

## Umweltfreundlicher Umgang mit organischen Lösungsmitteln

Schülergruppe:

FLORIAN SCHINDLER, MANUELA SCHRÖPF,  
MATTHIAS EDER

Betreuungslehrer:

FRANZ HETZER

Tassilo-Gymnasium Schulzentrum Obersimbach,  
84359 Simbach am Inn

### Vorbemerkungen des Betreuungslehrers – unser Konzept

Organische Lösungsmittel werden im Chemieunterricht in bedeutendem Maße eingesetzt. Folgende Aspekte gaben den Anstoß, eine Schülergruppe für die vorliegende Arbeit zu motivieren:

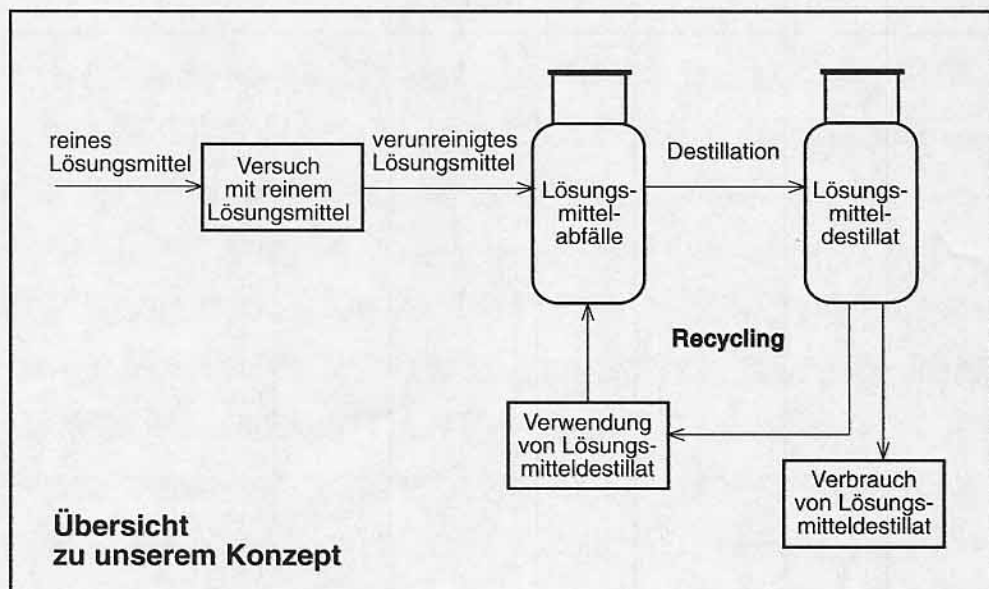
1. Gemäß den Entsorgungsratschlägen werden Lösungsmittelabfälle gesammelt und an eine Sondermüllverbrennungsanlage abgegeben. Mit dieser Art von Entsorgung können wir die Schüler nicht zum Denken in Kreisläufen erziehen. Das Entsorgungsproblem wird damit nur verlagert und anderen aufgebürdet.

2. Zahlreiche in der Literatur beschriebene Arbeitsanleitungen für Chromatographie und andere Experimente greifen auf den Einsatz giftiger Lösungsmittel zurück, wie Benzol, Methanol oder Halogen-Kohlenwasserstoffe, ohne daß konsequent nach Alternativen gesucht wird.

3. Reine Lösungsmittel werden vielfach für Zwecke eingesetzt, die ebensogut von Lösungsmittelgemischen (Recyclaten) erfüllt werden können.

Es sollte ein Konzept für den Umgang mit Lösungsmitteln in der Schule entwickelt werden, das durch Stoffkreisläufe eine mehrfache Nutzung ermöglicht und im Unterrichtsalltag ohne größeren Aufwand realisierbar ist. Nur dann hat es Chancen, von den Kolleginnen und Kollegen angenommen zu werden. Schwerpunkt sollten diejenigen Lösungsmittelanwendungen sein, bei denen die größten Einsparungen möglich sind oder die größte Gesundheits- oder Umweltgefährdung liegt. Unser Konzept ist in der Übersicht schematisch dargestellt.

Für Recycling-Konzepte im gewerblichen Bereich sind allein Wirtschaftlichkeitsüberlegungen ausschlaggebend. In der Schule gelten aber auch andere Maßstäbe, denn die



Destillationen können sinnvoll in den Unterricht eingebaut werden.

