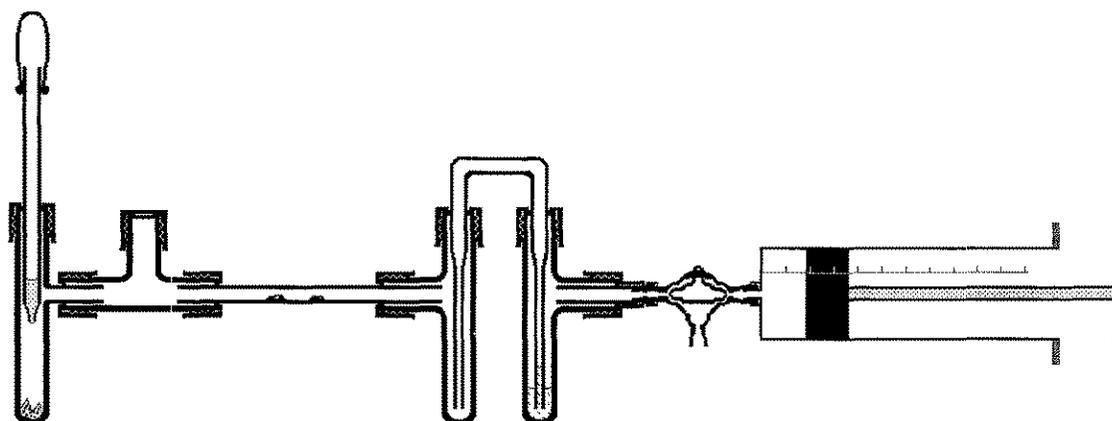


Dr. Klaus-Günter Häusler

# Sicheres Experimentieren durch Halbmikro-Technik

*HMT*



Persönliches Handbuch

von

---

UNI-SOFT

Gewährleistungsausschluß:

Alle hier aufgeführten Experimente sind mehrfach von verschiedenen Kolleginnen und Kollegen ausprobiert worden. Dennoch kann keine Garantie für die Richtigkeit der hier gemachten Angaben gemacht werden, da eine Vielzahl Randbedingungen das Gelingen eines Versuches beeinflussen. Daher ist die Einhaltung der persönlichen Schutzmaßnahmen dringend erforderlich.

Für den Umgang mit Chemikalien wird auf die gültigen gesetzlichen Vorschriften (ChemG, GefStoffV) verwiesen. Außerordentlich hilfreich für den Einsatz im Schulbereich ist die Gefahrstoff-Datenbank WinCHE (ISBN 2-920521-04-8), mit der auch die Erfassung schulerelevanter Chemikaliendaten möglich ist.

Für den Umgang mit Chemikalien durch Schülerinnen und Schüler in NRW muß die Schrift des Kultusministeriums Heft 1031/1 (ISBN 3-89314-215-0) "Sicherheit im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht an allgemeinbildenden Schulen" (SINTU) eingehalten werden. Sie entspricht der SINU in den übrigen Bundesländer, geht jedoch in einigen Anforderungen über diese Vorschriften hinaus.

Für Hinweise zur Verbesserung der Versuchsvorschriften und ihrer Verständlichkeit ist der Verfasser dankbar. Ebenfalls sind Wünsche zur Aufnahme weitere Versuchsvorschriften, die von allgemeinerem Interesse sein könnten, willkommen.

2. Auflage September 1996

Printed in Germany

Copyright © 1995

UNI-SOFT F. Wedekind EDV und Verlag,

D-32 457 Porta Westfalica;

Holzhauser Str.31

Dr. K.-G. Häusler

D-44 317 Drensteinfurt

Eickenbeckerstr. 7c

FON: 0 25 38 / 9 51 92

FAX: 0 25 38 / 9 51 93

ISBN 3-920521-05-6

#### Vorbemerkung

Bei einem Blick in ihre unmittelbare Umgebung können die Schülerinnen und Schüler kaum noch einen naturbelassenen Stoff ausmachen. Überall wird Chemie eingesetzt, um Stoffe für ihren spezielle Verwendung zu präparieren. Allzu bedenkenloser Einsatz von Chemie zeigt jedoch in letzter Zeit die Grenzen der Nutzung von Chemie auf.

Auf die Frage, warum Chemie an einer allgemeinbildenden Schule unverzichtbarer Unterrichtsgegenstand ist und bleiben muß, gibt es eine naheliegende Antwort: Die Schülerinnen und Schüler müssen den sachgerechten Umgang mit Stoffen erlernen. Sachgerecht heißt, chemische Reaktionen so zu führen, daß die gewünschten Erkenntnisse oder Produkte gefahrlos für den Experimentierenden und die Umwelt gewonnen werden. Das wiederum lernen Schülerinnen und Schüler je nach Alter durch Nachahmung von guten Vorbildern, am besten aber durch eigenes Tun.

Diese Anleitung ist für die Hand des Unterrichtenden gedacht. Das Hauptaugenmerk liegt in der Nutzung der Halbmikro-Technik (HMT) zur Ermittlung chemischer Stoffeigenschaften und Naturgesetze mit kleinen Stoffportionen. Für diesen Zweck wurden als Beispiele chemische Experimente ausgewählt, die im Unterricht an allgemeinbildenden Schulen üblich sind. In erster Linie soll an ihnen die Handhabung der Halbmikro-Apparaturen gezeigt werden. Darüber hinaus wird an ihnen die Leistungsfähigkeit der halbmikrochemischen Arbeitsweise, sowohl in praktischer wie in ökologischer und ökonomischer Hinsicht deutlich.

Der Einsatz der Halbmikro-Technik vermindert die Gefährdung durch eine Verringerung der eingesetzten Stoffportionen. Damit wird es möglich, chemische Versuche in die Hand der Schülerinnen und Schüler zu geben. In gleicher Weise vermindert sich auch der Aufwand und die Kosten für Anschaffung, Lagerung und Entsorgung der Chemikalien.

Mit fortschreitender Erfahrung beim Experimentieren mit der Halbmikro-Technik wird man erkennen, daß das Arbeiten in geschlossenen Apparaturen leicht zu verwirklichen ist. Mit geschlossenen Apparaturen wird es möglich, Gefahrstoffe in einer Apparatur herzustellen, umzusetzen und zu entsorgen.

Das Ziel ist es, den Lehrenden in der Nutzung der Halbmikro-Technik so weit zu anzuleiten, daß es ihm möglich wird, den Schülerinnen und Schüler im sachgerechten Umgang mit Stoffen zu unterweisen. Als Folge können sie chemische Umwandlungen durch eigenes Tun "erleben" und chemische Reaktionen in ihrem Verlauf abschätzen, beherrschen und ihren Nutzen bewerten.

Zur Aufteilung der Handreichungen

Das Kapitel 1 "Einführung in die Halbmikro-Technik" beschreibt die wesentlichen Eigenschaften der Halbmikro-Technik. Außerdem wird ein Überblick über die für diese Technik notwendigen Systemteile gegeben.

Das Kapitel 2 "Einstiegsversuche" enthält charakteristische Einzelversuche, die die Handhabung und die Leistungsfähigkeit der chemischen Halbmikro-Technik bis hin zum Einsatz in Schülerübungen zeigen. Das eigene Ausprobieren der Versuche gibt wertvolle Hinweise für das Arbeiten im Halbmikromaßstab. Die Versuche sollten in der Art eines Praktikums durch die Lehrperson ausprobiert werden. Für die eigenen Aufzeichnungen von Anmerkungen und Erfahrungen zu den einzelnen Versuchen wird eine Leerseite bereitgestellt. In den Beschreibungen wird, da es sich um gängige Experimente der Schulliteratur handelt, auf die Diskussion der chemischen Ergebnisse verzichtet.

Das Kapitel 3 "Aufwendige chemische Versuche" enthält vollständige Versuchsprotokolle von experimentell aufwendigen Versuchen. Diese detaillierte Darstellung soll eine weitergehende Erläuterung in die Arbeits- und Denkweise beim Experimentieren mit geschlossenen Apparaturen ermöglichen. Es werden auch Hinweise zur Bereitstellung und Entsorgung gefährlicher Stoffe in der Apparatur gegeben.

Im Kapitel 4 "Apparaturen" werden eine Vielzahl von Apparaturen für die verschiedensten Zwecke vorgestellt. Jede Apparatur wird durch die Aggregatzustände der beteiligten Edukte und Produkte sowie die Reaktionsbedingungen, Temperatur und Druck, bestimmt. Die Vorstellung wird an einem chemischen Anwendungsbeispiel als Muster durchgeführt, ohne jedoch auf die speziellen Details der chemischen Reaktion einzugehen.

Eine Systematik nach "Organik/Anorganik" ist für die Konstruktion von chemischen Apparaturen ohne Belang, da nur Aggregatzustände und Reaktionsbedingungen die zu verwendenden Apparaturen bestimmen. Eine Auflistung der Edukte und Produkte übersteigt das Ziel dieser Handreichung zum Kennenlernen der Arbeitstechnik derzeit und bleibt einem später erscheinenden Lehrbuch vorbehalten.

Der vorliegende Text soll verschiedene Ansprüche an die Ausführlichkeit berücksichtigen:

Der Kenntnisstand des Experimentierenden hat großen Einfluß auf die Ausführlichkeit des Textes: Für den Experten reicht in der Regel die chemische Gleichung mit Energiebilanz und die bloße Abbildung einer Apparatur. - Für einen Anfänger ist jedoch eine bis ins Detail ausgearbeitete Versuchsvorschrift notwendig, in der auf alle möglichen Gefährdungen hingewiesen wird. Für den Anfänger sollte jede mögliche Fehlbedienung, die mit einer speziellen chemische Umsetzung verbunden ist, durch Beschreiben vermieden werden. Diese Handreichung soll beiden Benutzerkreisen dienen. Durch die Versuche des zweiten Kapitels soll ein experimenteller Grundstock an Erfahrungen im Umgang mit der Halbmikro-Technik gelegt werden. Die Halbmikro-Technik fordert mit ihren schnellen Aufbauten und kurzen Reaktionszeiten ein Experimentieren im Sinne des "Eben-schnell-mal-Ausprobierens" geradezu heraus. Sie fördert damit die Bildung eines experimentellen Erfahrungsschatzes. Auf diese Art wird der Anfänger sehr schnell zum Experten, der die Erfahrungen mit einer Versuchsvorschrift schnell auf seine eigene chemische Fragestellung übertragen kann. Fehlversuche lassen sich jedoch prinzipiell nicht vermeiden. Die schnelle Wiederholbarkeit und der geringe Aufwand ermöglicht jedoch, einen Fehlversuch schnell durch einen gelungenen Versuch zu ersetzen.

Die Auslieferung der Abbildungen kann auf Wunsch als Pixel-Bilder im .PCX(monochrom) oder .IMG-Format auf 3 1/2-Zoll-Diskette (2DD, MS-DOS, 720KB formatiert) erfolgen. Damit soll es erleichtert werden, unabhängig vom Rechnersystem aus den vorhandenen Informationen eigene Schülerarbeitsblätter zu erstellen. Dazu muß eine leere formatierte Diskette mit Schulstempel und einem an sich selbst adressierten und ausreichend frankierten Rückumschlag an den Verfasser geschickt werden.

1 Einführung in die Halbmikro-Technik	10
1.1 Hinweise zur Halbmikro-Technik	10
1.2 Einstufung der Gefährdung durch Chemikalien	13
1.3 Teile des Basis-Set	14
1.4 Teile der Ausbau-Set I +II	16
1.5 Hinweise zum Zubehör	18
2 Einstiegsversuche	20
2.1 Apparativer Teil	20
2.1.1 Zersetzung von Marmor durch Wärme-Energie.	20
2.1.2 Umsetzung eines unedlen Metalls mit Säure unter Bildung von Wasserstoff	22
2.1.3 Identifikation von Alkoholen durch Bestimmung der Siedetemperatur	24
2.1.4 Destillation von Rotwein	26
2.1.5 Nachweis von Kohlenstoffdioxid in einem Atemzug	28
2.1.6 Reaktion von Kochsalz mit Schwefelsäure zur Darstellung eines Chlorwasserstoff-Springbrunnens	30
2.1.7 Reaktion von Ethanol mit konzentrierter Schwefelsäure unter Bildung von Ethen	32
2.1.8 Darstellung und Umsetzung von Chlor mit Natrium	34
2.2 Lehrerdemonstrationsversuche	37
2.2.1 Darstellung von Chlor, Umsetzung mit Natrium und Entsorgung mit Natriumthiosulfat	38
2.2.2 Thermolyse von Blei(II)-nitrat zur Darstellung von Stickstoffoxiden. Auffangen und Entsorgen der Stickstoffoxide	40
2.2.3 Entwicklung von Stickoxiden aus Kupfer und konzentrierter Salpetersäure und ihre Entsorgung.	42
3 Apparaturen	44
3.1 Gasförmig + gasförmig --> ...	45
3.1.1 Umsetzung eines brennbaren Stoffes mit Luft. - Nachweis des gasförmigen Reaktionsproduktes durch Reaktion mit einer Lösung	45

---

---

3.2 Gasförmig + flüssig --> ...	46
3.2.1 Umsetzung eines Gases mit einer Lösung zur Identifikation von Stoffeigenschaften	46
3.2.2 Umsetzung eines stark hygroskopischen Gases mit einer Lösung	47
3.2.3 Umsetzung eines gefährlichen Gases mit einer Flüssigkeit	48
3.3 Gasförmig + fest -->	49
3.3.1 Umsetzung eines Feststoffes mit Luft und Auffangen des gasförmigen Reaktionsproduktes	49
3.3.2 Umsetzung eines Feststoffes mit Luft. - Nachweis des gasförmigen Reaktionsproduktes durch Reaktion mit einer Lösung.	50
3.3.3 Umsetzung eines Feststoffes mit einem Gas. - Quantitativer Nachweis des Umsatzes.	51
3.4 Flüssig + flüssig --> ...	52
3.4.1 Umsetzung einer Flüssigkeit mit einem Feststoff oder Flüssigkeit unter Bildung eines Gases schwerer als Luft	52
3.5 Flüssig + fest --> ...	53
3.5.1 Umsetzung eines Feststoffes mit einer Flüssigkeit durch Erhitzen und Auffangen eines gasförmigen Reaktionsproduktes	53
3.5.2 Umsetzung einer Flüssigkeit mit einem Feststoff oder Flüssigkeit unter Bildung eines brennbaren Gases leichter als Luft	54
3.5.3 Umsetzung einer Flüssigkeit mit einem Feststoff unter Bildung eines Gases in geschlossener Apparatur.	55
3.5.4 Umsetzung einer Flüssigkeit mit einem Feststoff unter Bildung eines gut löslichen Gases, leichter als Luft	56
3.5.5 Umsetzung einer Flüssigkeit mit einem Feststoff unter Bildung eines Gases	57
3.5.6 Umsetzung einer Flüssigkeit mit einem Feststoff unter Bildung eines giftigen Gases. Weitere Untersuchung des Gases durch Reaktion mit einem Feststoff	58

---

3.6 Fest + fest --> ...	60
3.6.1 Zersetzung eines Feststoffes und Auffangen eines gasförmigen Reaktionsproduktes	60
3.6.2 Zersetzung eines Feststoffes und Auffangen eine leicht kondensierenden Gases	61
3.6.3 Reaktion eines Feststoffes mit einem Feststoff und Auffangen des gasförmigen Reaktionsproduktes	62
Anhang	
Apparaturen nach Reaktionsbedingungen geordnet als Kopiervorlagen	63
Abdruck einer vorbereiteten Veröffentlichung "Der Energie-Erhaltungssatz und seine Bedeutung für Chemie und Unterricht"	75



## 1 Einführung in die Halbmikro-Technik

### 1.1 Hinweise zur Halbmikro-Technik

Die Arbeitsweise in der Halbmikro-Technik der Chemie unterscheidet sich nur wenig von der klassischen Labortechnik. Die verwendeten Stoffportionen sind jedoch auf etwa 1/10 bis 1/20 der im Schullabor üblichen Stoffportionen reduziert.

Die halbmikrochemischen Apparaturen sind geeignet, kleine Stoffportionen umzusetzen. Die Größenordnung beträgt etwa

$$n = 0,1 - 10 \text{ mmol.}$$

- für Gase bedeutet das ein Volumen von

$$\text{ca. } 2 - 250 \text{ ml,}$$

- für Flüssigkeiten

$$1 \text{ Tropfen} - 2 \text{ ml,}$$

- für Feststoffe ( $M = 150 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ )

$$15 - 1500 \text{ mg.}$$

Lösungen einwertiger Säuren mit  $c(\text{Säure}) = 2 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  liefern demnach ca. 24 ml Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) pro Milliliter Säure.

Das Arbeiten im Halbmikromaßstab bringt eine Vielzahl von Vorteilen mit sich.

Vorteile:

1. Das Arbeiten in geschlossenen Apparatsystemen wird möglich.
2. Es wird im Prinzip auf bekannte Laboroperationen zurückgegriffen.
3. Chemikalien werden eingespart.
4. Entsorgungskosten werden in entscheidendem Maße reduziert.
5. Experimentierzeiten verkürzen sich bis auf die Hälfte, insbesondere Zeiten für Auf-, Um- und Abbau sowie das Aufheizen und Abkühlen der Gefäße.
6. Erweiterte und neue Möglichkeiten für Schülerübungen durch Konstruktion sicherer Apparaturen.
7. Beteiligung von Schülerinnen und Schülern von Beginn an bei der Planung von Experimenten bis hin zur Bereitstellung zur Entsorgung
8. Die Bruchgefahr wird durch Verwendung von starkwandigem Glas und flexiblen, vakuumdichten Schraubdichtungen drastisch verringert.
9. Vermeiden von Verletzungen beim Durchschieben von Glasrohr durch Gummi- oder Korkstopfen.
10. Erhöhung der Sicherheit der Experimentierenden durch Verminderung der Gefährdung bei Entzündung, Verpuffung oder Explosion.
11. Einfache Möglichkeit zur Projektion ganzer Apparaturen mit Tageslichtschreiber oder Video.

Nachteile und ihre Abwägung:

Insbesondere drei Unterschiede ergeben sich zur Makrotechnik:

1. Man kann die Stoffportionen nicht in die Hand nehmen.
2. Wenn man größere Stoffportionen nimmt, sieht es eindrucksvoller aus.
3. Mit kleinen Stoffportionen und geschlossenen Apparaturen zu arbeiten, ist in der Schulchemie nicht üblich und wurden bislang auch nicht an der Universität gelehrt.

Diese Nachteile haben den Vorteilen gegenüber kaum Gewicht. Im Gegenteil, die Nennung der Nachteile macht die Lernziele deutlich, die es mit der Halbmikrotechnik zu erreichen gilt:

1. Chemikalien soll man ja nicht in die Hand nehmen. Es gilt doch Chemie und chemische Prozesse zu "begreifen" und nicht Chemikalien.
2. Wenn es um Erkenntnisse geht, stellt sich die Frage nach der größeren Stoffportion und dem damit verbundenen zurückbleiben Eindruck nicht. Es ist eher umgekehrt. Weil man immer mehr genommen hat, ist ein "Eindruck" im ökologischen Gleichgewicht zurückgeblieben, den es zu korrigieren gilt.
3. Halbmikrotechnische Versuche sind schnell aufgebaut, ausgeführt und beim Mißlingen schnell wiederholt. Damit verkürzt sich auch die Experimentierzeit, die zum Erlangen von Laborpraxis aufzuwenden ist.

## 1.2 Einstufung der Gefährdung durch Chemikalien

Für die Einstufung der Chemikalien und Verwendbarkeit im Unterricht an Schulen wird auf die eigene Ermittlungspflicht hingewiesen. Grundlage dafür sind das Sicherheitsdatenblatt der betreffenden Chemikalien und die Richtlinie für "Sicherheit im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht an allgemeinbildenden Schulen".

