Trinkwasser entspricht dem Lösemittel Wasser, das Kupfersulfat entspricht dem Kochsalz und das Glas dem Sand. Unterschiedliche Trennvorgänge werden je nach Interessenlage am Endprodukt eingesetzt. Bei uns ist es vorwiegend das Wasser, das durch Filtration zu Trinkwasser gereinigt wird. Das Fehlen einer Destillation bewirkt, daß Salze nicht aus dem Wasser entfernt werden. Daher dürfen Schwermetallsalze von Mülldeponien nicht ins Grundwasser gelangen. In Trockengebieten hat die Meerwasserentsalzung durch Destillation eine Bedeutung erlangt. Am Mittelmeer wird das Salz aus dem Meerwasser durch Verdunsten und Kristallisieren gewonnen. In Gebieten mit Quarzsand werden die für die Glasindustrie störenden Salze ausgewaschen, um den Quarzsand rein zu

Arbeitsblatt 5: Destillationsapparatur zur Trennung und Rückgewinnung von Lösemittel und gelöstem Stoff

Durchführung: Geräte bereitlegen; gegenüberliegende Schraubkappen lose auf das T-Stück aufschrauben, Gasableitungsrohr durchstecken, festziehen; waagrecht halten und Wasser einfüllen, Ausgleichsrohr einsetzen und festschrauben. Siedegefäß am Al-Vierkanthrohr befestigen und durch Drehen an der Federklammer eine Neigung zum Destillat einstellen. Thermometer in die Schraubkappe einstecken; Kühler und Thermometer einsetzen und die ganze Apparatur am Stativ in der Höhe so einstellen, daß die Spitze der Sparflamme des Gasbrenners etwa 1 cm vom Boden des Siedegefäßes entfernt ist; Reagenzglas mit seitlichem Ansatz am Gasableitungsrohr festschrauben (Vorlage) s. Abb. 7.

Beschickung: Thermometer mit Schraubkappe entfernen; Kupfersalzlösung einfüllen; mit dem Thermometer verschließen; erhitzen.

Entsorgung: Die Destillation wird nur bis zum Beginn einer Ausscheidung im Siedegefäß durchgeführt. Die eingeeignete Lösung wird mit denen der anderen Gruppen vereinigt und aufbewahrt.

Das Destillat kann nach Überprüfung auf Kupfer verworfen werden.

Beobachtung: (Wann geschieht was, wo und wie? Numeriere!)

1. _____

2. _____

3. _____

Neue Begriffe, Erfahrungen und Stoffe:

Destillation, Produktkühler, Siedegefäß, Vorlage, Destillat, Rückstand

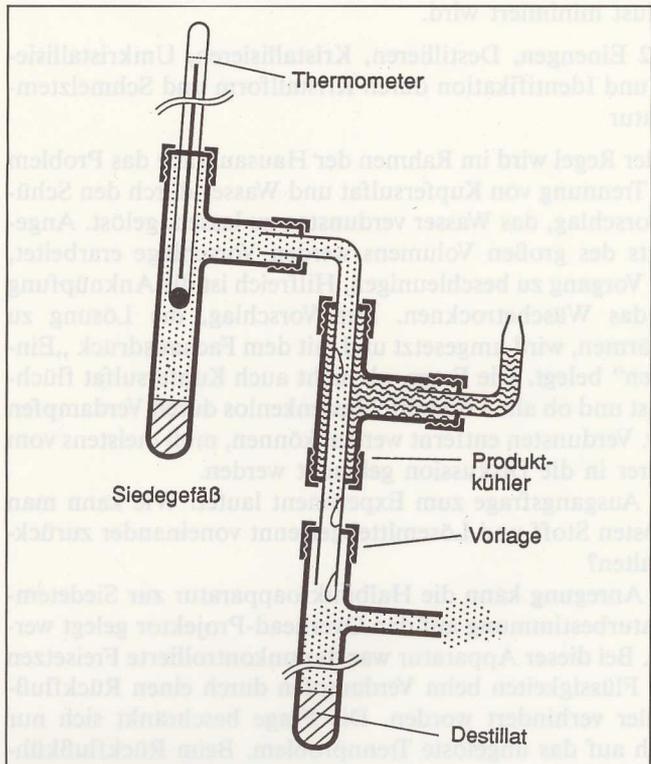


Abb. 7: Apparatur zur Destillation

Auswertung: (Welche Ergebnisse lieferte die Destillationsapparatur? Welche Probleme deuten sich am Produktkühler an?)