Die von der Schülergruppe erreichten experimentellen Ergebnisse werden bei uns inzwischen erfolgreich angewendet und haben zu einer erheblichen Reduzierung des Lösungsmittelverbrauchs geführt. Darüber hinaus werden die organischen Abfälle (z. B. Destillationsrückstände) nach Vorbehandlung in einer dazu entwickelten Kläranlage abgebaut.

### Realisierung unseres Konzepts

Die im Unterricht traditionell verwendeten Lösungsmittel sind zum Teil giftig und bereiten Entsorgungsprobleme. Also versuchte unsere Schülergruppe, dieses Problem auf folgende Weise zu lösen:

Vermeidung giftiger Lösungsmittel, Wiederverwertung von Lösungsmitteln, Entsorgung. In den von uns durchforschten Chemiebüchern der Klassen 9, 10, 11 fanden wir keine

Anregungen, doch stand uns unser Betreuungslehrer mit Rat, Tips und Hinweisen jederzeit zur Verfügung.

Während sich FLORIAN SCHINDLER und MANUELA SCHRÖPF mit Vermeidung und Wiederverwertung beschäftigten, befaßte sich MATTHIAS EDER mit der Entsorgung.

### Vermeidung giftiger Lösungsmittel

Benzol und Chloroform sollten wegen ihrer Giftigkeit nach Möglichkeit vollständig ersetzt werden.

Da es bei der Chromatographie besonders viele, auch giftige Lösungsmittelabfälle (z. B. Toluol oder Chloroform) gibt, testeten wir den bis jetzt kaum verwendeten, ungiftigen Milchsäureethylester (Ethylactat) als Laufmittel zum Teil mit Zusätzen von ungiftigen Lösungsmitteln wie Ethanol, Benzin, Aceton, Wasser.

Tab. 1 Von der Schülergruppe als Laufmittel getestete Lösungsmittelgemische (Angaben in Volumenanteil Lösungsmittel)

Wasser	Ethanol	Isopropanol	Aceton	Milchsäureethylester	Benzin	Trägermaterialien
1		4				Chromatographiepapier (CP)
	3			1		CP
				1	3	CP
				1		CP
		3	3	1		CP
3				1		CP
	1			3		CP
				pur		CP
				3	1	CP
1				3		CP
1				3		KieselgelG
1				3		Cellulose
1	2					KieselgelG
1	1			3		CP
1	1			3		KieselgelG
				3	1	KieselgelG
3	1			1		CP
1	1			1		CP

## Wasserlösliche Filzschreiberfarben als Testsubstanzen

**Verwendete Farben:** Lila (Geha Super formy 204), Braun (Geha Super formy 204), Grün (Geha Super formy 204), Schwarz (Schwan, Stabilo 88/46).

**Vorgesehenes Laufmittel:**

Isopropanol/Wasser 4:1

Nach einer Reihe von Versuchen, ein gleichwertiges Laufmittel zu finden, erzielten wir die besten Ergebnisse mit Milchsäureethylester/Wasser 3:1 für die Trägermaterialien Chromatographiepapier, KieselgelG-Platte und Cellulose-Platte. Akzeptable Ergebnisse erhielten wir auch mit Milchsäureethylester pur und Milchsäureethylester/Benzin 3:1.

Schlechte Ergebnisse ergaben die Gemische Milchsäureethylester/Isopropanol 1:3, Milchsäureethylester/Ethanol 1:3 und Milchsäureethylester/Ethanol/Wasser 3:1:1.

## Testfarbstoffgemische und Extrakte

**Verwendete Stoffe:**

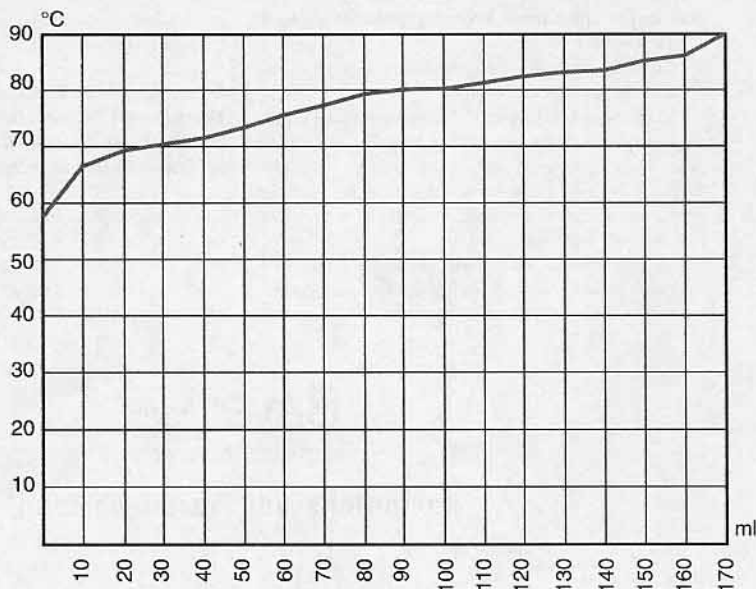
1. Paprikaextrakt
2. Schöllkrautextrakt
3. Blattgrün
4. lipophiles Testfarbstoffgemisch
5. hydrophiles Testfarbstoffgemisch (Lebensmittelfarbstoffe)