Weiterhin ist die Computerdatenbank WinCHE ISBN 3-920521-04-8 zu empfehlen. Sie enthält neben den Sicherheitsdaten von schulrelevanten Stoffen auch die physikalische Daten und eine Einordnung der Verwendbarkeit der Stoffe in Bezug die Zugehörigkeit zu verschiedenen Gruppen wie Lehrerdemonstration, Schülerübungen Sek I, Sek II. Integriert in das Programm sind die Möglichkeiten zum Etikettendruck und Archivierung mit Fortschreibung der vorhandenen Stoffportionen. Sie ist erhältlich bei

UNI-SOFT EDV & VERLAG

F. Wedekind

Holzhauserstr. 31

D-32 457 Porta Westfalica

Das Landesinstituts für Schule und Weiterbildung in Soest hat eine Veröffentlichungsreihe herausgegeben, die sich mit "Sicherheits- und Umwelterziehung im Chemieunterricht" befaßt. Sie enthält die Einzelthemen:

"Ätzende und reizende Stoffe",

"Brennbare Flüssigkeiten",

"Benzol und andere aromatische Verbindungen",

"Giftige Gase",

"Halogene",

"Halogenkohlenwasserstoffe",

"Schwermetalle und Schwermetallverbindungen"

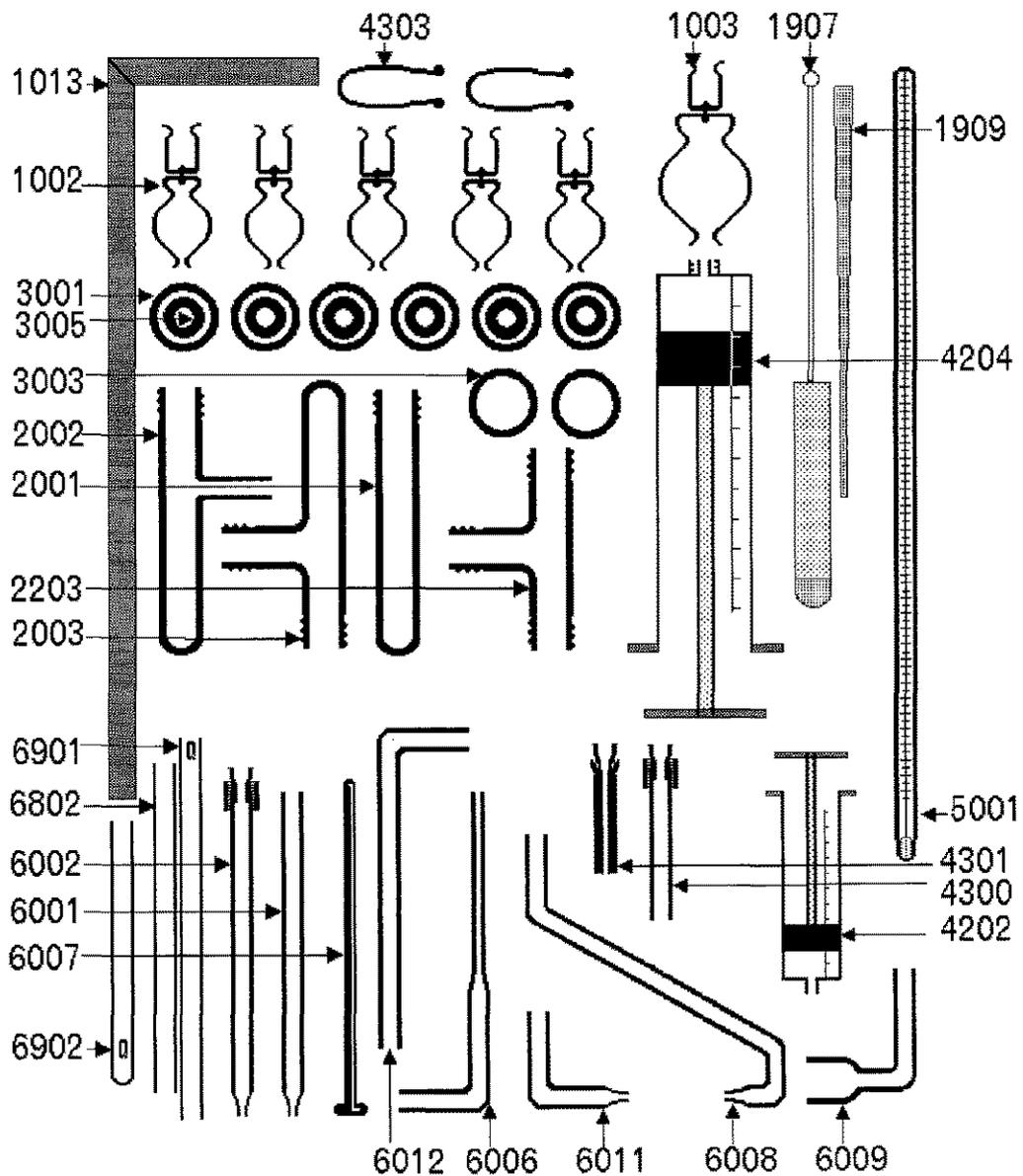
Außerdem existieren noch allgemeine Themenhefte:

"Vorschlag einer Entsorgungskonzeption"

"Liste zur Einstufung von Chemikalien gemäß der Gefahrstoffverordnung".

Die steigenden Nachfrage durch Lehrerinnen und Lehrer und die hohen Druckkosten der Neuauflage haben die kostenlose Abgabe unmöglich gemacht. Die Möglichkeit des Bezuges erfrage man beim Landesinstitut für Schule und Weiterbildung, Referat II/4.1, Postfach 1754, D-59 491 Soest.

1.3 Teile des Basis-Set



Basis-Set

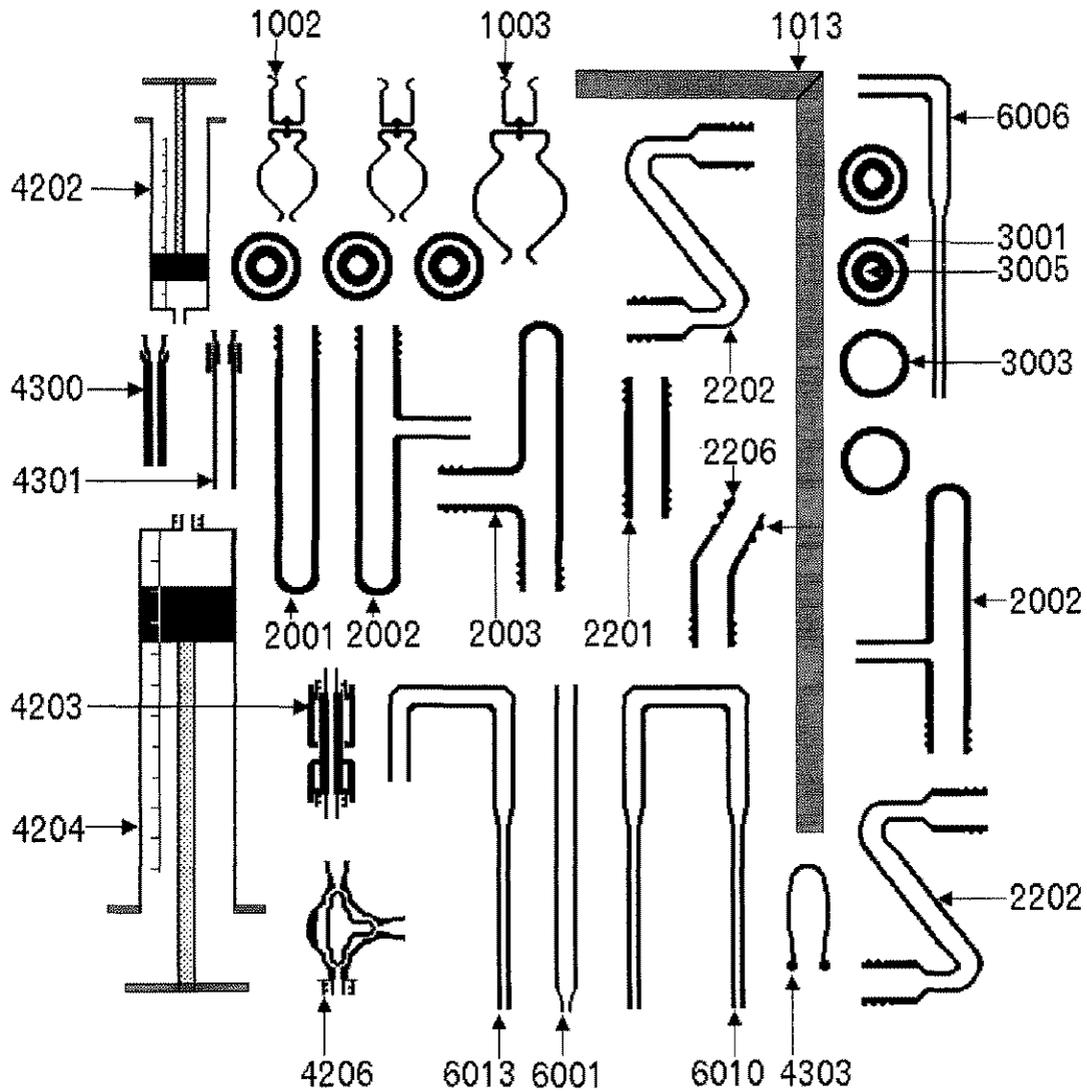
Artikel, Anzahl und Bestellnummern

Stand 01.1.96

Änderungen nach Anzahl und Ausführungen bleiben vorbehalten

Basis-Set			
Pos	Anz.	Best-Nr.	Name
1.	5	1002	Federklammer, d=16-18mm
2.	1	1003	Federklammer, d=35-45mm
3.	1	1013	Alu-Vierkantrohr 280*90*10
4.	1	2001	Präparatglas, 100mm, GL18
5.	1	2002	Reaktionsgefäß GL18, seitlicher Ansatz d=8mm
6.	1	2003	Reaktionsgefäß GL18, seitl. Ansatz, GL18, 90°
7.	1	2203	T-Stück, 3* GL18, 90°
8.	6	3001	GL18 Schraubkappe mit Loch
9.	2	3003	GL18 Schraubverschluß mit Dichtung
10.	6	3005	GL18 Dichtung, PTFE-ummantelt, Loch d=8mm
11.	1	4202	Kunststoff-Kolbenprober 10ml
12.	1	4204	Kunststoff-Kolbenprober 50ml
13.	1	4300	Kolbenprober-Ansatz, Luer-Glas, d=8mm
14.	1	4301	Pipetten-Ansatz, Luer-Glas, d=8mm
15.	2	4303	Pipettensauger
16.	1	5001	Thermometer, rot gefüllt, -10 -> +200 °C 1:1
17.	1	6001	Tropfpipette 120*8mm
18.	1	6002	Tropfpipette 120*8/1,5mm mit Luer-Lock-Adapter
19.	1	6006	Gaseinleitungsrohr, mit Spitze, 90°
20.	1	6007	Rührstab 120*4mm, Ende verdickt
21.	1	6008	Gasableitungsrohr für pneumat. Wanne, d=8mm
22.	1	6009	Gasauffangrohr, kurz, d=8mm, mit Trichter, 90°
23.	1	6011	Gasableitungsrohr, kurz, d=8mm mit Spitze, 90°
24.	1	6012	Gaseinleitungsrohr ohne Spitze
25.	1	6901	Quarzrohr, ca. 150*8mm
26.	1	6902	Glührohr, Quarz 70-80*8mm
27.	1	9101	Systemtablett Basis-Set (Polypropylen)
28.	1	9003	Handreichung Basis-Set
		-----	Verbrauchsmaterial -----
29.	1	1907	Reagenzglasbürste mit Quast, d=16mm
30.	1	1903	Rinnenspatel, verchromt (Regenschirmspeiche)
31.	2	1909	Rohrreiniger, konisch (Pfeifenreiniger)
32.	1	6802	Reaktionsrohr, DURAN-Glas 120*8*1,5mm

1.4 Teile der Ausbau-Set I +II



Ausbau-Set I und II

Artikel, Anzahl und Bestellnummern

Stand 01.12.95

Änderungen nach Anzahl und Ausführungen vorbehalten

## Ausbau-Set I + II

Pos	Anz.	Best-Nr.	Name
1.	2	1002	Federklammer, d=16-18mm
2.	1	1003	Federklammer, d=35-45mm
3.	1	1013	Alu-Vierkantrohr 280*90*10
4.	1	2001	Präparateglas, 100mm, GL18
5.	2	2002	Reaktionsgefäß GL18, seitlicher Ansatz, d=8mm
6.	1	2003	Reaktionsgefäß GL18, seitl. Ansatz, GL18, 90°
7.	1	2201	Verbindungsstück, gerade, 2*GL18
8.	2	2202	Schwan, 2*GL18
9.	1	2206	Verbindungsstück, gewinkelt 60°, 2*GL18
10.	5	3001	GL18 Schraubkappe mit Loch
11.	2	3003	GL18 Schraubverschluß mit Dichtung
12.	5	3005	GL18 Dichtung, PTFE-ummantelt, Loch d=8mm
13.	1	4202	Kunststoff-Kolbenprober 10ml
14.	1	4203	Kunststoffkupplung, Luer-Luer
15.	1	4204	Kunststoff-Kolbenprober 50ml
16.	1	4206	Dreivegehahn, Kunststoff
17.	1	4300	Kolbenprober-Ansatz, Luer-Kunststoff-Glas d=8mm
18.	1	4301	Pipetten-Ansatz, Luer-Kunststoff-Glas d=8mm
19.	1	4303	Pipettensauger
20.	1	6001	Tropfpipette 120*8mm
21.	1	6006	Gaseinleitungsrohr, mit verstärkter Spitze, 90°
22.	1	6010	Sicherheits-U-Rohr, d=8mm
23.	1	6013	Wasserfallen-U-Rohr, d=8mm
24.	1	9102	Systemtablett Ausbau-Set

## 1.5 Hinweise zum Zubehör

Nicht in den Halbmikrosets enthalten sind die Teile, die in der Regel in einem Schullabor bereits existieren oder nur sehr gelegentlich benötigt werden.

### Unverzichtbar für die Benutzung der Halbmikrosets sind neben der persönlichen Schutzausrüstung:

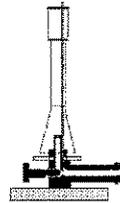
1. Vierkantmuffe {Best.-Nr. 1030}



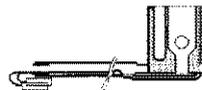
2. Stativ {Best.-Nr. xxxx} ohne Abb.

3. Gasbrenner mit Sparflamme {Best.-Nr. 1801}

oder



4. elektrischer Röhrenofen {Best.-Nr. 1901}



5. Glührohre,  $d=8\text{mm}$ , aus AR-Glas und aus DURAN als Verbrauchsmaterial. AR-Glas läßt sich mit der rauschenden Flamme eines TECLU Gasbrenners bearbeiten und ist daher auch für Schülerübungen geeignet.

### Darüber hinaus nützlich sind:

5. Wasserstrahlpumpe mit GARDENA-Anschluß

{Best.-Nr. xxxx} ohne Abb.

6. Tablett (PP) für 36 PE-Kunststoffflaschen {Best.-Nr. 9301};

Das Tablett ist für maximal  $6 * 6$  Flaschen vorgesehen. Es dient zur Aufnahme von 50 ml-PE-Tropfflaschen oder 50 ml PE-Feststoff-Flaschen der gebräuchlichen Lösungen. In warmem Zustand ist es mit einem Teppichmesser leicht unterteilbar in kleinere Tablett in beliebige Formate.

Für die Wahl von 50-ml-Flaschen spricht die geringere Gefährdung. Vom Gesetz her ist daher auch eine Kurzfassung der Hinweise auf die möglichen Gefährdungen vorgesehen. Eine Füllung (ca. 40 ml reicht in der Regel für mehr als 20 Versuche aus, so daß das Nachfüllen bei einer Klasse nur etwa einmal pro Halbjahr nötig wird.

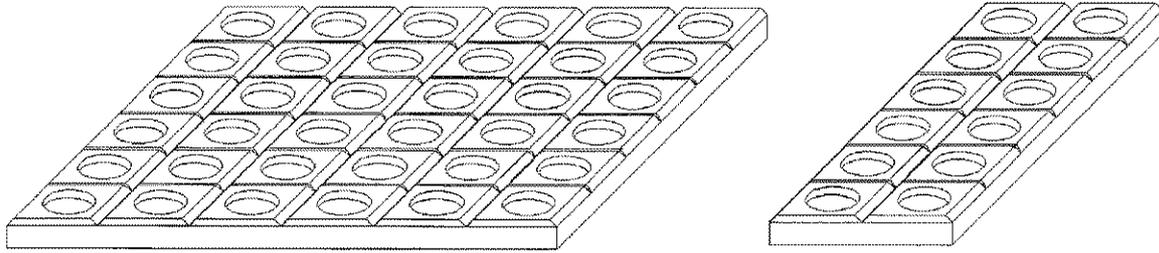


Abb: 19.1: Chemikaliensubstrat 6\*6; geteiltes Chemikaliensubstrat 2\*6

Sehr zweckmäßig ist die Unterteilung in Substrats für 2\*6 Flaschen. Bestückt mit gängigen Laugen, Säuren, Indikatoren und Entsorgungskemikalien können die Substrats in Schülerübungen schnell an den Arbeitsplatz geholt werden. Für etwa vier Arbeitsgruppen sieht man ein Reservesubstrat vor. Die Stammlösungen können in 1 l-PE-Flaschen bevorratet werden.

Für besondere immer wiederkehrende Einzelversuche lassen sich auch Substrats mit den speziellen Chemikalien einmal fertigstellen und zur späteren Erleichterung der Unterrichtsvorbereitung wieder verwenden.

Auch für den Demonstrationsunterricht bietet der Einsatz des Substrats Vorteile, wenn jeder unterrichtende die in seinem Unterricht häufiger vorkommenden Chemikalien in kleinen Portionen abfüllt. Er spart so lange Wege für Holen und Wegräumen und vermeidet den mitunter notwendigen, riskanten Gang in den Sammlungsraum während des Unterrichts.

#### Etiketten-Kopiervorlagen

Für einige gängige Laborchemikalien sind Musteretiketten ausgedruckt (Lose-Blatt-Einlage).

Die Gefahrensymbole können mit einem Filzschreiber (z.B. STABILayout 30) orange gefärbt werden. Anschließend wird das Etikett mit einer weitgehend chemikalienbeständigen Klarsichtfolie überklebt (z.B. ROTH, Karlsruhe: Kaschierfolie 609 ROTH-Best.-Nr. C327.1). Die Bezeichnung des Stellplatzes der Flaschen im Substrat wird am besten unter die Abschrägung des Substrats mit Doppelklebeband fixiert, da so die Beschriftung vor verschütteten Lösungen geschützt ist

## 2 Einstiegsversuche

### 2.1 Apparativer Teil

#### 2.1.1 Zersetzung von Marmor durch Wärme-Energie.

##### Experiment:

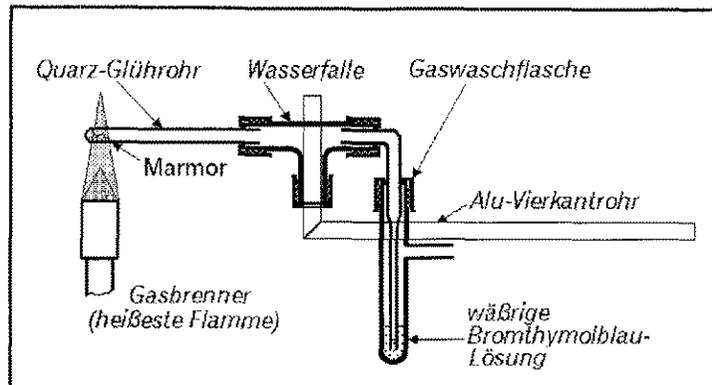


Abb.20.1: Zersetzung von Marmor durch Glühen

Gerät: V020 Basis

Gasbrenner, Schlauch, Zündmittel; - Stativ, Alu-Vierkantring, Muffe, Federstahlklammern; - Quarzglührohr, T-Stück, Reaktionsrohr mit seitlichem Ansatz, Gaseinleitungsrohr mit Spitze, Gewindekappen mit Dichtung, Gewindeverschluß

##### Chemikalien:

ca. 200 mg Marmor-Pulver; 2 Tropfen Bromthymolblau (BTB) in Ethanol; 1 ml Wasser;

##### Durchführung:

Die Apparaturteile werden auf dem Labortisch bereitgelegt und nach einer Sichtkontrolle gemäß der Skizze zusammengebaut. Anschließend wird je eine Federklammer mit der runden Seite auf das T-Stück und auf die Gaswaschflasche aufgesteckt und die Apparatur an dem Alu-Vierkantring befestigt. In die Gaswaschflasche gibt man die Bromthymolblau-Lösung. - Die Probe auf Dichtigkeit erfolgt durch leichtes Erwärmen des Quarzglührohres. Es entweicht Luft durch die Gaswaschflasche mit der BTB-Lösung. Beim Abkühlen steigt die Reagenzlösung in das Gaseinleitungsrohr. Die Apparatur ist dicht, wenn der innere Meniskus im Gaseinleitungsrohr der Gaswaschflasche nicht wieder absinkt. - Anschließend bringt man den rauschenden Gasbrenner mit der heißesten Stelle unter das Marmor-Pulver im Quarz-Glühhrohr, woraufhin stetige Blasenentwicklung in der Gaswaschflasche zu beobachten ist.

##### Anmerkung:

Die Apparatur ist schülersicher, da die Wasserfalle (T-Stück) ein Zusammentreffen von kaltem Wasser und glühendem Quarzrohr bei Fehlbedienung zwingend verhindert. Zum Belüften wird die Verschlußkappe am T-Stück geöffnet.

Für Reaktionen, bei denen giftige Gase freiwerden können, ist die Verwendung von Apparatur V017 vorgesehen.

Raum für Notizen:

### 2.1.2 Umsetzung eines unedlen Metalls mit Säure unter Bildung von Wasserstoff

#### Experiment:

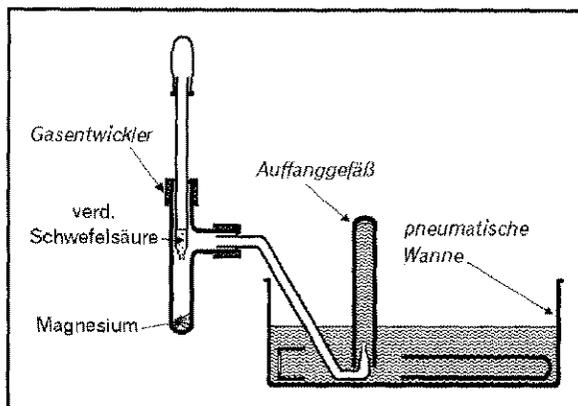


Abb.22.1: Darstellung von Wasserstoff aus Magnesium und Schwefelsäure; Auffangen des Wasserstoffes in einer pneumatischen Wanne

Gerät: V011 Basis

#### Chemikalien:

1 ml Schwefelsäure  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $c = 2 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ; 50 mg Magnesium; Wasser

#### Durchführung:

Die Apparatur wird nach Skizze zusammengesetzt. Probe auf Dichtigkeit: Man drückt auf den Gummisauger der leeren Tropfpipette. Daraufhin entweicht Luft in der pneumatischen Wanne. Beim Loslassen dringt Wasser in das Gasableitungsrohr und bleibt auf konstantem Niveau. - Zur Reaktion gibt man das Magnesium in den Gasentwickler. Dann saugt man die verd. Schwefelsäure mit dem Tropfer auf und setzt den Tropfer in die Apparatur ein, wobei dieser an der Schraubkappe gehalten wird. - Nach dem Zutropfen der Schwefelsäure zum Magnesium entweicht ein farbloses Gas, das in der pneumatischen Wanne in einem mit Wasser gefüllten umgedrehten Reagenzglas aufgefangen wird. Die Untersuchung auf Brennbarkeit geschieht mit der Knallgasprobe, in der Regel erst mit der zweiten Gasfüllung gelingt, da erst die Luft verdrängt sein muß.