erhalten. — Alle Trennverfahren wurden im Unterricht durchgeführt, der Bezug zur technischen Anwendung ist also gegeben.

3.2 Kohlenstoffdioxid-Kreislauf Marmor/Kalk/Mörtel

Eine weitere Möglichkeit, die Schüler Kreisläufe von Stoffen entdecken zu lassen, ist, den Weg des Marmors über den Kalk zum Mörtel zu verfolgen. Zunächst wird Marmor in einer Apparatur geblüht, die ähnlich der thermischen Zersetzung von Kupfersulfat aufgebaut ist. Die unterschiedlichen Eigenschaften von Marmor und gebranntem Kalk lassen das Freiwerden von Kohlenstoffdioxid vermuten, das in einer Gaswaschflasche statt einer Kühlfalle aufgefangen wird. Dieser Versuch bietet den Einstieg sowohl in die Chemie des Kohlenstoffdioxids als auch in die Säure-Basen-Eigenschaften von Stoffen. Das mit Wasser angeteigte pulverige Calciumoxid wird bei längerem Stehen an der Luft wieder fest, eine ebenfalls reversible Reaktion. Gemischt mit Sand wird die Reaktion für die Bildung von Mörtel verwendet. Die Frage, woher das Kohlenstoffdioxid stammt, ist der Einstieg in eine selbständige Unterrichtsreihe „Untersuchung der Luft, Atemluft und brennbarer Gase“.

3.3 Andere Hydrate

Ein anderer Stoff, der den Schülern bekannt ist und reversible Umwandlung durch Wasserabspaltung erfährt, ist Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Die Schüler der Sekundarstufe I kennen Gips aus dem Kunstunterricht, aus dem Haushalt

oder gar in Zusammenhang mit Knochenbrüchen. Sie wissen, daß Gips mit Wasser angeteigt wird, sich dabei erwärmt und schnell verfestigt. Sie können ihre Kenntnisse unmittelbar einsetzen, um den festgewordenen Gips mit den gleichen Methoden wie das Kupfersulfat auf Wasser zu untersuchen. Mit dem Showeffekt ist der Stoff Cobaltchlorid-6-Hydrat darzubieten. Im wasserhaltigen festen Zustand ist er rosaviolett, als wäßrige Lösung kann er als unsichtbare Tinte eingesetzt werden. Wird das beschriebene Blatt über der Flamme vorsichtig getrocknet, erscheint die Schrift hellblau, um nach einer Zeit des Liegens an der Luft wieder unsichtbar zu werden. Technische Anwendung findet Cobaltchlorid als Feuchtigkeitsindikator in Silicagel.

Literatur

- [1] H. Boeck (Hrsg.), Chemische Schulversuche, Bd. 3, Seite 355. Verlag Harri Deutsch, Thun – Frankfurt/M., 2. Aufl. 1988
- [2] F. Bukatsch und W. Glöckner (Hrsg.), Experimentelle Schulchemie, Bd. 3/1, S. 116 f. Aulis Verlag Deubner & Co., Köln 1971
- [3] H. Bousack et al., Elemente. Unterrichtswerk für Chemie an Gymnasien. NRW, 7. Schuljahr. Ernst Klett Verlag, Stuttgart 1985
- [4] Halbmikro-Glasbausatz, TOBIFO-Lehrmittel, Rosenweg 12, 6918 Neckarsteinach

Anschrift des Verfassers:

OStR. Dr. Klaus-G. Häusler, Eickenbecker Str. 7c, 4406 Drensteinfurt 3