**Vorgesehene Laufmittel (nach Literaturangaben)**

1. Essigsäureethylester / Chloroform 1:2
2. Petrolether/Benzol/Ethanol 40:15:3,6
3. Petrolether/Benzol/Ethanol 100:20:7
4. Chloroform
5. n-Propanol/Essigsäureethylester/Wasser 5:1:4

Beste Ergebnisse für hydrophile Farbstoffgemische auf Chroma-

Abb. 1 Destillation der Lösungsmittelabfälle – Temperaturverlauf



Eigenschaften  
von Milchsäureethylester (Ethyllactat)  
Schmelzpunkt:  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$   
Siedepunkt:  $154\text{ }^{\circ}\text{C}$   
Flammpunkt  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 $M = 118,14\text{ g/mol}$   
Formel:  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_3$   
Wassergefährdungsklasse (WGK) 1  
mit Wasser mischbar

tographiepapier ergaben Milchsäureethylester/Ethanol/Wasser 1:1:1, auf KieselgelG-Platte Ethanol/Wasser 2:1, auf Cellulose-Platte Milchsäureethylester/Wasser 3:1.

Für lipophile Farbstoffgemische erhielten wir auf KieselgelG-Platte mit Milchsäureethylester/Ethanol/Wasser 1:1:1 und mit Ethanol/Wasser 2:1 die besten Ergebnisse.

Wir konnten zwar keine perfekten Ergebnisse für kompliziert zusammengesetzte Pflanzenextrakte erzielen, stellten jedoch fest, daß sich Gemische mit Benzin sehr gut eignen.

## Wiederverwertung

### Destillation

Die Entsorgung der im Unterricht anfallenden Lösungsmittel brachte uns auf den Gedanken, diese Reste über einen gewissen Zeitraum zu sammeln, durch Destillation zu

**Anmerkung der Wettbewerbsleitung**

Vor der Destillation von Lösungsmittelresten sollte zur Sicherheit auf Peroxide geprüft werden; bei positivem Testergebnis wird man diese reduzieren (z.B. mit Merck Perex-Kit). Lösungsmittelreste aus Versuchen, bei welchen mit reinen Lösungsmitteln gearbeitet wurde, sind für die Aufarbeitung zweckmäßig unvermischt zu sammeln.

reinigen und teilweise zu trennen und neue Verwendungsmöglichkeiten zu finden.

Während der Destillation wechselten wir jeweils bei 20 ml Destillat die Vorlage, nummerierten sie und gaben den jeweiligen Temperaturbereich an. Die Destillate 1-4 enthielten zwei Phasen, wobei die untere reinigend wirkt, aber Kunststoff angreift.

Das Diagramm (Abb. 1) zeigt den Verlauf der Temperatur und läßt auf die Inhaltsstoffe der Destillate schließen. Als Anhaltspunkte dienten die Siedepunkte einiger Lösungsmittel:

Benzin 60 - 90 °C (in Ausnahmefällen auch darüber)

Ethanol 78 °C

Aceton 55 °C

Isopropanol 82 °C

Wasser 100 °C.