#### Entsorgung:

Die Lösung im Gasentwickler wird mit Natriumhydrogencarbonat neutralisiert und in den Ausguß gegeben. Das Magnesium kann nach Abspülen mit Wasser weiterverwendet werden.

#### Anmerkung:

Die Apparatur ist bedingt schülersicher. Eventuelles Zurücksteigen des Wassers aus der pneumatischen Wanne verdünnt lediglich die Schwefelsäure weiter. Das im Gasentwickler gebildete Volumen Knallgas ist nicht größer als die Menge bei einer üblichen Knallgasprobe.

Ist beim Zurücksteigen von Wasser eine Gefährdung abzusehen, sollte man ein T-Stück als Wasserfalle zwischen den Gasentwickler und die pneumatische Wanne zwischenschalten (APP012) oder das Gas mit einem Kolbenprober auffangen.

Raum für Notizen:

### 2.1.3 Identifikation von Alkoholen durch Bestimmung der Siedetemperatur

#### Experiment:

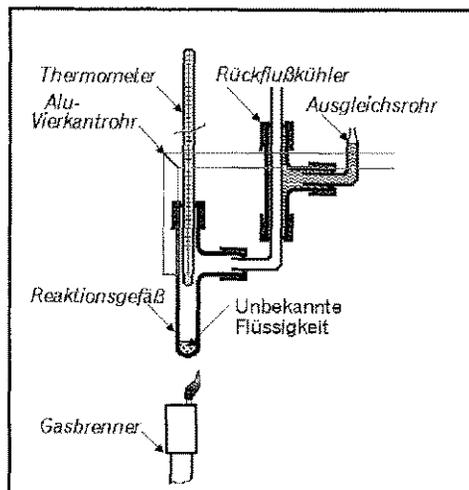


Abb.24.1: Bestimmung der Siedetemperatur von Alkoholen

Gerät: V018 Basis

Gasbrenner, Schlauch, Zündmittel - Stativ, Alu-Vierkantrohr, Muffe, Federstahlklammer -Reaktionsrohr mit seitlichem Ansatz, Thermometer, Gaseinleitungsrohr, T-Stück, Gewindekappen mit Dichtung, kurzes gewinkeltes Glasrohr

#### Chemikalien:

etwa 6-8 Tropfen eines unbekanntes Alkohols

#### Durchführung:

Die Apparaturteile werden auf dem Labortisch bereitgelegt und nach einer Sichtkontrolle gemäß der Skizze zusammengebaut. Anschließend wird je eine Federklammer mit der runden Seite auf das Reaktionsgefäß und auf den Außenkühler aufgesteckt und die Apparatur an dem Alu-Vierkantrohr befestigt. Um den Rückfluß des Kondensats zu verbessern, neigt man das Stativ mit der Apparatur.

Nach dem Einsetzen des Thermometers wird der unbekanntes Alkohol vorsichtig mit der Sparflamme eines Gasbrenners erhitzt bis die Temperatur nicht weiter steigt.

#### Entsorgung:

Alkohole können in den angegebenen Portionen ins Abwasser gegeben werden.

#### Anmerkung:

Die Apparatur ist schülersicher. Der apparative Mehraufwand durch die Außenkühlung mit Wasser verhindert das Durchbrechen des Dampfes bei unvorsichtigem Arbeiten für etwa 3-5 Minuten.

Raum für Notizen:

### 2.1.4 Destillation von Rotwein

#### Experiment:

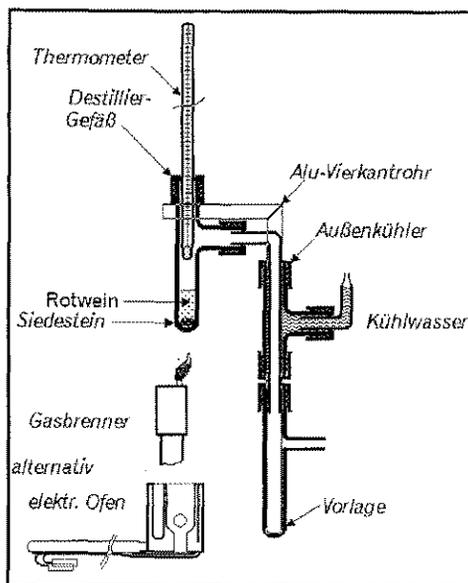


Abb.26.1: Destillationsapparatur für Rotwein

Gerät: V019 Basis

Gasbrenner, Schlauch, Zündmittel - Stativ, Alu-Vierkantrrohr, Muffe, Federstahlklammer -Reaktionsrohr mit seitlichem Ansatz, Thermometer, Gaseinleitungsrohr, T-Stück, Gewindekappen mit Dichtung, kurzes gewinkeltes Glasrohr

#### Chemikalien:

etwa 3ml Rotwein (v(Alkohol)=10%)

#### Durchführung:

Die Apparaturteile werden auf dem Labortisch bereitgelegt und nach einer Sichtkontrolle gemäß der Skizze zusammengesetzt. Anschließend werden Federklammern mit dem runden Seiten auf das Reaktionsgefäß und auf den Außenkühler aufgesteckt und die Apparatur an dem Alu-Vierkantrrohr befestigt.

Nach dem Einsetzen des Thermometers wird der Wein mit einem Siedestein vorsichtig mit der Sparflamme eines Gasbrenners erhitzt bis etwa 6-8 Tropfen farbloses Destillat übergegangen sind. Das Destillat ist brennt mit schwach blauer Flamme

#### Entsorgung:

Alkohole können in den angegebenen Portionen ins Abwasser gegeben werden.

#### Anmerkung:

Die Apparatur ist schülersicher. Selbst beim Platzen des Destillationsgefäßes würde eine brennbare Flüssigkeit gefahrlos abbrennen.

Raum für Notizen:

### 2.1.5 Nachweis von Kohlenstoffdioxid in einem Atemzug

#### Experiment:

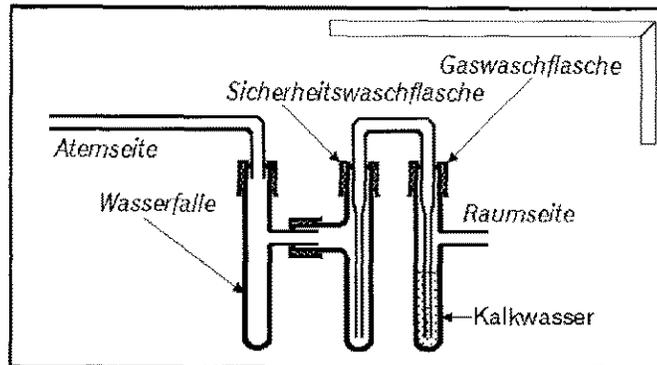


Abb.28.1: Untersuchung eines Atemzuges auf Kohlenstoffdioxid

Gerät: V021 Basis + Aufbau I

1 Reaktionsgefäß mit seitlichem Ansatz GL18; 2 Reaktionsgefäße mit seitlichem Ansatz  $d=8\text{mm}$ ; Sicherheits-U-Rohr; sorgfältig gereinigtes, gewinkeltes Glasrohr; Gummischlauch; Gewindekappen mit Dichtungen. Apparatur kann auch in der Hand behalten werden.

#### Chemikalien:

5 ml gesättigte Kalklauge; zur Entkalkung: Essigsäure,  $c=2\text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$

#### Durchführung:

Die Apparaturteile werden auf dem Labortisch bereitgelegt und nach einer Sichtkontrolle gemäß der Skizze zusammengebaut. Die Apparatur kann in der Hand behalten werden und wird zur besseren Einsehbarkeit durch den Experimentierenden abgewinkelt. Bei Bedarf kann die Apparatur auch mit 3 Federklammern versehen werden und an dem Alu-Vierkantrohr befestigt. Funktionskontrolle: Das als Mundstück benutzte gewinkelte Glasrohr wird mit einem **neuen** Gummischlauch versehen. - Die Probe auf Dichtigkeit erfolgt durch leichtes Ziehen am Mundstück bei bereit eingefüllten Kalklauge. Dabei steigt Lauge in die Sicherheitsflasche. Die Untersuchung beginnt eines Atemzuges beginnt mit dem Einatmen. Dabei bewegt sich die Kalklauge von der Gaswaschflasche zur Sicherheitsflasche ohne sich zu verändern. Beim Ausatmen wird die Kalklauge wieder in die Gaswaschflasche zurückgedrückt und nur dort getrübt.

#### Entsorgung:

Nach dem Absitzen des Niederschlages werden von der Raumseite wenige Tropfen verd. Essigsäure in die Gaswaschflasche gegeben und dabei die Lösung beobachtet. Nach der Umsetzung mit Essigsäure wird die Lösung in den laufenden Wasserstrahl der Spüle gegeben.

#### Anmerkung

Die Apparatur ist schülersicher. Sie kann noch durch eine weitere Wasserfalle auf der Raumseite ergänzt werden.

1Man sollte gesättigte Kalklauge nehmen und solange Ausatmen, bis sich eine maximale Trübung gebildet hat. Zu langes Ausatmen führt zur Bildung von (löslicherem) Calciumhydrogencarbonat.

Raum für Notizen:

## 2.1.6 Reaktion von Kochsalz mit Schwefelsäure zur Darstellung eines Chlorwasserstoff-Springbrunnens

### Experiment:

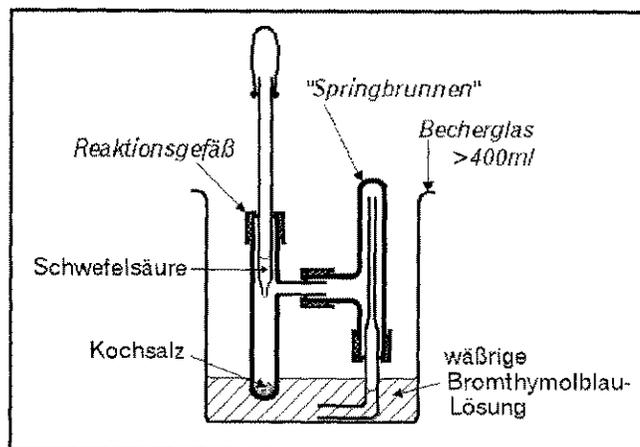


Abb.30.1: "Der Salzsäure-Springbrunnen"

Gerät: V003 Basis:

Becherglas (400 ml, weite Form) - 1 Reaktionsgefäß mit seitlichem Ansatz GL18, 1 Reaktionsgefäß mit seitl. Ansatz GL18, Gaseinleitungsrohr mit langer Spitze, Tropfer mit Pipettensauger, Gewindekappen mit Dichtungen

### Chemikalien:

400 mg Kochsalz; 0,5 ml konz. Schwefelsäure  $H_2SO_4$ ; 0,2 ml Bromthymolblau (BTB) in Ethanol (F); Natriumhydrogencarbonat; Wasser;

### Durchführung:

Die Apparaturteile werden auf dem Labortisch bereitgelegt und nach einer Sichtkontrolle gemäß der Skizze zusammengebaut. Anschließend wird das Becherglas 2 cm hoch mit einer schwach natronalkalische Lösung und mehreren Tropfen Bromthymolblau gefüllt. Die Apparatur stellt man in dieses Becherglas. Zur Prüfung auf Dichtigkeit wird der Gummisauger der noch leeren Apparatur ein wenig zusammengedrückt, dabei müssen Blasen entstehen. Beim Loslassen muß Wasser in das Steigrohr eindringen und stehen bleiben.

In den Gasentwickler gibt man das Kochsalz. Der Tropfer wird mit konzentrierter Schwefelsäure gefüllt, sofort in die Apparatur eingesetzt und fest verschraubt. Anschließend gibt man tropfenweise die Schwefelsäure zum Kochsalz.

### Entsorgung:

Alle Lösungen werden im Becherglas vereinigt, mit Natriumhydrogencarbonat neutralisiert und in den Ausguß gegeben.

### Anmerkung:

Die Apparatur ist schülersicher. - Für das Gelingen des Versuches muß die Apparatur trocken sein! Chlorwasserstoff ist schwerer als Luft, daher muß das Steigrohr bis in die Spitze des Springbrunnens reichen.

Raum für Notizen:

### 2.1.7 Reaktion von Ethanol mit konzentrierter Schwefelsäure unter Bildung von Ethen

#### Experiment:

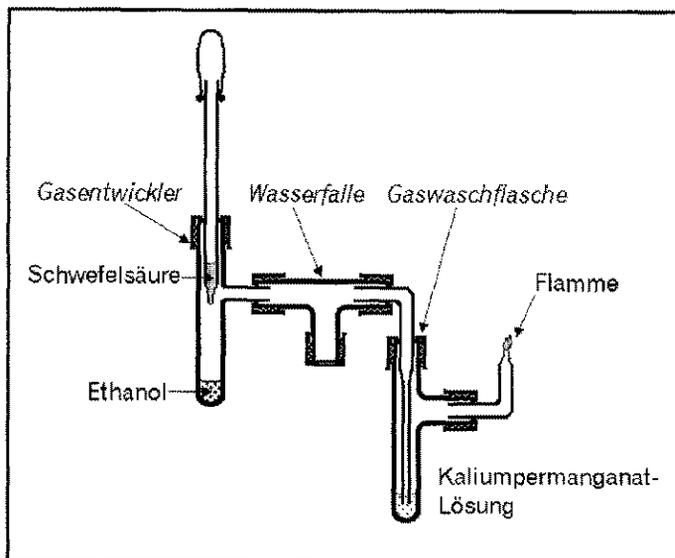


Abb.32.1: Darstellung von Ethen aus Ethanol und Schwefelsäure, Baeyersche Probe und Abbrennen an der Luft

Gerät: V028 Basis

#### Chemikalien:

1 ml konzentrierte Schwefelsäure; 2 ml Ethanol; 1 ml stark verdünnte, angesäuerte Kaliumpermanganat-Lösung in Wasser

#### Durchführung:

Die Apparatur wird nach Skizze zusammgebaut. Zunächst füllt man die Kaliumpermanganat-Lösung in die Gaswaschflasche. Probe auf Dichtigkeit: Man drückt auf den Pipettensauger, daraufhin müssen Blasen in der Gaswaschflasche auftreten. - Dann gibt man das Ethanol in den Gasentwickler und setzt den Tropfer mit der konzentrierten Schwefelsäure ein. - Nach dem Zutropfen der Schwefelsäure zum Ethanol wird mit der Sparflamme des Gasbrenners erhitzt. Das gasförmige Ethen entfärbt die Kaliumpermanganat-Lösung. Das überschüssige Ethen brennt mit gelber(!) Flamme ab.

#### Entsorgung:

Die Lösungen aller Gefäße werden mit Natriumhydrogencarbonat neutralisiert und in den Ausguß gegeben.

#### Anmerkung:

Der Einbau einer Wasserfalle trennt die stark unterschiedlichen Reaktionsräume. Die Trennung ist unverzichtbar und macht die Apparatur schülersicher.

#### Hinweis:

Das Abfackeln gelingt nur mit einer kontinuierlich brennenden Zündflamme als Hilfe. Einen kontinuierlichen Gasstrom erhält man erst nach Absenken der Gaswaschflasche, wodurch das Stoßen durch die Blasen verhindert wird.

Raum für Notizen:

## 2.1.8 Darstellung und Umsetzung von Chlor mit Natrium

### Experiment:

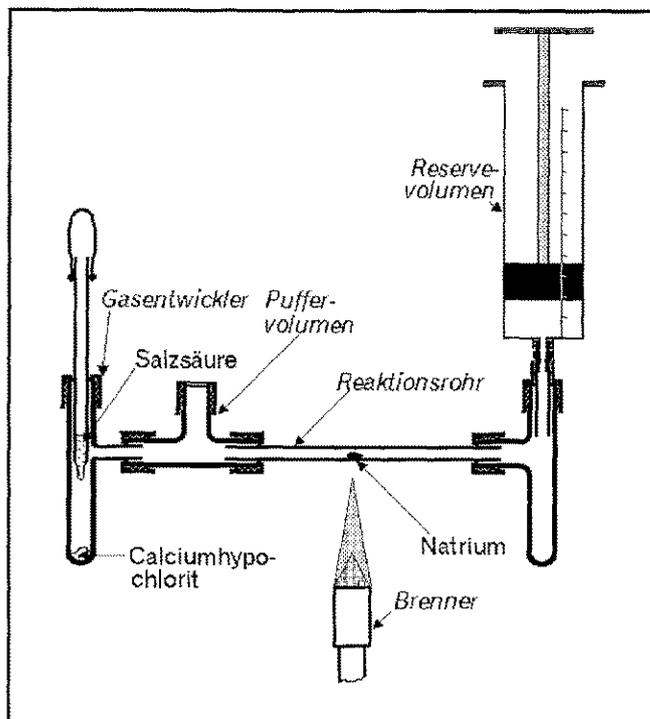


Abb.34.1: Darstellung und Umsetzung von Chlor mit Natrium

Gerät: V023 Basis

Gasbrenner; Stativ, Alu-Vierkantrrohr, Muffe, Federstahlklammern - 2 Reaktionsgefäße mit seitlichem Ansatz GL18 und  $d=8\text{mm}$ ; 1 T-Stück; Pipette mit Pipettensauger; Glasrohr (DURAN-Glas,  $d = 8\text{ mm}$ ); Kunststoffkolbenprober 50 ml mit Adapter; Gewindekappen mit Dichtungen, Gewindeverschluß

### Chemikalien:

200 mg Calciumhypochlorit  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ; 1 ml Salzsäure  $\text{HCl}$   $w=32\%$ ; 50 mg entrindetes Natrium  $\text{Na}(s)$ ; Natriumhydrogencarbonat, Alkohol

### Durchführung:

Die Apparaturteile werden gemäß Skizze zusammengesetzt. Anschließend werden 3 Federklammern aufgesteckt und die Apparatur am Alu-Vierkantrrohr befestigt. Probe auf Dichtigkeit: Leichtes Saugen am Kolbenprober läßt den Pipettensauger einfallen. Unter den Experiment-Aufbau legt man eine Alu-Schale.

Zunächst wird das Calciumhypochlorit, anschließend das Natrium in zwei Stücke und zuletzt der Tropfer mit der Salzsäure in die Apparatur eingesetzt. Danach erhitzt man das Natrium bis zum Schmelzen, um die Krusten zu entfernen. Wichtig: Nur wenn das Natrium noch geschmolzen ist, zündet es mit gelber Flamme. Daher tropft man nun zügig die Salzsäure zum Calciumhypochlorit. Durch vorsichtiges Saugen am Kolbenprober streicht das entstehende Chlor über das geschmolzene Natrium.

Entsorgung:

Nach der Reaktion entfernt man den Gummisauger vom Tropfer, füllt den Tropfer mit Natronlauge und saugt das Chlor mit dem Kolbenprober aus der Apparatur. Das Restgas Chlor wird ebenso wie die mit dem Tropfer dem Gasentwickler entnommene Lösung mit einer Lösung von Natriumthiosulfat reduziert. Das Reaktionsrohr spült man zur Sicherheit mit Alkohol durch. Die vereinigten Lösungen werden mit Natriumhydrogencarbonat neutralisiert.

Raum für Notizen:



## 2.2 Lehrerdemonstrationsversuche

Die hier aufgeführten Versuche sind eine Auswahl von komplizierteren Experimenten, die üblicherweise als Lehrerdemonstrationsexperimente ablaufen.

Vorwiegend wurden Experimente mit gefährlichen Stoffen oder kompliziertere Apparaturen aufgenommen. Die chemischen Reaktionen werden so geführt, daß am Ende leicht entsorgbaren Produkte entstehen. Soweit wie möglich geschieht das während des Experiments innerhalb der geschlossenen Apparatur. Der Abzug soll während des Versuches nicht benutzt werden müssen. Es empfiehlt sich jedoch beim Beschicken und Entleeren der Apparatur den Abzug zu benutzen.

Die Versuche sind in Form eines Versuchsprotokoll dargestellt, wie sie sich aus der Sicht des "forschend-Lernenden" darstellen, d.h. das Beobachtbare steht im Vordergrund. Der zur Verfügung stehende geringe Platz, eine Doppelseite, macht eine Straffung des Textes notwendig, wobei nur die wichtigsten Beobachtungen und Auswertungen aufgenommen werden können. Die Auswertung ist in Form von Vermutungen gekleidet und macht mitunter kleine zusätzliche Handversuche notwendig. Die Aufstellung chemischer Gleichungen bleibt dem Unterrichtsgespräch und der Fachliteratur vorbehalten.

2.2.1 Darstellung von Chlor, Umsetzung mit Natrium und Entsorgung mit Natriumthiosulfat

**Vorwissen:**

Die Edukte Natrium, Calciumhypochlorit und konzentrierte Salzsäure sind technisch hergestellte, energiereiche Stoffe mit hoher Reaktivität, die Produkte Natriumchlorid, Schwefel und Natriumsulfat kommen in der Natur vor.

**Experiment:**

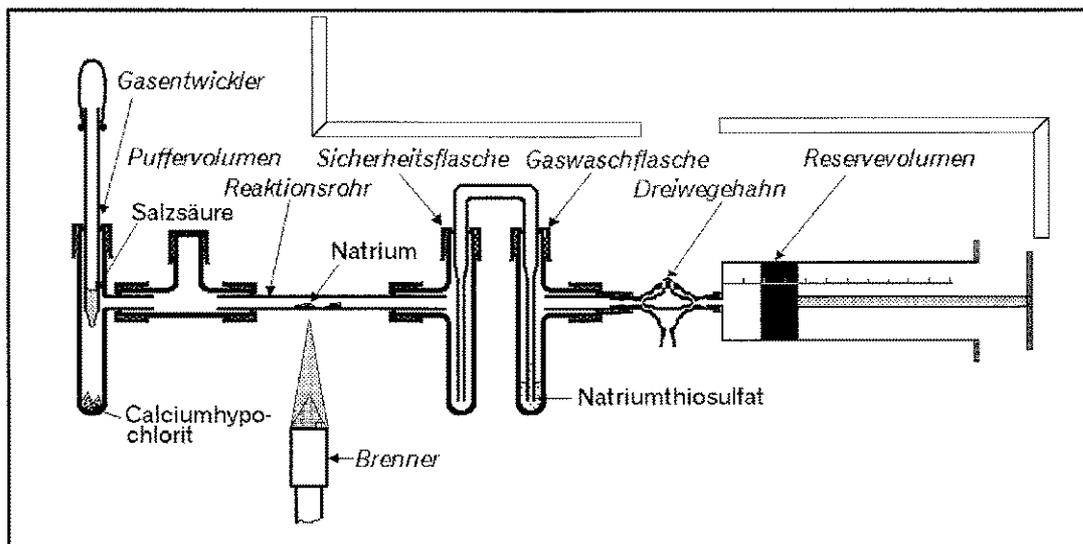


Abb.38.1: Darstellung, Umsetzung und Entsorgung von Chlor in einer geschlossenen Apparatur

Gerät: V029 Basis + Aufbau I

Gasbrenner, Schlauch, Zündmittel; - Stativ, Alu-Vierkantrohr, Muffe, Federstahlklammern; -T-Stück, Verbindungsstück, Tropfpipette mit Sauger, 2 Reaktionsrohre mit seitlichem Ansatz d=8mm, Reaktionsrohr mit seitlichem Ansatz GL18, Sicherheits-U-Rohr, Kunststoffkolbenprober 50ml, Luer-Lock-Adapter, Gewindekappen mit Dichtung, Verschlusskappe, u.U. Dreiweghahn

**Chemikalien:**

150-200mg Calciumhypochlorit  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ; ca. 1 ml Salzsäure  $\text{HCl}$  (w=32%); 50 mg Natrium  $\text{Na}(\text{s})$ . 0,5 g Natriumthiosulfat\*5Hydrat  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , gelöst in Wasser. Es entsteht als wesentlicher Gefahrstoff Chlor [T; MAK 0,5 ppm]. Zur Entsorgung: Salzsäure - verd. Natronlauge,  $\text{OCl}^{1-}$ - Eisenwolle,  $\text{SO}_3^{2-}$ -  $\text{KMnO}_4$ .

**Durchführung:**

Die Apparaturteile werden auf dem Labortisch bereitgelegt, nach Skizze zusammengebaut und mit 5 Federklammern, (T-Stück, Verbindungsstück, Gaswaschflasche, Kolbenprober) am Alu-Vierkantrohr befestigt. Funktionskontrolle: Nach dem Einfüllen der Natriumthiosulfat-Lösung erfolgt die Probe auf Dichtigkeit durch leichtes Ansaugen mit dem Kolbenprober. Dabei zieht sich der Gummisauger zusammen und der Flüssigkeitsniveau in den Gaswaschflaschen verändert sich dauerhaft.

Die Beschickung der Apparatur beginnt mit dem Einfüllen des Calciumhypochlorits in den Gasentwickler. Dann wird das krustenfreie Natrium in das DURAN-Reaktionsrohr gegeben und die Apparatur gasdicht verschlossen. Nun kann nochmals eine Dichtigkeitsprobe erfolgen.

Der Tropfer wird mit Salzsäure gefüllt und zuletzt in den Gasentwickler eingesetzt ist (an der Schraubkappe anfassen!). - Zunächst erhitzt man das Natrium bis es schmilzt und sich zu einer silbrig glänzenden Kugel zusammenzieht. Das Natrium darf dabei den Rohrquerschnitt nicht verschließen! Nun tropft man die Salzsäure zu dem Calciumhypochlorit und saugt langsam das entstehende Gas über das geschmolzenen Natrium.

#### **Beobachtung:**

Bei der Reaktion von Salzsäure mit Calciumhypochlorit entsteht ein gelbes Gas.

Das gelbe Gas reagiert exotherm mit Natrium unter gelbem Aufleuchten und einem weißen Feststoff. Überschüssiges Gas reagiert mit Natriumthiosulfat zu einer weißen Suspension.

#### **Auswertung:**

Durch Komproportionierung entsteht aus Chlorid und Hypochlorit gasförmiges Chlor.

Chlor reagiert mit Natrium zu Natriumchlorid.

Das Oxidationsmittel Chlor wird durch Thiosulfat reduziert, dabei entsteht Schwefel und Schwefeldioxid.

#### **Ergebnis:**

Bei der Reaktion von Chlorid-Ionen mit Hypochlorit-Ionen entsteht Chlor in saurer Lösung, welches Natrium zu Natriumchlorid oxidiert. Überschüssiges Chlor wird durch Thiosulfat reduziert, wobei feinverteilter Schwefel ausfällt und Schwefeldioxid gebildet wird.

#### **Entsorgung:**

Die Apparatur wird unter dem Abzug entleert. Dazu wird zunächst das unverbrauchte Chlor aus der Apparatur durch Raumluft ersetzt, indem man die Tropfpipette bis in die Calciumhypochlorit-Lösung schiebt, den Pipette der Pipettensauger entfernt, etwa 2-3 ml verd. Natronlauge in den Tropfer gibt. Durch Ansaugen gelangen die verdünnte Natronlauge und Raumluft in die Apparatur. Das überschüssige Chlor wird durch Disproportionierung und beim Durchgang durch Thiosulfat entsorgt. Die Lösung aus dem Gasentwickler wird mit der Pipette aufgesaugt und ebenfalls mit Natriumthiosulfat entgiftet. Die vereinigten Lösungen werden zum Abschluß mit Natriumhydrogencarbonat neutralisiert und können ins Abwasser gegeben werden. Das Reaktionsrohr mit evtl. zurückbleibenden Natriumresten wird mit Ethanol gespült. Nach der Beendigung einer möglichen Gasentwicklung (Wasserstoff) kann das Reaktionsrohr in den Sondermüll gegeben werden. Hypochlorit-Lösung entsorgt man mit Eisenwolle; Sulfit-Lösung mit Kaliumpermanganat.

#### **Hinweis für den Lehrer:**

Die Reihenfolge beim Beschicken der Apparatur ist aus Sicherheitsgründen einzuhalten, da sie notfalls ein einfaches Unterbrechen des Versuchs ermöglicht.

Die Reihenfolge bei der Durchführung der Reaktion ist einzuhalten, da festes Natrium mit Chlor wegen Bildung einer weißen Kruste nicht mit Feuererscheinung reagiert.

Will man kristallines Kochsalz erhalten, muß man krustenfreies Natrium mehrere Tage in der Apparatur in der Chlor-Atmosphäre belassen.

Bringt man farbige feste Stoffe (Haare, rote Blütenblätter) in das T-Stück, so kann man auch die bleichende Wirkung des gasförmigen Chlors zeigen.

## 2.2.2 Thermolyse von Blei(II)-nitrat zur Darstellung von Stickstoffoxiden. Auffangen und Entsorgung der Stickstoffoxide

### Vorwissen:

Blei(II)-nitrat ist ein wasserlösliches Salz der Salpetersäure. Es kommt in dieser Form praktisch nicht in der Natur vor und kann aus Blei mit konzentrierter Salpetersäure technisch hergestellt werden. Wie bei vielen Schwermetallen sind besonders die Stäube oder die wasserlösliche Form bereits in geringen Portionen gesundheitsschädlich.

### Experiment:

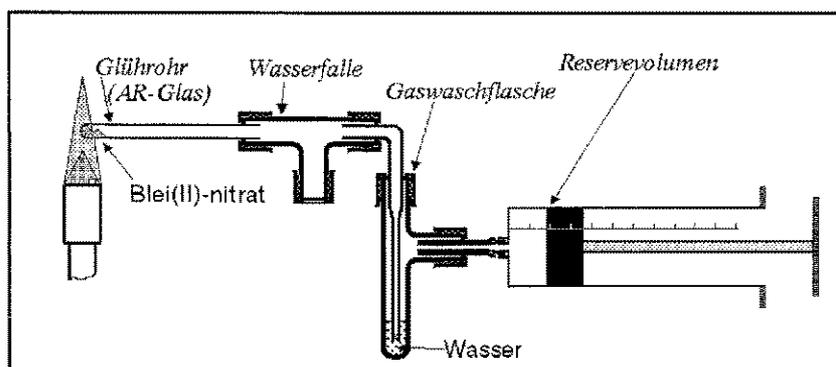


Abb. 40.1: Pyrolyse von Blei(II)-nitrat

Gerät: V017 Basis

Gasbrenner, Schlauch, Zündmittel; - Stativ, Alu-Vierkantrohr, Muffe, Federstahlklammern; - Glührohr(AR), T-Stück, Reaktionsrohr mit seitlichem Ansatz, Gaseinleitungsrohr mit Spitze, Kunststoffkolbenprober 50ml, Luer-Lock-Adapter, Gewindekappen mit Dichtung, Gewindeverschluß

### Chemikalien:

20-50 mg Blei(II)-nitrat  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ; 2 ml Wasser;

### Durchführung:

Die Apparaturteile werden auf dem Labortisch bereitgelegt und nach einer Sichtkontrolle gemäß der Skizze zusammengebaut und mit drei Federklammern an der Wasserfalle, der Gaswaschflasche und dem Kolbenprober am Alu-Vierkantrohr befestigt. Funktionskontrolle: Die Probe auf Dichtigkeit erfolgt durch leichtes Einschieben des Glührohres. Dabei perlt Luft durch die Gaswaschflasche.

Das Blei(II)-nitrat wird erhitzt. Die Überleitung des Gases wird durch leichte Ziehen am Kolben des Kolbenprobers unterstützt. Gegen Ende wird das Glührohr bis zum Erweichen erhitzt und unter Anlegen eines Unterdruckes zusammengeschmolzen. Vor dem Entfernen des Brenners wird die Apparatur durch Öffnen der Verschlusskappe an der Wasserfalle belüftet. Die wässrige Lösung kann weiter untersucht werden.

### Beobachtung:

Beim Erhitzen des Bleinitrates im AR-Glührohr entsteht ein braunes Gas,.

Das geglühte Bleinitrat bildet eine gelbe Schmelze. Nach dem Abkühlen entsteht ein farbloses stark lichtbrechendes Glas, das nach dem Abkühlen viele Sprünge aufweist.

Die braunen Gase lösen sich in Wasser zu einer farblosen Lösung.

**Auswertung:**

Bleinitrat zersetzt sich in ein braunes Gas und eine gelbe, glasige Schmelze.

Die festen Zersetzungsprodukte des Bleinitrat bilden mit dem Glührohr eine neue Glassorte. Vermutlich handelt es sich daher bei der gebildeten Schmelze um ein Blei-oxid-Glas (stark lichtbrechendes Kristallglas).

Die wässrige Lösung des Gases reagiert gegenüber Bromthymolblau sauer.

**Ergebnis:**

Bei der Einwirkung von Wärme-Energie auf Schwermetallnitratre entstehen nitrose Gase, die sich mit Wasser zu einer farblosen sauren Lösung umsetzen.

**Entsorgung:**

Die Apparatur wird unter dem Abzug geöffnet. Die Lösungen werden vereinigt, neutralisiert mit einer erbsengroßen Portion Harnstoff zum Sieden erhitzt. Nach dem Abkühlen kann die Lösung in den ablaufenden Wasserstrahl der Spüle gegeben und mit viel Wasser nachgespült werden. Das abgekühlte Bleiglas wird in den Sondermüll (!) gegeben.

**Hinweis für den Lehrer:**

Das T-Stück hat die Aufgabe als Wasserfalle vor dem Zurücksteigen der Lösung bei Ausfall des Brenners zu schützen (Explosionsgefahr).

Die evtl. entweichende Stickstoffoxide werden im Kolbenprober aufgefangen (geschlossene Apparatur).

Mit der Einschmelzung von Schwermetallen in Gläser kann die Entsorgung von Brennelementen von Kernreaktoren thematisiert werden. (Einglasen)

Durch das Aufkochen mit Harnstoff wird das Nitrit zu Stickstoff und Wasser reduziert. (Natürliche Antagonisten)

### 2.2.3 Entwicklung von Stickoxiden aus Kupfer und konzentrierter Salpetersäure und ihre Entsorgung.

#### Vorwissen:

Kupfer ist ein halbedles Metall. Es lässt sich mit konzentrierter Salpetersäure oxidieren. Dabei dient die Salpetersäure als Oxidationsmittel und Salzbildner. Kupfer-Ionen sind ein starkes Fischgift.

#### Experiment:

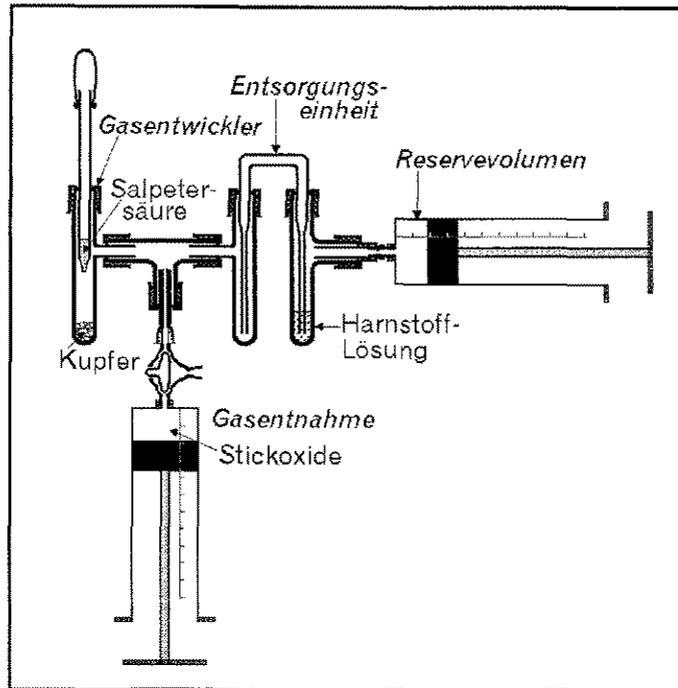


Abb.42.1: Oxidation von Kupfer durch konzentrierte Salpetersäure

Gerät: V025 Basis + Aufbau I

Gasbrenner, Schlauch, Zündmittel; - Stativ, Alu-Vierkantröhr, Muffe, Federstahlklammern; -T-Stück, Tropfpipette mit Sauger, 2 Reaktionsrohre mit seitlichem Ansatz d=8mm, Reaktionsrohre mit seitlichem Ansatz GL18, Sicherheits-U-Röhr, 2 Kunststoffkolbenprober 50ml, 2 Luer-Lock-Adapter, Gewindekappen mit Dichtung, Dreiwegehahn

#### Chemikalien:

20-50 mg Kupferspäne; 1 ml Salpetersäure , ( $w(\text{HNO}_3)=65\%$ ); 2 ml Natriumhydroxid, ( $c(\text{NaOH})=2\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Harnstoff

#### Durchführung:

Die Apparaturteile werden auf dem Labortisch bereitgelegt, nach Skizze zusammengebaut und mit 5 Federklammern, (T-Stück, Gaswaschflaschen, Kolbenprober) am Alu-Vierkantröhr befestigt. Funktionskontrolle: Die Probe auf Dichtigkeit erfolgt durch leichtes Ansaugen mit dem Kolbenprober. Dabei wird der Gummisauger zusammengedrückt und der Flüssigkeitsstand in den Gaswaschflaschen verändert.

Zunächst wird die Natronlauge eingefüllt. Danach wird die Salpetersäure mittels Tropfer zum Kupfer gegeben. Das braune Gas wird über den Dreiwegehahn in den ersten Kolbenprober gesaugt. Der Dreiwegehahn wird verschlossen, die weiteren Stickoxide werden durch die Natron-

lauge in den Gaswaschflaschen absorbiert. Zwischenzeitlich kann mit dem Gas im ersten Kolbenprober das Prinzip von Le Chatelier gezeigt werden. Danach wird der Kolbenprober wieder mit der Apparatur verbunden und die Stickoxide ebenfalls in der Natronlauge absorbiert. Am Ende wird der Gummisauger abgenommen und durch Ansaugen mit dem hinteren Kolbenprober die gesamte Apparatur mit Luft gespült. Die wäßrige Lösung mit Natriumnitrit und Natriumnitrat kann weiter untersucht werden.

**Beobachtung:**

Bei der Reaktion von Kupfer entsteht ein braunes Gas, das sich in verdünnter Natronlauge farblos löst.

Die Gase zeigen bei vergrößertem Druck zunächst eine Farbintensivierung, die nach einer halben Sekunde verblaßt. Bei Druckverminderung verblaßt die braune Farbe des Gases erst, wird aber anschließend wieder intensiver.

Die Lösung von Salpetersäure mit gelöstem Kupfer ist grün, beim Verdünnen wird sie blau.

Die verdünnte blaue Lösung läßt sich mit Eisenwolle nahezu entfärben.

**Auswertung:**

Kupfer wird durch Salpetersäure oxidiert, das Gas reagiert mit Natronlauge.

Die Druckänderungen weisen auf das Vorliegen eines Gasgleichgewichtes zwischen einem gefärbten und einem farblosen Gas hin, wobei sich das Volumen bei Druckerhöhung in Richtung farbloses Gas verschiebt

Die Kupfer-Ionen scheinen in wäßriger Lösung eine andere Solvathülle zu besitzen als die in einer Lösung mit großem Nitrat-Gehalt und mit nitrosen Gasen.

Kupfer-Ionen oxidieren Eisen und lassen sich somit aus Lösungen entfernen.

**Ergebnis:**

Bei der Einwirkung von Wärme-Energie auf Schwermetallnitratre entstehen nitrose Gase, die sich mit Wasser zu einer farblosen sauren Lösung umsetzen. Es gibt verschiedene Stickstoffoxide, die farbige und farblose Gase sind.

**Entsorgung:**

Die Apparatur wird unter dem Abzug geöffnet. In die Lösung mit den Kupfer-Ionen gibt man Eisenwolle im Überschuß, bis die Lösung nicht mehr weiter reagiert. Die Lösungen werden vereinigt, neutralisiert mit einer erbsengroßen Portion Harnstoff zum Sieden erhitzt. Nach dem Abkühlen kann die Lösung in den ablaufenden Wasserstrahl der Spüle gegeben und mit viel Wasser nachgespült werden. Die Eisenwolle wird in den Sondermüll gegeben.

**Hinweis für den Lehrer:**

Die evtl. entweichende Stickstoffoxide werden im Kolbenprober aufgefangen (geschlossene Apparatur).

Durch das Aufkochen mit Harnstoff wird das Nitrit zu Stickstoff und Wasser reduziert. (Antagonisten)

Wegen der kleinen Stoffportionen ist es ungefährlich, die salpetersaure Kupfer-Lösung vorsichtig mit Ammoniak-Lösung zu überschichten. Man erhält dann einen Übergang der verschiedenen Solvatisierungen des Kupfer(II)-Ions und in der Nähe der Neutralzone eine Schicht festes  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ .

Kupfer-Ionen werden durch Zementieren mit Eisenwolle entfernt.

### 3 Apparaturen

Um das Lesen nicht zu beeinträchtigen, sind die Abbildungen im Text nicht benannt. Im Register ist ein Verzeichnis von Dateinamen mit der zugehörigen Seitenangabe.

Die Angabe Gerät: AP020 gibt den Dateinamen der Abbildung an. Die Dateinamen sind im Register geordnet aufgeführt.

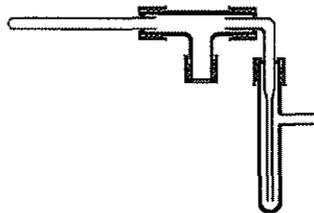
Die Ziffernfolge 020 nach den Buchstaben ist willkürlich vergeben.

Apparaturdateien mit vorangestellten Buchstaben AP enthalten keine Stoffe. Diese Bilddateien sind besonders als Quellenmaterial zur Erstellung eigener Apparaturabbildungen geeignet, da das lästige "Radieren" in Pixeldateien entfällt.

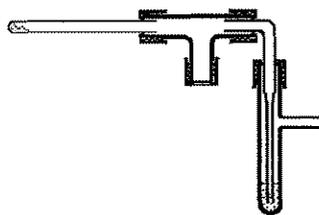
Der Anfangsbuchstabe V besagt, daß es sich um eine Apparaturskizze mit eingefüllten Stoffen handelt.

Die Nummer V020 bezeichnet die Apparatur APxxx, von der die Versuchsapparatur abgeleitet wurde. Eventuelle Buchstaben hinter der Apparaturnummer dienen der Unterscheidung. Dahinter steht die Bezeichnung des Gerätesatzes, der zum Aufbau benötigt wird.

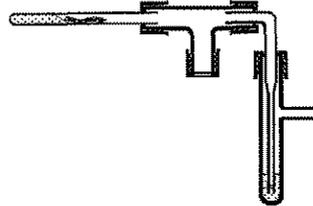
Gerät: AP020 Basis



Gerät: V020 Basis



Gerät: V020A Basis

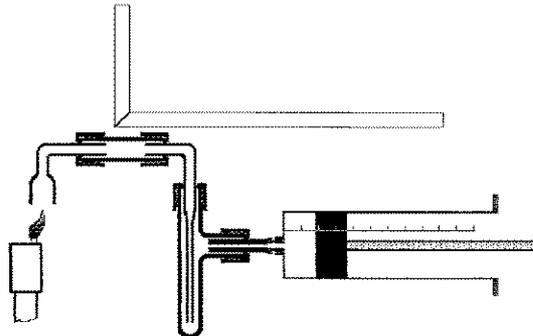


## 3.1 Gasförmig + gasförmig --&gt; ...

## 3.1.1 Umsetzung eines brennbaren Stoffes mit Luft. - Nachweis des gasförmigen Reaktionsproduktes durch Reaktion mit einer Lösung.