**Verwendungsmöglichkeiten für die Destillate**

a) Als Spiritusersatz im Spiritusbrenner eig-

ge

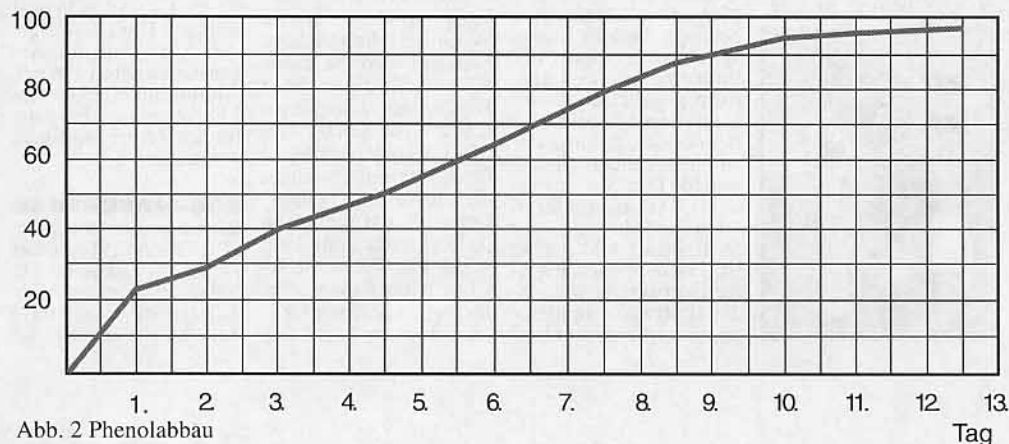


Abb. 2 Phenolabbau

nen sich die Destillate 5-7 wegen des hohen Alkoholgehalts.

b) Extraktionsmittel, z. B. für die Soxhlett-Extraktion

c) Reinigungsmittel für Glasgegenstände aller Art, die durch Wasser nicht zu reinigen sind, oder zum Ablösen von Etiketten.

d) Destillate mit hohem Alkoholgehalt zum Auflösen von Indikatoren, zum Beispiel Phenolphthalein.

Um einen eventuellen Benzinanteil vom Alkohol zu trennen, hilft die Zugabe einer geringen Portion Wasser (ca. 10 % des Gemisches).

**Entsorgung**

Eigentlich gab es nur eine Lösung für dieses Problem, nämlich eine **Kläranlage** zu bauen. Also mußte ich (MATTHIAS EDER) mich zunächst über die Funktionsweise informieren. Ich fand heraus, daß der wirkungsvolle Abbau der Lösungsmittelabfälle nur durch Mikroorganismen erfolgen kann. Solche Mikroorganismen findet man vor allem im Humus.

**Erkundungsversuche**

Ich füllte 400 ml Wasser in ein offenes Glasgefäß, gab anschließend etwa 50 g Humus und 2 ml Phenollösung als Beispiel für eine giftige Substanz hinzu. Dann leitete ich durch ein mit einer elektrischen Luftpumpe verbundenes Glasrohr Luft in die Suspension. Um die Abbauleistung zu prüfen, entnahm ich

gleich darauf und drei Tage später je eine Probe und bestimmte den Phenolgehalt. Dazu goß ich zu einer filtrierten Probe je 5 ml p-Nitroanilinlösung (angesäuert mit Essigsäure) und 0,5 ml Natriumnitritlösung hinzu und wartete bis zur Entfärbung. Anschließend pipettierte ich noch 2 ml Sodalösung dazu. Daraufhin färbte sich die Flüssigkeit tiefrot. Im Photometer maß ich bei 565 nm die beiden Extinktionen und verglich die Differenz mit einer Meßkurve, die mir Herr HETZER zur Verfügung stellte. Das Ergebnis war nicht erfreulich: Es fand ein Phenolabbau statt, aber nur ein sehr geringer.

Ich war zwar auf dem richtigen Weg, aber ich mußte eine Möglichkeit finden, diesen Vorgang zu beschleunigen. Zunächst gab ich mehr Humus hinzu, was den Abbau zwar beschleunigte, aber noch nicht in akzeptabler Geschwindigkeit. Der Sauerstoffgehalt des Wassers muß erhöht werden, denn die Bakterien brauchen relativ viel Sauerstoff, über-

legte ich mir. Mit dem ursprünglichen Glasgefäß kam ich also nicht weiter. Um die Belüftung und Durchmischung zu verbessern, nahm ich eine Plastikflasche, schnitt den Boden ab und führte durch den Flaschenhals mit einem Plastikstopfen einen Luftschlauch ein. Die Flasche befestigte ich so an einem Stativ, daß der Stopfen mit dem Schlauch unten war, gab 900 ml Wasser, 200 g Humus und 5 ml Phenollösung hinein und ließ drei Tage belüften. Ich machte den Phenolnachweis. Das Ergebnis war verblüffend: Mehr als 50 % des Phenols waren abgebaut (Abb. 2).