**Experiment:**

- {6809} 1 Gasauffangtrichter
- {2201} 1 gerades Verbindungsstück
- {3001} 3 GL18 Schraubkappen mit Loch
- {4204} 1 Kolbenprober 50ml
- {3005} 3 GL18 PTFE-Dichtungen mit Loch  $d=8\text{mm}$
- {4300} 1 Kolbenprober-Ansatz, Luer  $d=8\text{mm}$
- {2002} 1 GL18 Reaktionsgefäß mit seitlichem Ansatz,  $d=8\text{mm}$
- {6006} 1 Gaseinleitungsrohr mit langer Spitze



Gerät: AP016 Basis + Aufbau I

**Chemikalien:**

Stoff A: z.B. Sparflamme eines Gasbrenners

Stoff B: z.B. 1-2ml Kalklauge

**Durchführung:**

Die Apparatur wird nach Skizze auf dem Tisch liegend zusammgebaut. Probe auf Dichtigkeit: Man füllt die Lösung B in die Gaswaschflasche. Die Luft muß durch leichtes Ansaugen am Stempel des Kolbenprobers durch die Lösung B perlen. Die Blindprobe besteht im Einsaugen von Luft ohne das zu untersuchende Gas. Danach bringt man den zu untersuchenden Stoff A unter den Auffangtrichter. Das aufsteigende Gas, den Dampf oder den saugt man durch die Lösung B der Gaswaschflasche, indem man langsam am Stempel des Kolbenprobers zieht.

**Beispiele:**

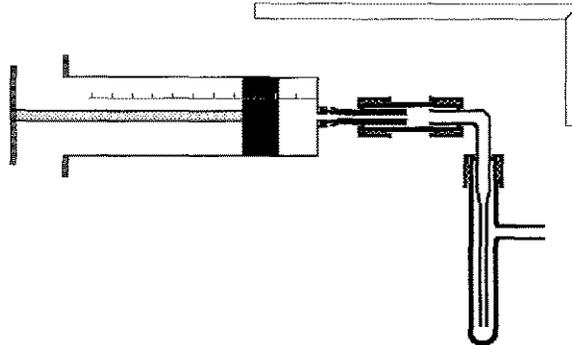
- 1) Erdgas, Benzin und Alkohol verbrennen an der Luft zu Kohlenstoffdioxid, nachgewiesen mit Kalklauge.
- 2) PVC verbrennt an der Luft zu Gasen, die Chlorwasserstoff enthalten. Nachgewiesen durch salpetersaure Silbernitrat-Lösung.
- 3) Phosphor verbrennt an der Luft zu di-Phosphorpentaoxid, nachgewiesen mit verdünnter Säure-Basen-Indikator.

## 3.2 Gasförmig + flüssig --> ...

### 3.2.1 Umsetzung eines Gases mit einer Lösung zur Identifikation von Stoffeigenschaften

#### **Experiment:**

- {6006} 1 Gaseinleitungsrohr mit langer Spitze
- {2201} 1 gerades Verbindungsstück
- {3001} 3 Schraubkappen GL18 mit Loch
- {3005} 3 PTFE-Dichtungen GL18 mit Loch  $d=8\text{mm}$
- {4300} 1 Kolbenprober-Ansatz, Luer  $d=8\text{mm}$
- {4204} 1 Kolbenprober 50ml
- {2002} 1 Reaktionsgefäß GL18 mit seitlichem Ansatz,  $d=8\text{mm}$



Gerät: AP015 Aufbau I

#### **Chemikalien:**

Stoff A: z.B. 50ml Kohlenstoffdioxid

Stoff B: z.B. 1-2ml Kalklauge

#### **Durchführung:**

Die Apparatur wird nach Skizze zusammengebaut. Probe auf Dichtigkeit: Man füllt die Gaswaschflasche mit der Lösung B. Leichtes Ansaugen am Stempel des Kolbenprobers muß die Lösung B zurücksteigen lassen. Ohne Saugen darf der Meniskus nicht wieder absinken. -Anschließend drückt man das Gas A aus dem Kolbenprober durch die Gaswaschflasche mit der Lösung B.

#### **Beispiele:**

- 1) Kohlenstoffdioxid reagiert mit grüner Bromthymolblau-Lösung unter Gelb-Färbung zu Kohlensäure
- 2) Stickstoffmonooxid reagiert mit Eisen(II)-Lösung zum violetten Eisen (II)-nitrosyl-Komplex.
- 3) Ethen reduziert saure Kaliumpermanganat-Lösung zu farbloser Mangan(II)-Lösung.

## 3.2.2 Umsetzung eines stark hygroskopischen Gases mit einer Lösung

**Experiment:**

{2002} 1 Reaktionsgefäß GL18 mit seitlichem Ansatz,  $d=8\text{mm}$

{2003} 1 Reaktionsgefäß GL18 mit seitlichem Ansatz GL18

{3001} 3 Schraubkappen GL18 mit Loch

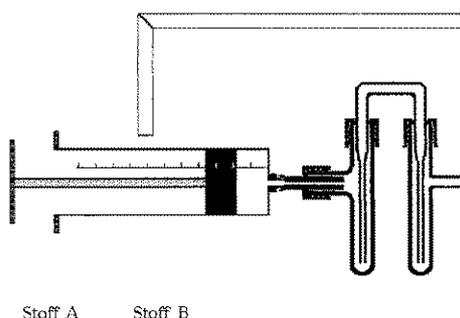
{3005} 3 PIFE-Dichtungen GL18 mit Loch  $d=8\text{mm}$

{4301} 1 Pipetten-Ansatz, Luer  $d=8\text{mm}$

{4204} 1 Kolbenprober 50ml

{6010} 1 Sicherheits-U-Rohr mit langen Spitzen

Gerät: AP022 Basis + Aufbau I

**Chemikalien:**

Stoff A: z.B. 50ml Chlorwasserstoff

Stoff B: z.B. 1-2ml Bromthymolblau-Lösung in Wasser

**Durchführung:**

Die Apparatur wird nach Skizze liegend auf dem Tisch zusammengebaut. Danach werden die Federklammern von oben auf die Reaktionsgefäße zwischen Schraubkappe und seitlichem Ansatz aufgesteckt. Eine große Federklammer wird auf den Kolbenprober gedrückt. Anschließend wird die Apparatur als Ganzes am Alu-Vierkantrohr befestigt, indem man das Alu-Vierkantrohr von oben auf die Federklammern aufsteckt bis sie einrasten.

Man überprüft die Dichtigkeit der Apparatur, indem man die zweite Gaswaschflasche mit der Lösung B füllt. Leichtes Ansaugen am Stempel des Kolbenprobers muß die Lösung B in die erste Gaswaschflasche zurücksteigen lassen. - Anschließend drückt man das Gas A aus dem Kolbenprober durch die Gaswaschflasche mit der Lösung B.

**Anmerkung:**

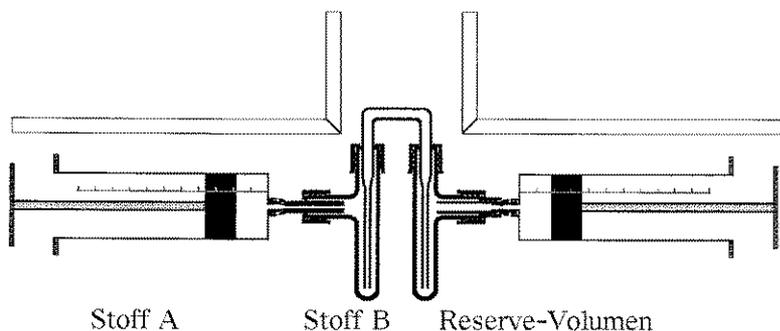
Die Apparatur ist eine geeignete Alternative zur Entsorgung von giftigen Gasen im Abzug. Voraussetzung ist, daß ein geeigneter reaktiver Antagonisten in der Gaswaschflasche vorgelegt wird, der das Gas vollständig absorbiert.

**Beispiele:**

- 1) Chlorwasserstoff löst sich sehr gut in Wasser.
- 2) Ammoniak löst sich sehr gut in Wasser.
- 3) Ethin löst sich gut in Aceton.

### 3.2.3 Umsetzung eines gefährlichen Gases mit einer Flüssigkeit

#### Experiment:



{2003} 2 Reaktionsgefäß GL18 mit seitlichem Ansatz GL18

{3001} 4 Schraubkappen GL18 mit Loch

{3005} 4 PTFE-Dichtungen GL18 mit Loch d=8mm

{4300} 1 Kolbenprober-Ansatz, Luer d=8mm

{4301} 1 Pipetten-Ansatz, Luer d=8mm

{4204} 2 Kolbenprober 50ml

{6010} 1 Sicherheits-U-Rohr mit langen Spitzen

Gerät: AP002 Basis + Aufbau I

#### Chemikalien:

Stoff A: z.B. 50ml Chlorwasserstoff

Stoff B: z.B. 1-2ml n-Heptan

#### Durchführung:

Die Apparatur wird nach Skizze liegend auf dem Tisch zusammengebaut. Danach werden die Federklammern von oben auf die seitlichen Ansätze der Reaktionsgefäße aufgesteckt. Zwei große Federklammern werden auf die Kolbenprober gedrückt. Anschließend wird die Apparatur als Ganzes am Alu-Vierkantrohr befestigt, indem man das Alu-Vierkantrohr von oben auf die Federklammern aufsteckt bis sie einrasten.

Man überprüft die Dichtigkeit der Apparatur, indem man die zweite Gaswaschflasche mit der Lösung B füllt. Leichtes Ansaugen am Stempel des Kolbenprobers muß die Lösung B in die erste Gaswaschflasche zurücksteigen lassen. - Anschließend löst man das Gas A in der Flüssigkeit B durch mehrfaches Überführen des Gases von einem zum anderen Kolbenprober.

#### Anmerkung:

Die Apparatur ist geeignet, um eine Lösung mit einem Gas zu sättigen. Die Apparatur kann auch benutzt werden, um ein sehr giftiges Gas mit einer Lösung zur Reaktion zu bringen und dabei auszuschließen, daß dabei nicht gelöstes Gas nach dem ersten Durchleiten in die Luft entweicht.

#### Beispiele:

- 1) Chlorwasserstoff löst sich mäßig in n-Heptan, sehr gut in Wasser.
- 2) Schwefelwasserstoff löst sich mäßig in Wasser, gut in Natronlauge.
- 3) Ethin löst sich gut in Aceton.

### 3.3 Gasförmig + fest --> ...

#### 3.3.1 Umsetzung eines Feststoffes mit Luft und Auffangen des gasförmigen Reaktionsproduktes

##### Experiment:

{6803} 1 Glasrohr, d=8mm

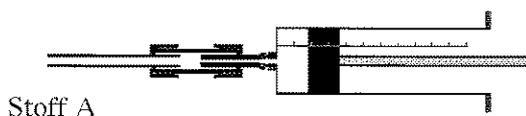
{2201} 1 gerades Verbindungsstück

{3001} 2 Schraubkappen GL18 mit Loch

{3005} 2 PTFE-Dichtungen GL18 mit Loch d=8mm

{4300} 1 Kolbenprober-Ansatz, Luer d=8mm

{4204} 1 Kolbenprober 50ml



Gerät: AP013 Aufbau I

##### Chemikalien:

Stoff A: z.B. etwa 20 mg Schwefel

##### Durchführung:

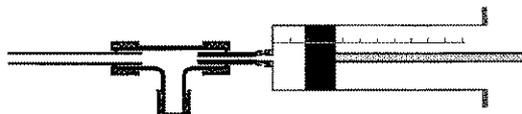
Die Apparatur wird nach Skizze zusammengebaut. Man überprüft die Dichtigkeit der Apparatur, indem man das Reaktionsrohr mit dem Finger verschließt und kräftig am Stempel des Kolbenprobers saugt. Hierbei darf auch nach längerer Zeit keine Luft eintreten. - Anschließend gibt man Stoff A etwa 3 cm in das Reaktionsrohr und erhitzt von außen mit dem Gasbrenner. Beginnt der Stoff A zu reagieren, saugt man durch Ziehen am Stempel des Kolbenprobers langsam Luft über den Stoff A in den Kolbenprober. - Das Gas im Kolbenprober kann dann weiter untersucht werden.

alternativ: Gerät: AP026 Basis

statt des gerades Verbindungsstückes:

{2203} 1 T-Stück, 3\*GL18

{3003} Verschlusskappe GL18



##### Durchführung:

w.o. - In das T-Stück können Proben von Feststoffen oder Flüssigkeiten gegeben werden, die längere Zeit dem entstandenen Gas ausgesetzt werden sollen. Dazu entfernt man das Glührohr und setzt einen zweiten Kolbenprober ein. Nun kann die Atmosphäre im T-Stück durch gelegentliches Bewegen der Kolben mit der Probe ins chemische Gleichgewicht gebracht werden.

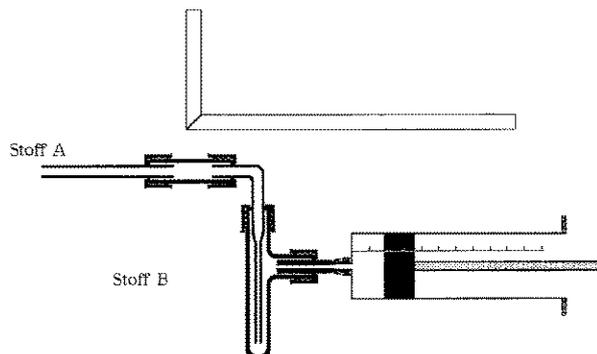
##### Beispiele:

- 1) Schwefel reagiert mit Luft beim Erhitzen zu Schwefeldioxid
- 2) Aktivkohle reagiert mit Luft beim Erhitzen zu Kohlenstoffdioxid
- 3) Eisensulfid reagiert mit Luft zu Eisenoxid und Schwefeldioxid
- 4) Eisen(III)-oxid reagiert mit Holzkohlepulver beim Glühen zu magnetischem Eisen und Kohlenstoffdioxid

### 3.3.2 Umsetzung eines Feststoffes mit Luft. - Nachweis des gasförmigen Reaktionsproduktes durch Reaktion mit einer Lösung.

#### Experiment:

- {6803} 1 Glasrohr, d=8mm
- {2003} 1 Reaktionsgefäß GL18 mit seitlichem Ansatz GL18
- {6006} 1 Gaseinleitungsrohr mit langer Spitze
- {2201} 1 gerades Verbindungsstück
- {3001} 3 Schraubkappen GL18 mit Loch
- {3005} 3 PTFE-Dichtungen GL18 mit Loch d=8mm
- {4300} 1 Kolbenprober-Ansatz, Luer d=8mm
- {4204} 1 Kolbenprober 50ml



Gerät: AP014 Aufbau I

#### Chemikalien:

Stoff A: z.B. etwa 20 mg Aktivkohle

Stoff B: z.B. 1-2ml Kalklauge

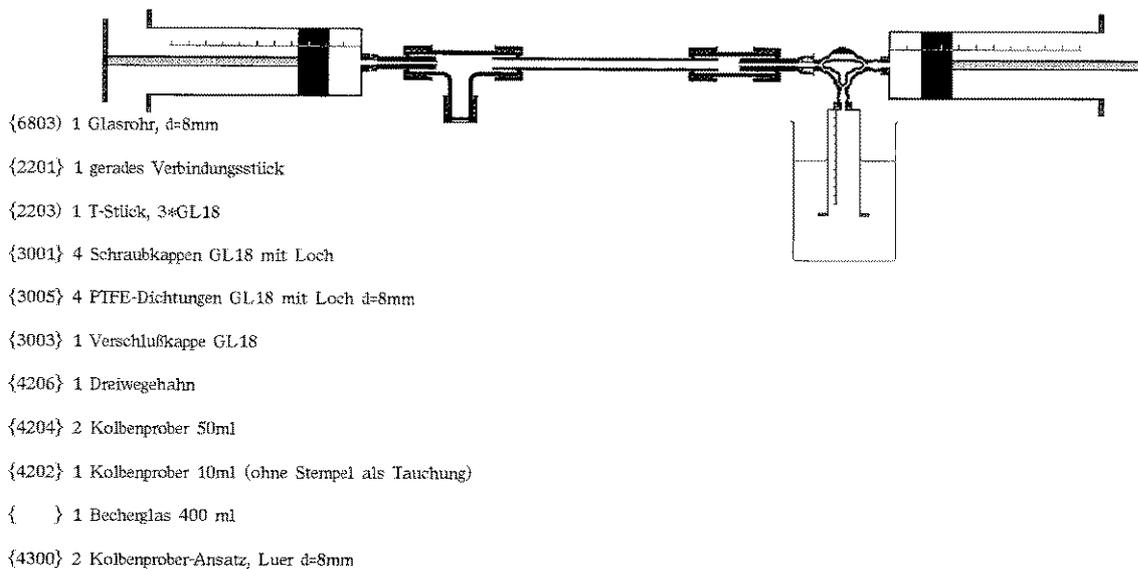
#### Durchführung:

Die Apparatur wird nach Skizze zusammengebaut. Probe auf Dichtigkeit: Man füllt die Gaswaschflasche mit der Lösung B. Leichtes Ansaugen am Stempel des Kolbenprobers muß Luft durch die Lösung B perlen lassen. - Anschließend gibt man 1 Körnchen des Stoffes A etwa 3 cm in das Reaktionsrohr und erhitzt von außen mit dem Gasbrenner. Beginnt der Stoff A zu reagieren, saugt man durch Ziehen am Stempel des Kolbenprobers langsam Luft über den Stoff A durch die Lösung B der Gaswaschflasche.

#### Beispiele:

- 1) Holzkohle verbrennt mit Luft zu Kohlenstoffdioxid. Nachgewiesen mit Kalklauge.
- 2) Schwefel verbrennt mit Luft zu Schwefeldioxid. Nachgewiesen mit verdünnter Iod/Stärke-Lösung.
- 3) Natrium verbrennt mit Luft zu weißem Natriumoxid-Rauch. Nachweis der alkalischen Eigenschaften bei der Reaktion mit Wasser durch einen Säure-Basen-Indikator (Bromthymolblau).

## 3.3.3 Umsetzung eines Feststoffes mit einem Gas. - Quantitativer Nachweis des Umsatzes.

**Experiment:**

Gerät: AP037 Basis + Aufbau I

**Chemikalien:**

Stoff A: z.B. etwa 50 mg Eisenwolle

Stoff B: z.B. 100 ml Luft

**Durchführung:**

Aufbau nach Skizze. Man öffnet die Verschlusskappe am T-Stück und saugt die erforderliche Gasportion ein. Stellung des Dreiwegehahns in der gezeichneten Weise, Flüssigkeitsspiegel der Tauchung innen und außen gleich hoch. Druckprobe: man verbindet nur die beiden Kolbenprober miteinander und preßt das Gas mehrmals hin und her. Anschließend stellt man die Kolbenprober auf die alten Marken und überprüft die Dichtigkeit, indem man die Tauchung wieder ankoppelt. Die Flüssigkeitsspiegel müssen unverändert bleiben. - Im eigentlichen Versuch verfährt man entsprechend.

**Beispiele:**

- 1) s. o. 20 Vol% Luft reagiert mit Eisenwolle zu Eisenoxid. (Reaktionsrohr aus Quarz. Es läßt sich auch DURAN-Glasrohr verwenden, dann darf man jedoch nur bis zum Starten der Reaktion erhitzen und muß einen Überdruck in der Apparatur vermeiden, da sich andernfalls das Reaktionsrohr aufbläht, bzw. platzt.)
- 2) Kohlenstoff reagiert mit Kohlenstoffdioxid unter Bildung von Kohlenstoffmonoxid unter Volumenzunahme (Reaktionsrohr aus Quarz).
- 3) Diamanten reagieren mit reinem Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid ohne Volumenveränderung (Reaktionsrohr aus Quarz)

### 3.4 Flüssig + flüssig --> ...

#### 3.4.1 Umsetzung einer Flüssigkeit mit einer Flüssigkeit unter Bildung eines Gases schwerer als Luft

##### Experiment:

{2001} 1 Präparatglas GL18

{2003} 1 Reaktionsgefäß GL18 mit seitlichem Ansatz GL18

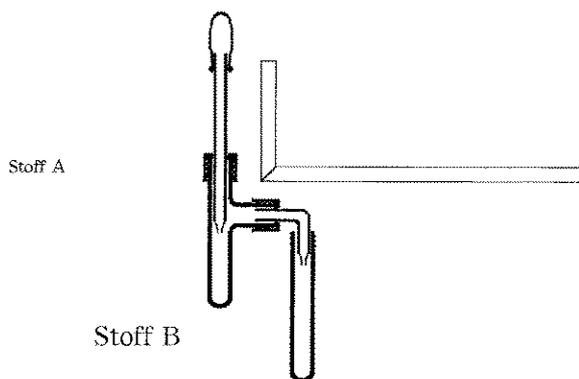
{3001} 2 Schraubkappen GL18 mit Loch

{3005} 2 PIFE-Dichtungen GL18 mit Loch  $d=8\text{mm}$

{4303} 1 Pipettensauger für Tropfpipette

{6001} 1 Tropfpipette

{6011} 1 kurzes Gaseinleitungsrohr mit Spitze



Gerät: AP010 Basis

##### Chemikalien:

Stoff A: z.B. 0,5 ml Schwefelsäure ( $c=2\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ )

Stoff B: z.B. 5 ml kohlenensäurehaltiges Mineralwasser

##### Durchführung:

Die Apparatur wird nach Skizze zusammengebaut. Probe auf Dichtigkeit: Man preßt den Pipettensauger zusammen und verschließt die Spitze des Gasableitungsrohres. Die Apparatur ist dicht, wenn sich der Pipettensauger nicht wieder zur alten Form ausdehnt. - Anschließend gibt man den Stoff B in das Reaktionsrohr und saugt mit der Tropfpipette die Lösung A an. Die Tropfpipette wird an der Schraubkappe gehalten und mit dem Reaktionsgefäß verschraubt. Nach dem Zutropfen des Stoffes A zum Stoff B kann das austretende Gas in einem Reagenzglas aufgefangen werden. Bei Gasen mit einer Dichte größer als Luft muß das Reagenzglas mit der Öffnung nach oben (s. Skizze) gehalten werden.

##### Beispiele:

- 1) s.o. Schwefelsäure verdrängt Kohlensäure aus seiner Lösung
- 2) Marmor-Pulver (Eierschalen, Kesselstein) reagiert mit verd. Schwefelsäure zu Kohlenstoffdioxid und Calciumsulfat.
- 2) Kaliumbromid reagiert mit Schwefelsäure unter Bildung von Brom.

## 3.5 Flüssig + fest --&gt; ...

## 3.5.1 Umsetzung eines Feststoffes mit einer Flüssigkeit durch Erhitzen und Auffangen eines gasförmigen Reaktionsproduktes

**Experiment:**

{6803} 1 Glasrohr, d=8mm

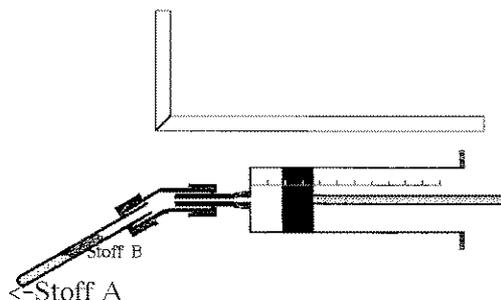
{2206} 1 gebogenes Verbindungsstück

{3001} 2 Schraubkappen GL18 mit Loch

{3005} 2 PIFE-Dichtungen GL18 mit Loch d=8mm

{4300} 1 Kolbenprober-Ansatz, Luer d=8mm

{4204} 1 Kolbenprober 50ml



Gerät: V001 Aufbau I

**Chemikalien:**

Stoff A: z.B. etwa 1g Sand, getränkt mit Wasser

Stoff B: z.B. etwa 200 mg Magnesiumband oder Späne

**Durchführung:**

Die Apparatur wird nach Skizze zusammengesetzt. Man überprüft die Dichtigkeit der Apparatur, indem man kräftig am Stempel des Kolbenprobers saugt. Hierbei darf auch nach längerer Zeit keine Luft eintreten. - Anschließend gibt man Stoff A etwa 3 cm in das Glührohr. Sollen Flüssigkeiten zur Reaktion gebracht werden, empfiehlt es sich, diese durch Tränken in Seesand zu immobilisieren. Danach bringt man den Feststoff B in das Glührohr ein und verschließt die Apparatur nach Skizze. Zunächst erhitzt mit dem Gasbrenner den Feststoff B auf Reaktionstemperatur. Nun verschiebt man die Flamme in Richtung Boden des Glührohres zum Stoff B und leitet so die Reaktion ein. Beginnen sich die Stoffe umzusetzen, unterstützt man das Freiwerden des Gases durch leichtes Ziehen am Stempel des Kolbenprobers. - Das Gas im Kolbenprober kann dann weiter untersucht werden. Die Rückstände im Glührohr können durch Erhitzen des Glases bis zur Rotglut und Erzeugen eines Unterdruckes mit dem Kolbenprober eingelastet werden.

**Beispiele:**

- 1) Wasser (immobilisiert in Seesand) reagiert mit Magnesium zu Magnesiumoxid und Wasserstoff
- 2) Dibromethan (immobilisiert in Seesand) reagiert mit Zink zu Ethen und Zinkbromid.
- 3) Alkohol (immobilisiert in Seesand) reagiert mit Magnesium zu Ethen und Magnesiumoxid.

### 3.5.2 Umsetzung einer Flüssigkeit mit einem Feststoff oder Flüssigkeit unter Bildung eines brennbaren Gases leichter als Luft

#### **Experiment:**

{2003} 1 Reaktionsgefäß GL18 mit seitlichem Ansatz GL18

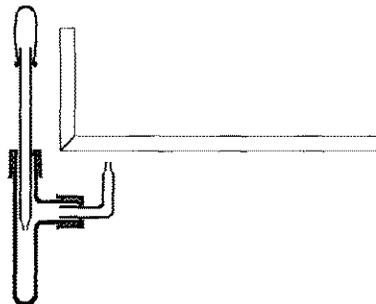
{3001} 2 Schraubkappen GL18 mit Loch

{3005} 2 PTFE-Dichtungen GL18 mit Loch  $d=8\text{mm}$

{4303} 1 Pipettensauger für Tropfpipette

{6001} 1 Tropfpipette

{6011} 1 kurzes Gasableitungsrohr mit Spitze



Gerät: AP009 Basis

#### **Chemikalien:**

Stoff A: z.B. 1 ml Schwefelsäure ( $c=2\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ )

Stoff B: z.B. 25 mg Magnesium

#### **Durchführung:**

Die Apparatur wird nach Skizze zusammengesetzt. Probe auf Dichtigkeit: Man preßt den Pipettensauger zusammen und verschließt die Spitze des Gasableitungsrohres. Die Apparatur ist dicht, wenn sich der Pipettensauger nicht wieder ausdehnt. -Anschließend gibt man den Stoff B in das Reaktionsrohr und saugt mit der Tropfpipette die Lösung A an. Die Tropfpipette wird an der Schraubkappe gehalten und in der Apparatur verschraubt. Nach dem Zutropfen des Stoffes A zum Stoff B kann das austretende Gas in einem Reagenzglas aufgefangen werden. - Bei brennbaren Gasen kann das Gas an einem abseits stehenden Gasbrenner entzündet werden. Beim Ausbleiben einer Verpuffung kann das Gas auch am Gasableitungsrohr entzündet werden.

#### **Beispiele:**

- 1) Magnesium reagiert mit verdünnten starken Säuren zu Wasserstoff und Magnesium-Salzen.
- 2) Ameisensäure ( $w>98\%$ ) reagiert mit Schwefelsäure ( $w>98\%$ ) zu Kohlenstoffmonoxid und Wasser.
- 3) Calciumcarbid und Wasser reagieren zu Ethin und Calciumhydroxid.
- 4) Aluminiumcarbid und Natronlauge reagieren zu Methan und Natriumaluminat.

### 3.5.3 Umsetzung einer Flüssigkeit mit einem Feststoff unter Bildung eines Gases in geschlossener Apparatur.

#### Experiment:

{3001} 5 Schraubkappen GL18 mit Loch

{3005} 5 PTFE-Dichtungen GL18 mit Loch  $d=8\text{mm}$

{4303} 1 Pipettensauger für Tropfpipetten

{6001} 1 Tropfpipette

{6006} 1 Gaseinleitungsrohr mit langer Spitze

Stoff B

{4300} 1 Kolbenprober-Ansatz, Luer  $d=8\text{mm}$

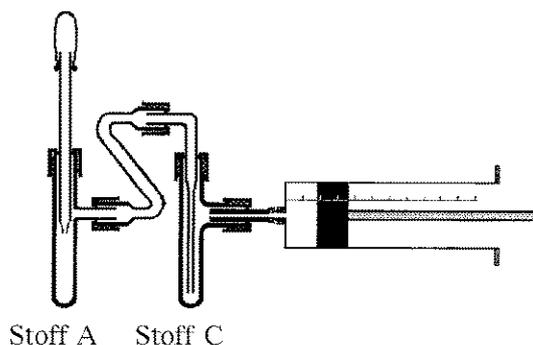
{4204} 1 Kolbenprober 50ml

{2002} 1 Reaktionsgefäß GL18 mit seitlichem Ansatz  $d=8\text{mm}$

{2003} 1 Reaktionsgefäß GL18 mit seitlichem Ansatz GL18

{2202} 1 Schwan, 2\*GL18

Gerät: AP005 Basis + Aufbau I



#### Chemikalien:

Stoffe A: z.B. 300 mg Eisensulfid

Stoff B: z.B. 1-2 ml Salzsäure ( $c=2\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ )

Stoff C: z.B. 1-2ml Kalklauge

#### Durchführung:

Die Apparatur wird nach Skizze zusammengesetzt. Probe auf Dichtigkeit: Man saugt am Stempel des Kolbenprobers, daraufhin zieht sich der Pipettensauger zusammen. - Zunächst füllt man den Stoff C in die Gaswaschflasche. Anschließend gibt man den Stoff A in das Reaktionsgefäß. Dann nimmt man mit der Tropfpipette den Stoff B auf und schraubt sie an der Schraubkappe gehalten in die Apparatur ein. Durch Ziehen am Stempel des Kolbenprobers leitet man das Zutropfen der Flüssigkeit B zum Stoff A ein und hält einen leichten Unterdruck. Das entstehende Gas reagiert nach dem Verdrängen der Luft mit der Flüssigkeit C. Anmerkung: Wird nur sehr wenig Gas entwickelt, so kann man das Überleiten durch Mittransport mit Luft erreichen, indem man bei leichtem Unterdruck den Gummisauger vom Tropfer entfernt.

Zur Entsorgung der Apparatur wird mit einer Tropfflasche ein geeigneter Antagonist zum Stoff B in die Tropfpipette gegeben. Falls die Reaktion des Gases mit dem Stoff C nicht vollständig verlaufen sein könnte, muß die Apparatur unter dem Abzug geöffnet werden.

#### Beispiele:

- 1) s.o. Natriumsulfid reagiert mit verdünnter Schwefelsäure zu Natriumchlorid und Schwefelwasserstoff. Nachweis des Schwefelwasserstoffs mit blauer Kupfersulfat-Lösung und Bildung eines schwarzen Niederschlages aus Kupfersulfid.
- 2) Natriumsulfit reagiert mit konzentrierter Salzsäure zu Natriumchlorid und Schwefeldioxid. Nachweis des Schwefeldioxids mit Kaliumiodid-Iod-Lösung.

### 3.5.4 Umsetzung einer Flüssigkeit mit einem Feststoff unter Bildung eines gut löslichen Gases, leichter als Luft

#### Experiment:

{2002} 1 Reaktionsgefäß GL18 mit seitlichem Ansatz d=8mm

{2003} 1 Reaktionsgefäß GL18 mit seitlichem Ansatz GL18

{3001} 3 Schraubkappen GL18 mit Loch

{3005} 3 PTFE-Dichtungen GL18 mit Loch d=8mm

{4303} 1 Pipettensauger für Tropfpipette

Stoff B

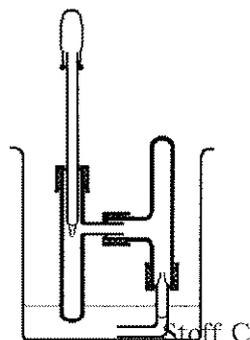
{6001} 1 Tropfpipette

{6011} 1 kurzes Gasableitungsrohr Spitze

{ } 1 Becherglas, 400 ml weite Form

Stoff A

Gerät: AP004 Basis



#### Chemikalien:

Stoff A: z.B. Mischung aus 500 mg Ammoniumchlorid und 2 Plättchen Natriumhydroxid

Stoff B: z.B. 1 Tropfen Natronlauge

Stoff C: Lösemittel Wasser

#### Durchführung:

Die Apparatur wird nach Skizze zusammengebaut. Probe auf Dichtigkeit: Man preßt den Pipettensauger zusammen, wobei sich im Lösemittel Gasblasen zeigen müssen. -Anschließend gibt man die Stoff A (und B) in das Reaktionsgefäß. Dann saugt man mit der Tropfpipette einen Tropfen Wasser auf. Die Tropfpipette wird, an der Schraubkappe gehalten, mit der Apparatur verschraubt. Nach dem Zutropfen des Wassers zum Stoffgemisch A/B wird nach Verdrängen der Luft das austretende Gas im Wasser des Becherglases absorbiert, gegen Ende der Gasentwicklung steigt das Wasser dem Gas entgegen und flutet die Apparatur.

Entsorgung: Die Lösung in der Apparatur wird mit dem Lösemittel im Becherglas vereinigt und gemäß den Vorschlägen zur Entsorgung behandelt.

#### Beispiele:

- 1) s.o. Ammoniak aus Ammoniumsalz und gepulvertem(!) Natriumhydroxid mit 2 Tropfen Wasser; löslich in Wasser
- 2) Ethin aus Calciumcarbid und Wasser; löslich in Aceton
- 3) Methan aus Aluminiumcarbid mit Säure; löslich in Benzin

## 3.5.5 Umsetzung einer Flüssigkeit mit einem Feststoff unter Bildung eines Gases

**Experiment:**

{2002} 1 Reaktionsgefäß GL18 mit seitlichem Ansatz  $d=8\text{mm}$

{3001} 1 Schraubkappe GL18 mit Loch

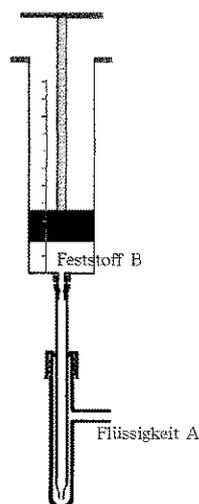
{3005} 1 PTFE-Dichtungen GL18 mit Loch  $d=8\text{mm}$

{4204} 1 Kolbenprober 50ml

{6002} 1 Tropfpipette mit Luer-Lock-Adapter

{ } Becherglas 100ml

Gerät: AP042 Basis

**Chemikalien:**

Flüssigkeit A: z.B. 4-5 ml Schwefelsäure ( $c=2\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ )

Feststoff B: z.B. 50 mg Magnesium-Band

**Durchführung:**

Der Stempel des Kolbenprobers wird entfernt. In den Kolben legt man den Feststoff B, der nicht durch die Austrittsöffnung passen darf. Anschließend wird der Kolben wieder eingesetzt und bis zum Grund geschoben. Der so präparierte Kunststoff-Kolbenprober wird mit der Tropfpipette verbunden und in das Reaktionsgefäß eingesetzt, in dem sich bereits ca. 4 ml Flüssigkeit A befinden. Danach saugt mit dem Kolbenprober die Lösung A an, die bei Kontakt mit dem Feststoff B ein Gas entwickelt. Das entstehende Gas preßt die Flüssigkeit wieder aus dem Kolbenprober, so daß durch weiteres Ziehen am Kolben nach und nach die gewünschte Gasportion bis max. 60 ml erzeugt werden kann. Der mit Gas gefüllte Kolbenprober kann anschließend von der Tropfpipette getrennt und mit anderen Apparaturen verbunden werden.

**Anmerkung:**

Beim Ansaugen darf keine Luft in den Kolbenprober gelangen. Um das sicher auszuschließen, ersetzt man das Reaktionsgefäß durch ein Becherglas mit ca. 100 ml Flüssigkeit A. Nun kann der Kolbenprober in einem Zug ganz mit der Flüssigkeit gefüllt werden. Die Gasentwicklung kann in diesem Falle unbeobachtet bleiben. Sie endet automatisch, wenn die Flüssigkeit von den Gas verdrängt wurde. Die Flüssigkeit A sollte jedoch, da sie nicht verbraucht ist, für ähnliche Versuche verwahrt werden.

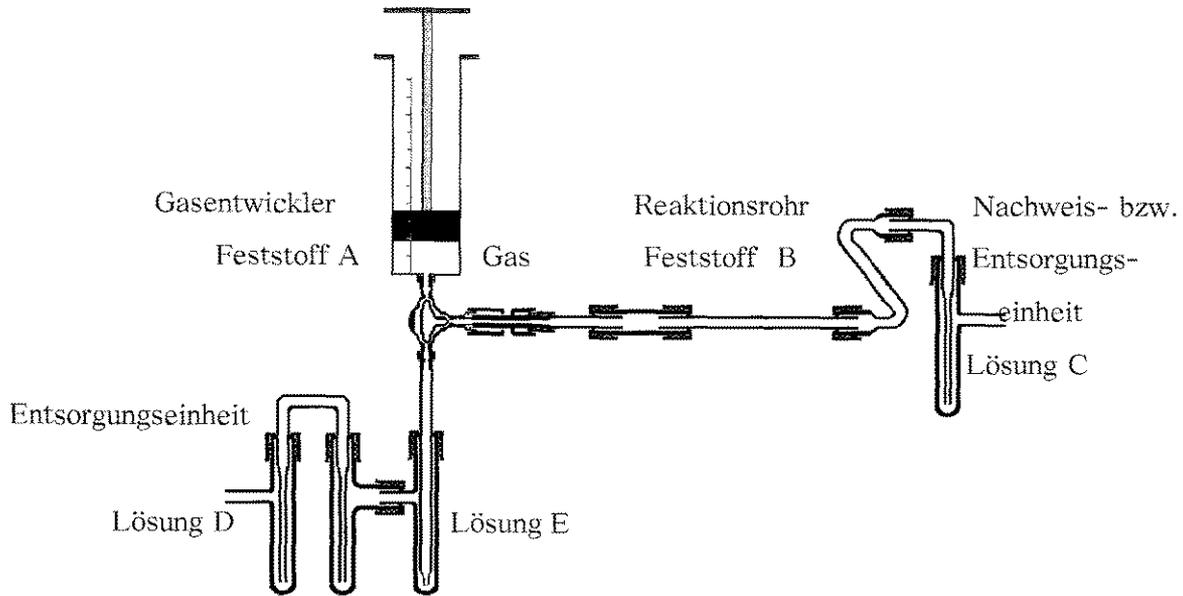
**Beispiele:**

- 1) Magnesium reagiert mit Schwefelsäure zu Wasserstoff und Magnesium-Salzen.
- 2) Marmor reagiert mit Schwefelsäure zu Kohlenstoffdioxid und Calciumsulfat

3.5.6 Umsetzung einer Flüssigkeit mit einem Feststoff unter Bildung eines giftigen Gases.

Weitere Untersuchung des Gases durch Reaktion mit einem Feststoff

**Experiment:**



Gerät: AP043 Basis + Ausbau I + II

**Chemikalien:**

Feststoff A: z.B. 200 mg Eisensulfid in Stücken

Feststoff B: entfällt hier

Lösung C (Zur Entsorgung oder Nachweis): Natronlauge

Entsorgungslösung D: Natronlauge

Lösung E: Salzsäure

**Durchführung:**

Zusammenbau nach Skizze.

Der Stempel des Kolbenprobers wird entfernt. Die äußere Gaswaschflasche der Entsorgungseinheit füllt man mit ca. 4 ml einer Lösung, die das durch Reaktion das Austreten des giftigen Gases sicher verhindert. In das Reaktionsrohr gibt man den Feststoff B und fixiert ihn mit Glas- bzw. Quarzwolle je nach Material des Reaktionsrohres. In die abschließende Nachweiseinheit gibt man ca. 2 ml Reagenzlösung C, die beim Freiwerden eines giftigen Gases auch als Entsorgungslösung fungieren muß. Sollte das nicht zu erreichen sein, schließt man die Apparatur mit einem Kolbenprober als Reservevolumen ab (nicht in der Abbildung vorgesehen). - Durch Saugen am Kolbenprober bei der jeweiligen Stellung des Dreiwegehahns überzeugt man sich von der Dichtigkeit der beiden Apparaturzweige.

In den Kolben legt man den Feststoff A, der nicht durch die Austrittsöffnung passen darf. Anschließend wird der Kolben wieder eingesetzt, bis zum Grund geschoben und über den Dreiwegehahn in das Reaktionsgefäß eingesetzt. Im Reaktionsgefäß befindet sich die Lösung E. Nun stellt man mit dem Dreiwegehahn eine Verbindung des Kolbenprober mit der Lösung E ein und saugt die Lösung nach und nach an. Das entstehende Gas preßt die Flüssigkeit wieder aus dem Kolbenprober, so daß durch weiteres Ziehen am Kolben die gewünschte Gasportion bis max. 60 ml erzeugt werden kann.

Anschließend verbindet man durch den Dreiwegehahn den Kolbenprober mit dem Reaktionsrohr und leitet das Gas über den Feststoff B. Die austretenden Gase werden mit der Lösung C untersucht.

**Anmerkung:**

Beim Ansaugen darf keine Luft in den Kolbenprober gelangen. Anders als beim KIPP-schen Gasentwickler geschieht die Gasentwicklung diskontinuierlich. Benötigt man größere Gasvolumen bis 100 ml, so stehen auch Kunststoffkolbenprober bis 100 ml Fassungsvermögen zur Verfügung.

**Beispiele:**

- 1) Eisensulfid reagiert mit Salzsäure unter Bildung von Schwefelwasserstoff. Schwefelwasserstoff läßt sich thermisch in Schwefel und Wasserstoff zerlegen. Überschüssiger Schwefelwasserstoff kann durch Natriumthiosulfat-Lösung entsorgt werden.
- 2) Magnesium reagiert mit Schwefelsäure unter Bildung von Wasserstoff. Wasserstoff reagiert mit Lithium unter Bildung von sehr voluminösen Lithiumhydrid.
- 3) Calciumhypochlorit reagiert mit Salzsäure unter Bildung von Chlor, das sich mit Eisen zu Eisen(II)-chlorid verbindet.