### *Bau der Kläranlage*

Ich hatte nun die Grundlage für den Bau meiner Kläranlage (Abb. 3). Sie besteht im wesentlichen aus vier Plastikflaschen und einer Vorratsflasche, die die verdünnten Lösungsmittelabfälle enthält. Die Vorratsflasche benötigte ich, um die Abfälle nicht auf einmal,

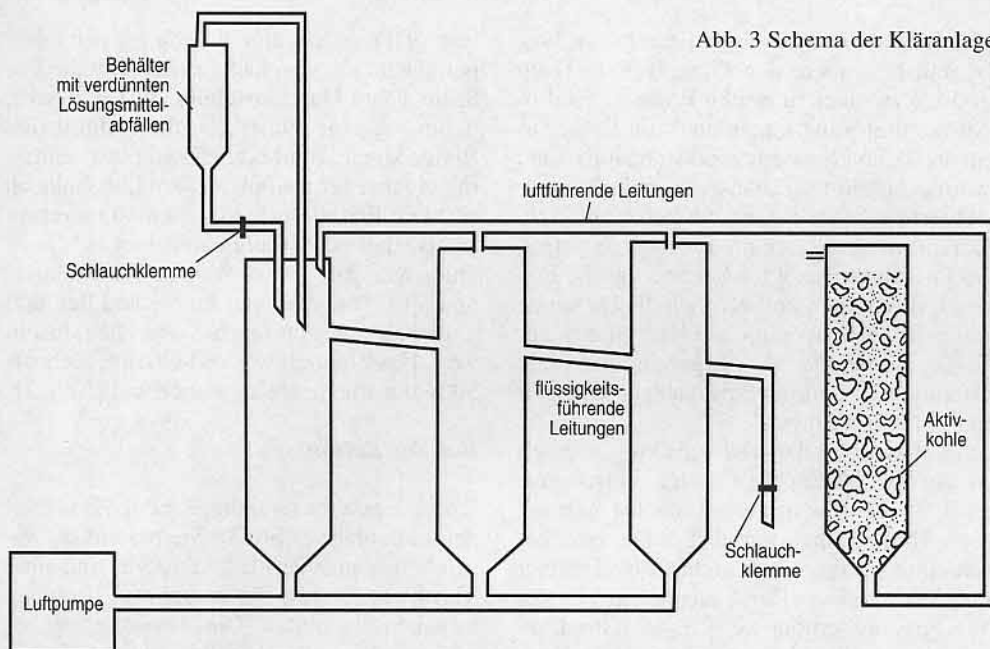


Abb. 3 Schema der Kläranlage

sondern Tropfen für Tropfen einzufüllen, damit die Anlage nicht „überlastet“ wird. Die richtige Dosierung der Tropfen war eine ziemlich zeitraubende Arbeit, weil sie von Mal zu Mal in größeren Zeitabständen herabfallen. Darum mußte ich eine größere Vorratsflasche verwenden.

Das nächste Problem war, die giftigen Dämpfe der Lösungsmittel abzuführen. Das erwies sich nach einigen Überlegungen als leicht durchführbar. Ich dichtete die Gefäße mit je einer Plexiglasplatte, durch die ein Plastikschlauch führte. Die drei Schläuche verband ich zu einer Leitung, die in einer mit Aktivkohle gefüllten Plastikflasche endet. Auf diese Weise wurden die giftigen Dämpfe aus der Luft entfernt.

### Rückschau und Ausblick

Da wir erst ein Jahr Chemieunterricht haben und uns wichtige Kenntnisse über die chemischen Eigenschaften der Lösungsmittel fehlen, war es nicht immer leicht, die Hintergründe der Ergebnisse nachzuvollziehen. Die mangelhaften Computerkenntnisse machten uns oft zu schaffen. Zum Beispiel ist uns der

Computer oft abgestürzt. Auch mußten wir uns erkundigen, wie man Tabellen und Diagramme erstellt. Bei der Ausarbeitung und dem Bau der Kläranlage standen wir unter „Zeitdruck“. Schließlich bereitete das Fehlen einiger Materialien für den Bau der Kläranlage immer wieder Schwierigkeiten.

Es wäre interessant, die Destillate durch Gaschromatographie genau zu analysieren. Da aber in der Schule noch kein Gaschromatograph vorhanden ist, wissen wir nicht, ob wir die Arbeit fortsetzen können. Bei der Kläranlage gäbe es noch Verbesserungen, zum Beispiel durch Einsatz von Reglern und Erweiterung der Flaschenzahl.

Unserem Beratungslehrer, Herrn HETZER, möchten wir für die Bereitstellung der Apparaturen, Materialien und für die ständige Unterstützung herzlich danken.

### Literatur

- 1 Merck: Reagenzien. Diagnostica, Chemikalien, 1987/88
- 2 C.C. Buchner: Kunststoffe, Farbstoffe, Waschmittel
- 3 H. Daecke: Chromatographie, 2. Auflage, Hamburg