### 3.6 Fest + fest --> ...

#### 3.6.1 Zersetzung eines Feststoffes durch Erhitzen und Auffangen des gasförmigen Reaktionsproduktes

##### **Experiment:**

{6803} 1 Glasrohr, d=8mm

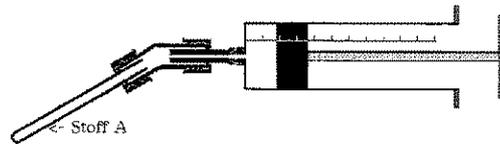
{2206} 1 gebogenes Verbindungsstück

{3001} 2 Schraubkappen GL18 mit Loch

{3005} 2 FIFE-Dichtungen GL18 mit Loch d=8mm

{4300} 1 Kolbenprober-Ansatz, Luer d=8mm

{4204} 1 Kolbenprober 50ml



Gerät: AP001 Aufbau I

##### **Chemikalien:**

Stoff A: z.B. etwa 200 mg Kaliumnitrat

##### **Durchführung:**

Die Apparatur wird nach Skizze zusammgebaut. Man überprüft die Dichtigkeit der Apparatur, indem man kräftig am Stempel des Kolbenprobers saugt. Hierbei darf auch nach längerer Zeit keine Luft eintreten. - Anschließend gibt man Stoff A etwa 3 cm in das Glühröhr und erhitzt mit dem Gasbrenner. Beginnt der Stoff A sich zu zersetzen, saugt man durch Ziehen am Stempel des Kolbenprobers langsam entstehende Gase in den Kolbenprober. - Das Gas des Kolbenprobers kann dann weiter untersucht werden.

##### **Beispiele:**

- 1) Kaliumnitrat zersetzt sich beim Erhitzen in Kaliumnitrit und Sauerstoff.
- 2) Kaliumpermanganat zersetzt sich beim Erhitzen unter Abgabe von Sauerstoff.

## 3.6.2 Zersetzung eines Feststoffes und Auffangen eines leicht kondensierenden Gases

**Experiment:**

{6803} 1 Glasrohr,  $d=8\text{mm}$ , alternativ Quarzrohr oder Glühkugel

{2201} 1 gerades Verbindungsstück

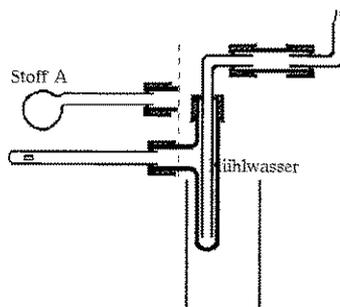
{3001} 4 Schraubkappen GL18 mit Loch

{3005} 4 PTFE-Dichtungen GL18 mit Loch  $d=8\text{mm}$

{4300} 1 Reagenzglas 2\*GL18

{6001} 1 kurzes Glasrohr mit Spitze

{ } 1 Becherglas 100ml



Gerät: AP044 Basis + Aufbau I

**Chemikalien:**

Stoff A: z.B. etwa 400 mg blaues Kupfersulfat

**Durchführung:**

Die Apparatur wird nach Skizze zusammengesetzt. In das Becherglas gibt je nach Kondensationsbedingung Kühlflüssigkeit. Zur Kondensation von Wasserdampf reicht Leitungswasser. Das Material des Glührohres wird je nach Zersetzungstemperatur ausgewählt. Für die Zersetzung von Kupfersulfat-5-Hydrat reicht einfaches Laborglas, besser ist die Verwendung von DURAN-Glas. Will man die Siedetemperatur des flüssigen Pyrolyseprodukts bestimmen, muß man ca. 6 Tropfen Kondensat erhalten.

Man gibt füllt mit dem Stoff A das Glührohr zu etwa 3 cm und erhitzt mit dem Gasbrenner langsam und gleichmäßig. Beginnt der Stoff A sich zu zersetzen, erwärmt man das Glührohr vorsichtig auf der ganzen Länge. Dazu darf das Glührohr nur etwa 3mm in die Kühlfalle ragen. Die Schraubkappen vertragen eine Erwärmung bis ca.  $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ohne sich zu verziehen.

**Beispiele:**

- 1) s.o. blaues Kupfersulfat zersetzt sich beim Erwärmen in weißes Kupfersulfat und Wasser.
- 2) Sägespäne zersetzen sich beim Glühen unter Luftabschluß zu Holzkohle, Holzteer mit Wasser und brennbaren Gasen (Holzgas).

### 3.6.3 Reaktion eines Feststoffes mit einem Feststoff und Auffangen des gasförmigen Reaktionsproduktes

#### **Experiment:**

{6803} 1 Glasrohr, d=8mm

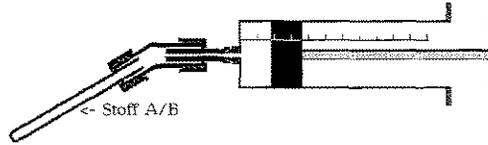
{2206} 1 gebogenes Verbindungsstück

{3001} 2 Schraubkappen GL18 mit Loch

{3005} 2 PTFE-Dichtungen GL18 mit Loch d=8mm

{4300} 1 Kolbenprober-Ansatz, Luer d=8mm

{4204} 1 Kolbenprober 50ml



Gerät: AP001 Aufbau I

#### **Chemikalien:**

Stoffgemisch A/B: z.B. etwa 300 mg Eisenpulver/Natriumhydroxid

#### **Durchführung:**

Die Apparatur wird nach Skizze zusammengebaut. Man überprüft die Dichtigkeit der Apparatur, indem man kräftig am Stempel des Kolbenprobers saugt. Hierbei darf auch nach längerer Zeit keine Luft eintreten. - Anschließend gibt man das Stoffgemisch Stoff A/B etwa 3 cm in das Glühröhr und erhitzt mit dem Gasbrenner. Beginnt das Stoffgemisch A/B zu reagieren, saugt man durch Ziehen am Stempel des Kolbenprobers langsam entstehende Gase in den Kolbenprober. - Das Gas des Kolbenprobers kann dann weiter untersucht werden.

#### **Beispiele:**

- 1) s.o. Eisen reagiert mit Natriumhydroxid zu Eisenferrat und Wasserstoff.
- 2) Eisen reagiert mit Schwefel unter Bildung von festem Eisensulfid. Es entstehen nur geringfügigen Mengen von Schwefeldioxid.

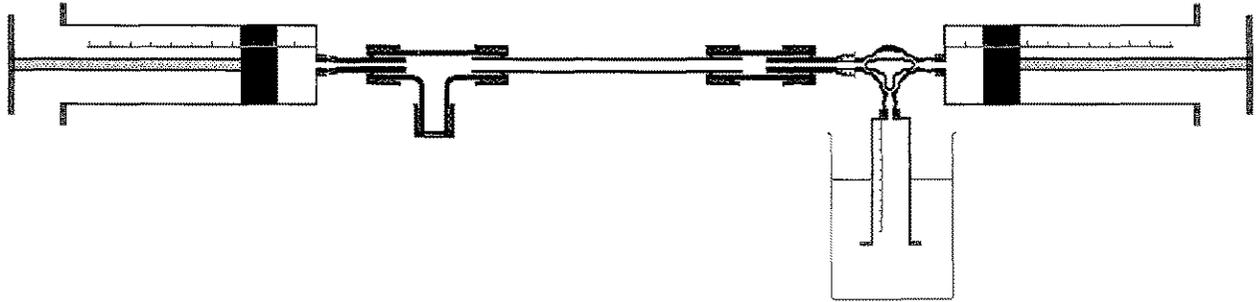
Anhang (Kopiervorlagen)

Apparaturen nach Reaktionsbedingungen geordnet

Agg.: [g] + s > x + [g];

51

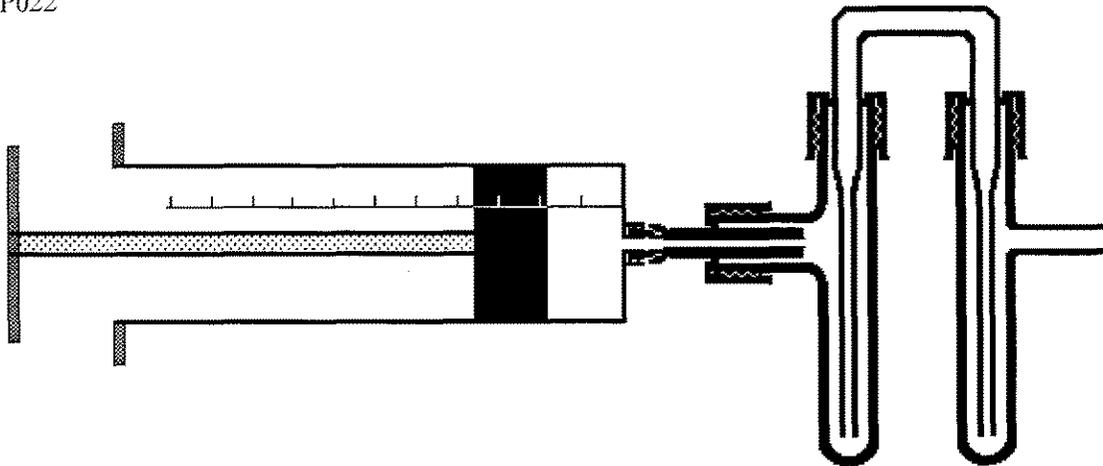
AP037



Agg.: [g] + l > x + g; g->

47

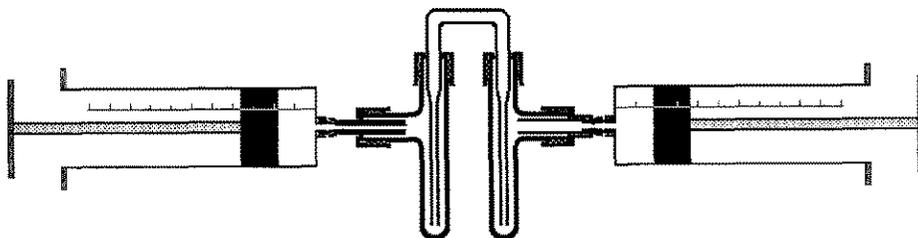
AP022



Agg.: [g] + l > x + [g]

48

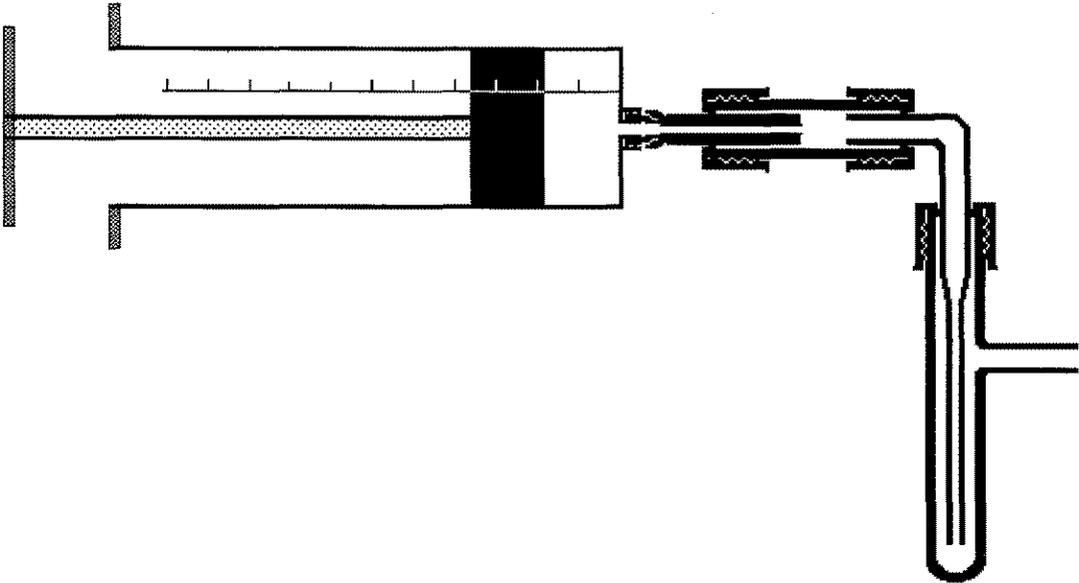
AP002



Agg.: [g] + l > x + g; g->

AP015

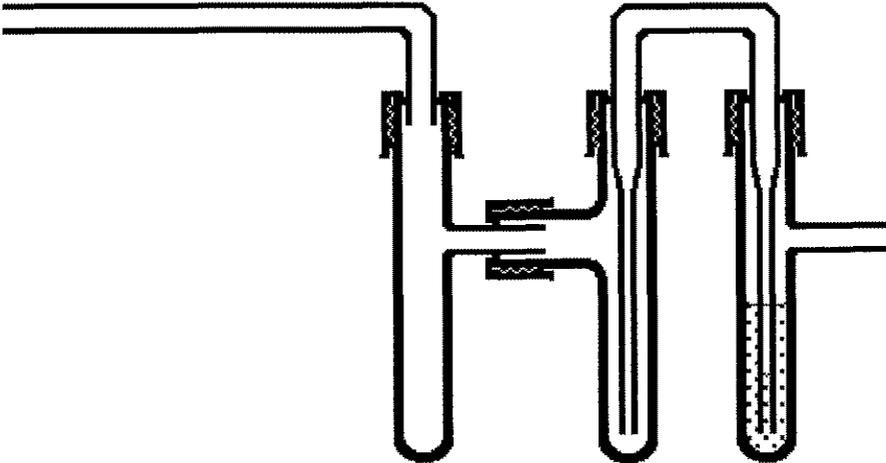
46



Agg.: g + l > x + g; g->

V021

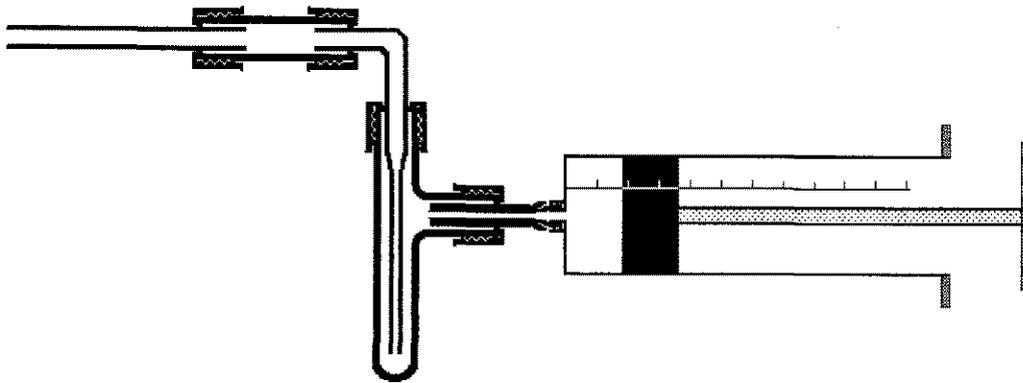
28



Agg.: Luft + s > x + g; g + l > x + [g]

50

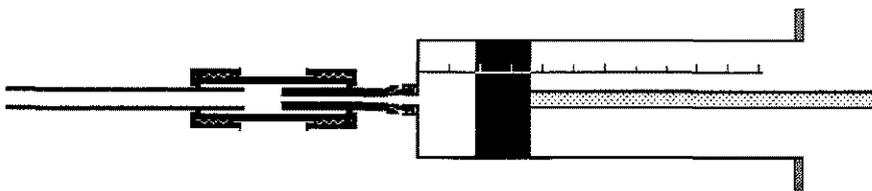
AP014



Agg.: Luft + s > x + [g]

49

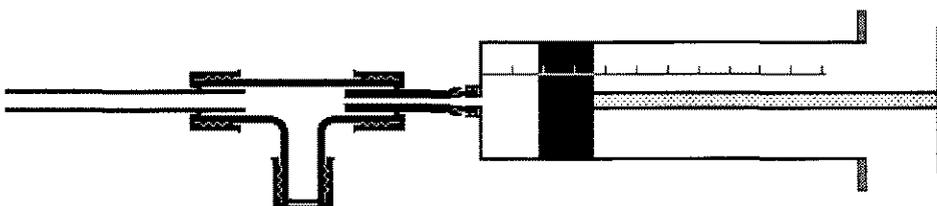
AP013



Agg.: Luft + s > x + [g]

49

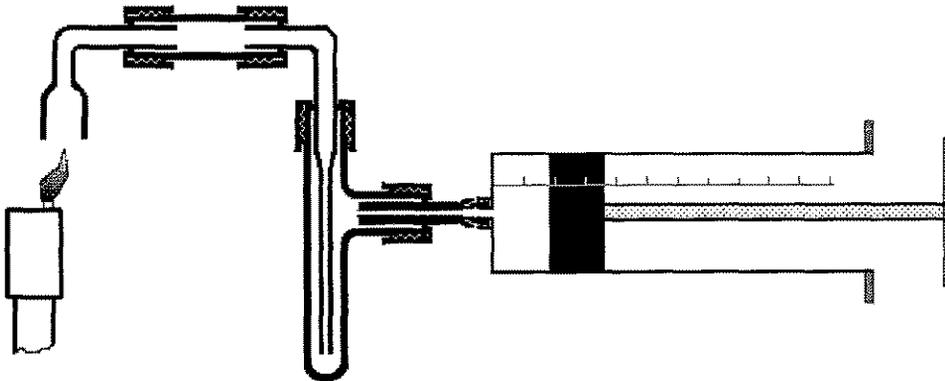
AP026



Agg.: Luft + l > x + [g]

45

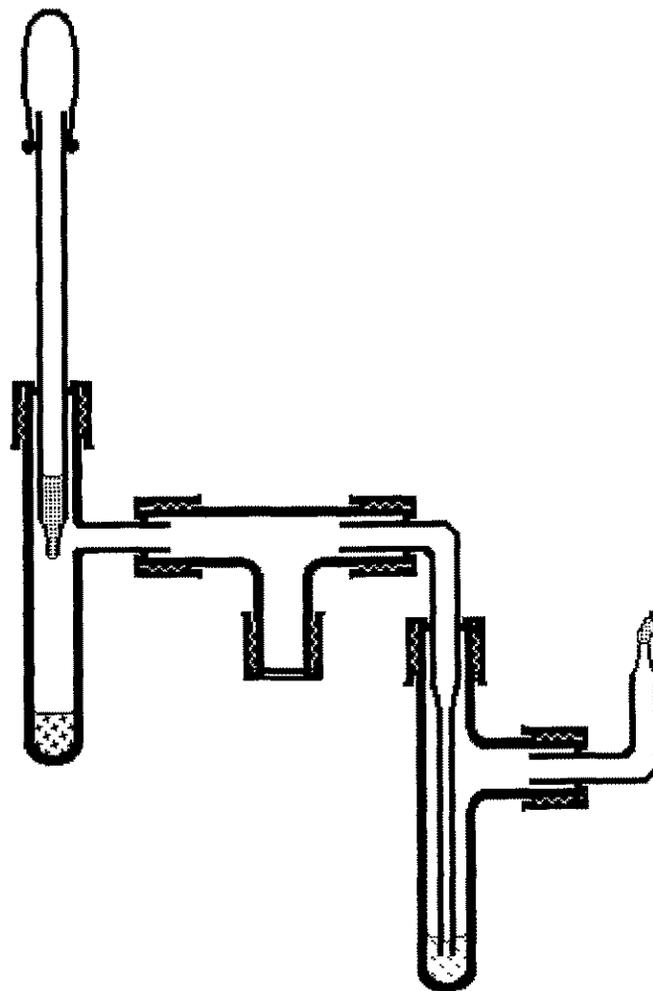
AP016



Agg.: l + l > x + g; g + l > x + g; g + Luft > g; g->

32

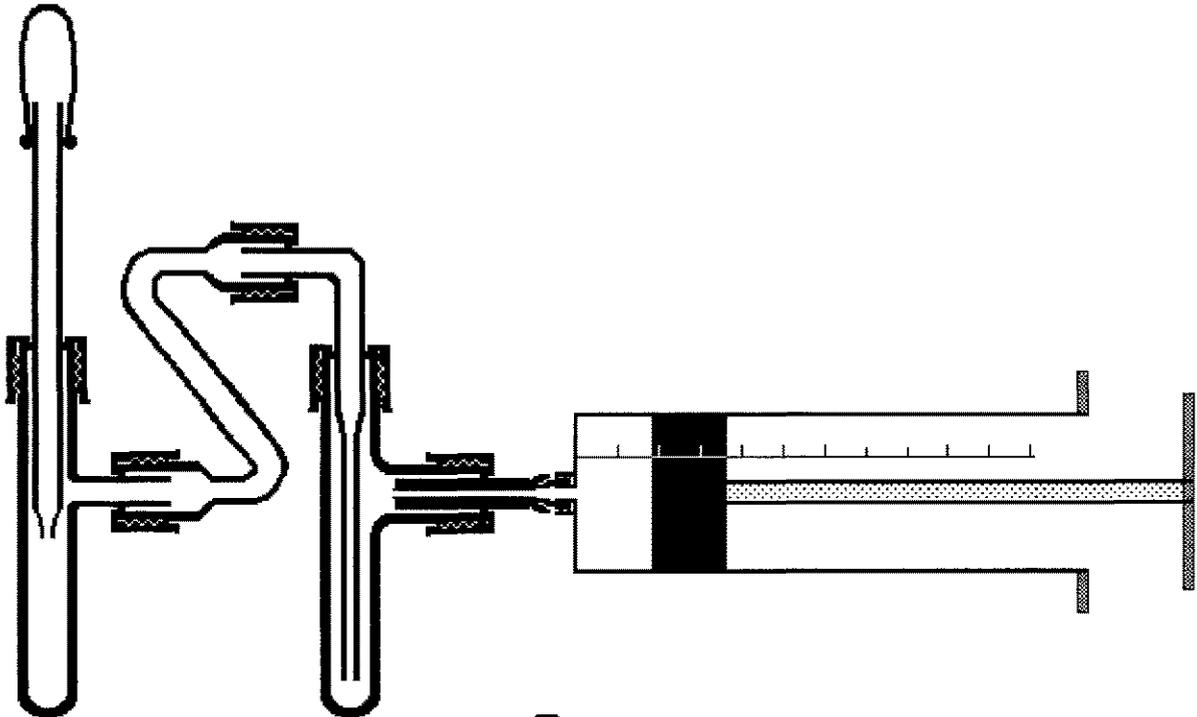
V028



Agg.:  $l + l, s > x + g$ ;  $g + l > x + [g]$

55

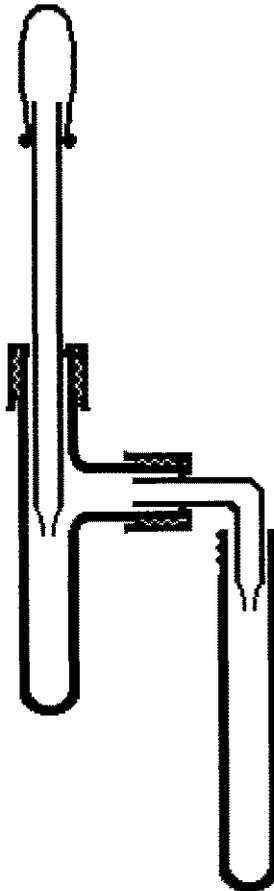
AP005



Agg.:  $l + l, s > x + g$ ;  $g \rightarrow$

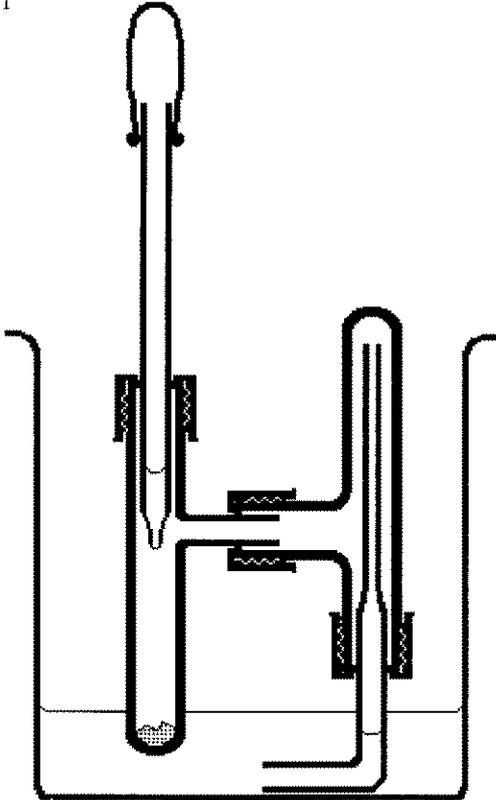
52

AP010



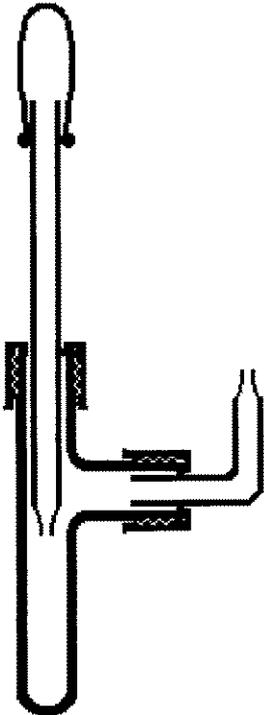
Agg.:  $l + l, s > x + g$ ;  $g + l > l$   
V003

30



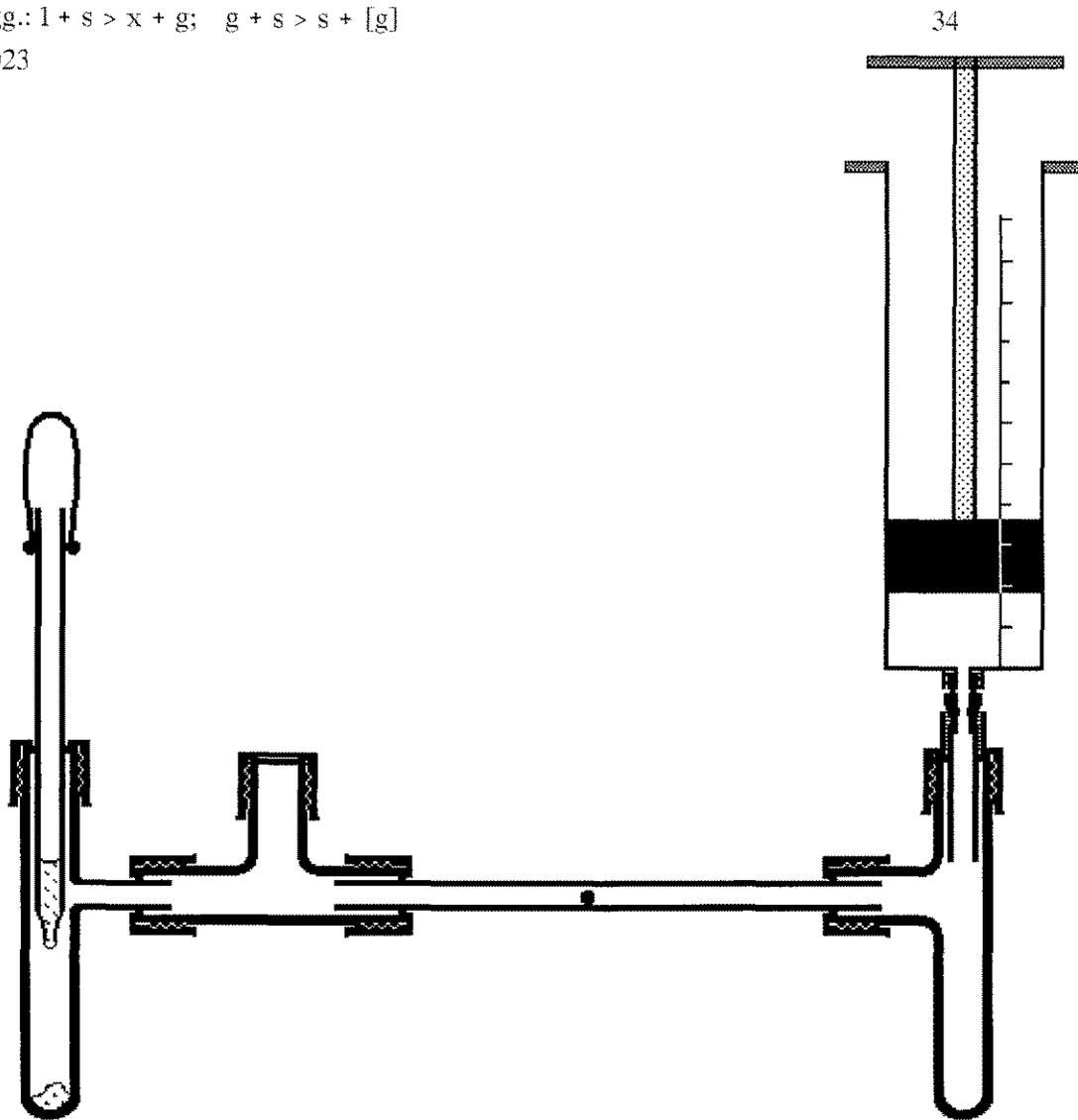
Agg.:  $l + l, s > x + g$ ;  $g \rightarrow$   
AP009

54



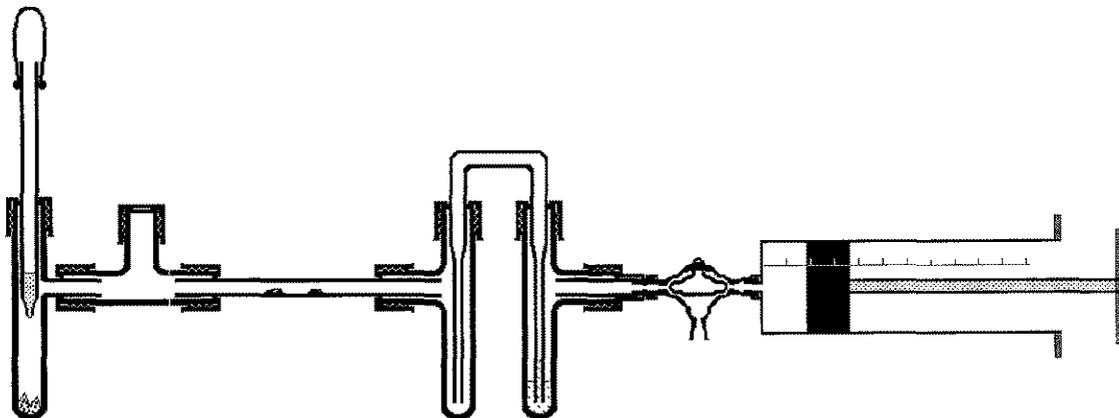
Agg.:  $l + s > x + g$ ;  $g + s > s + [g]$

V023



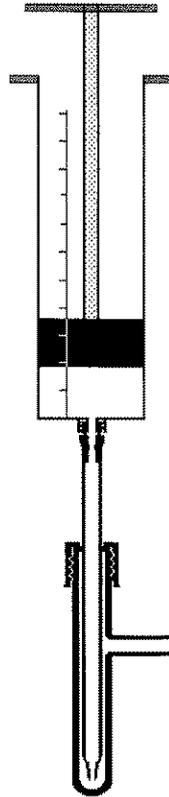
Agg.:  $l + s > x + g$ ;  $g + s > x + g$ ;  $g + l > x + [g]$ ;

V029



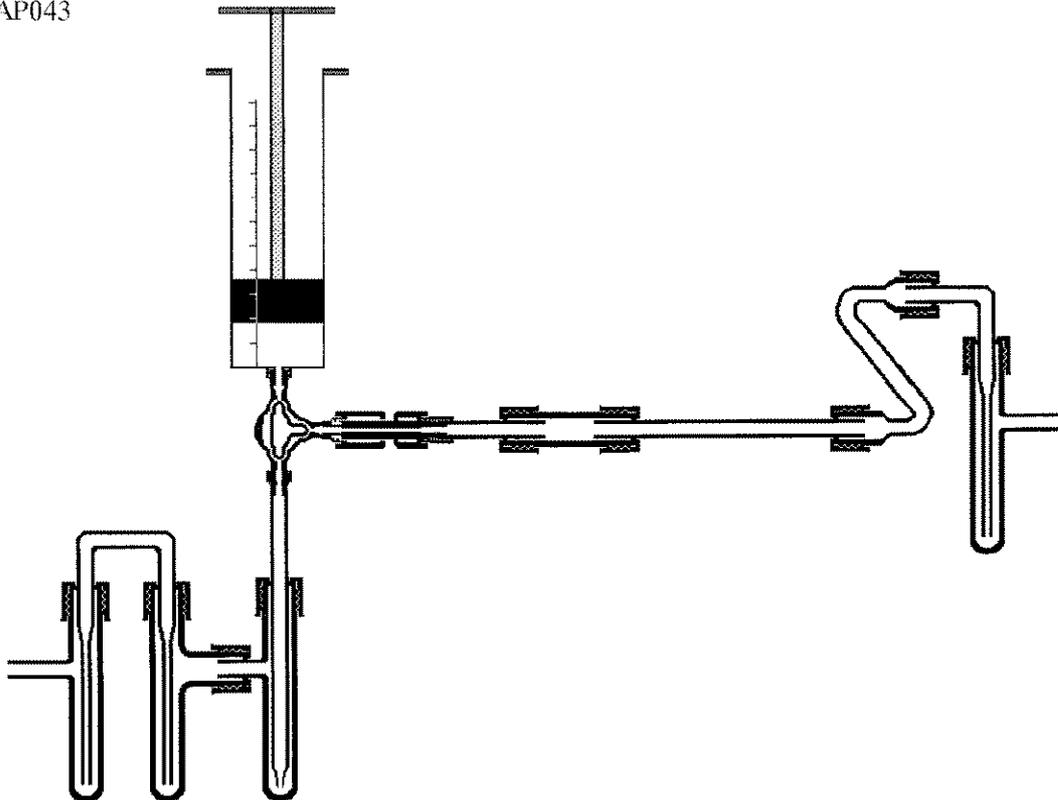
Agg.:  $l + s > x + g$ ; [g]  
AP042

57



Agg.:  $l + s > x + g$ ; [g] + s  $\rightarrow$  x + g; g + l  $\rightarrow$  x + g; gg  $\rightarrow$   
AP043

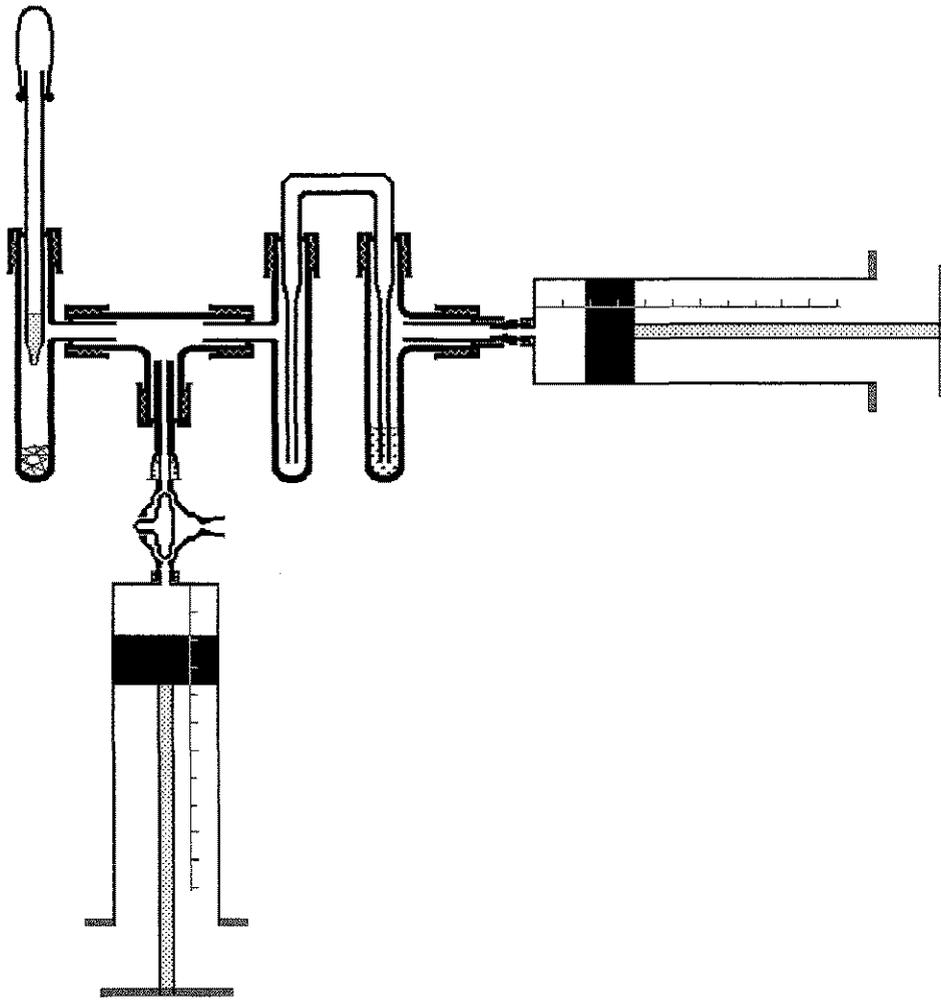
58



Agg.:  $l + s > x + g$ ;  $[g]$ ;  $g + l > x + [g]$ ;

42

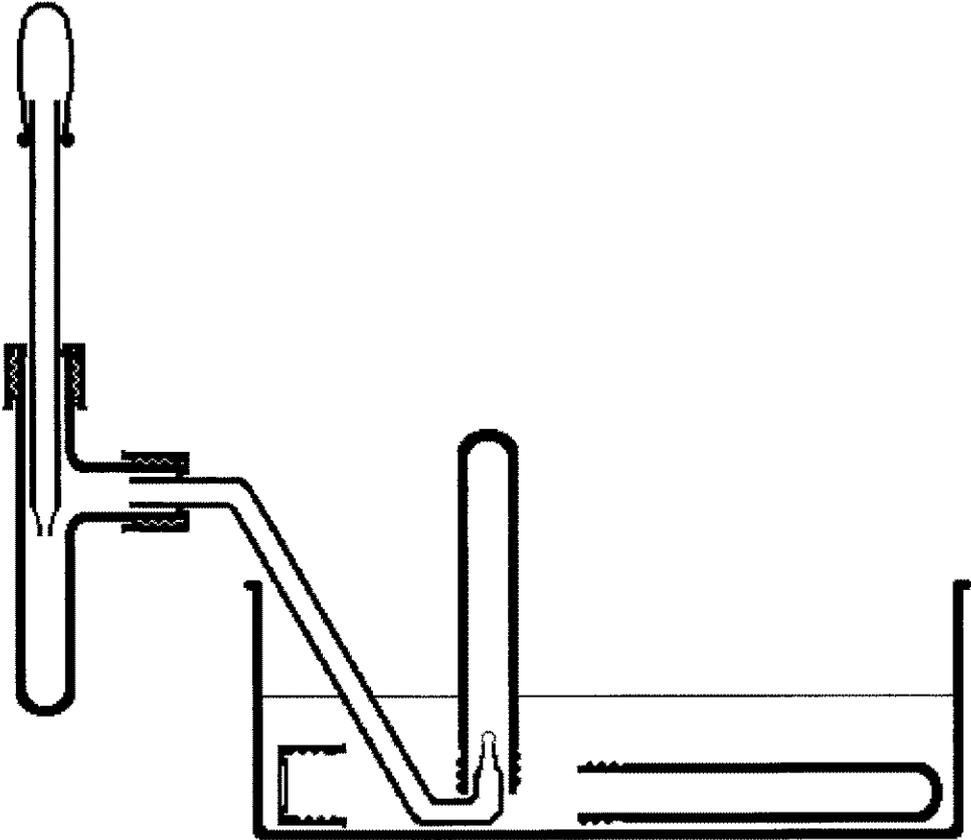
V025



Agg.: 1 + s > x + [g]

22

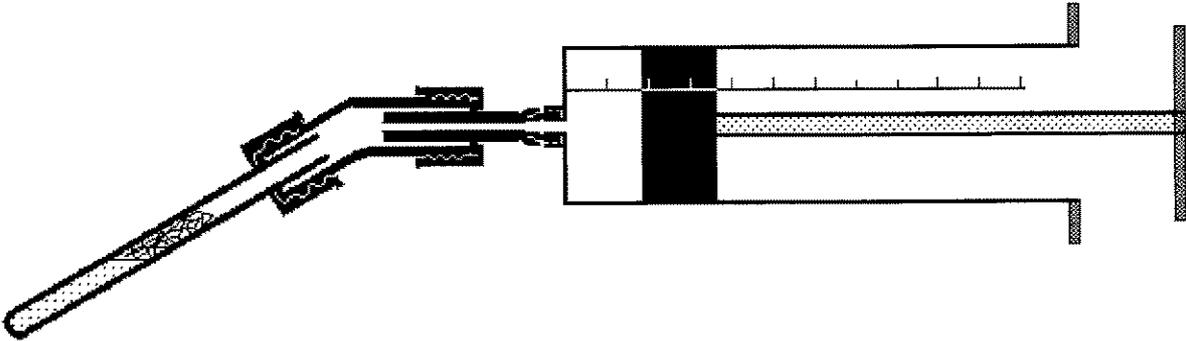
V011



Agg.: 1 + s > x + [g]

53

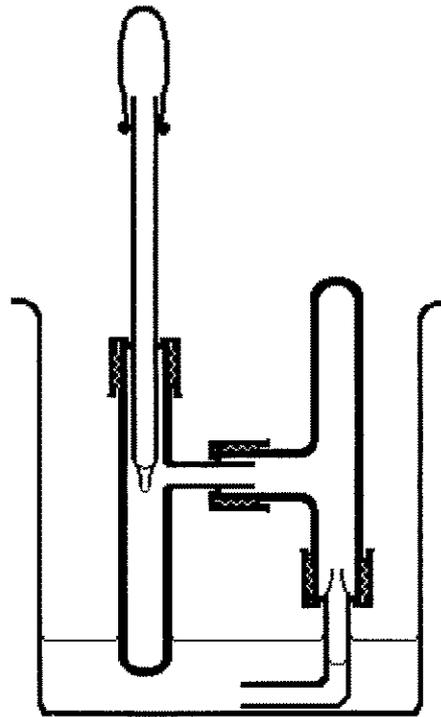
V001



Agg.:  $1 + s > x + [g]$

AP004

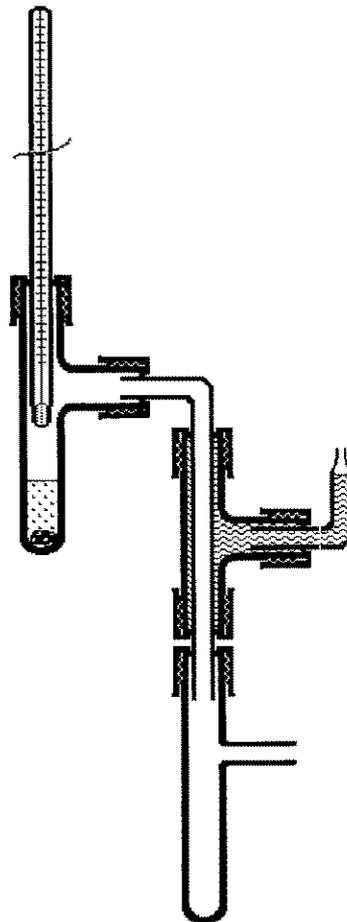
56



Agg.:  $1 > x + [g]; [g] > [l]$

V019

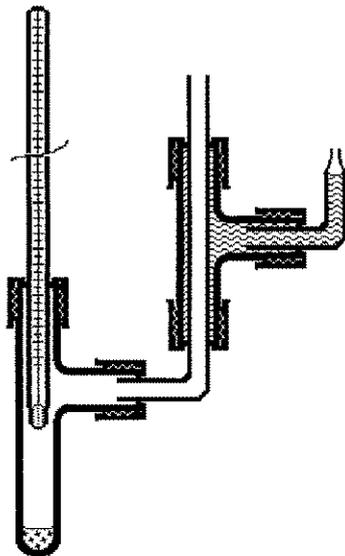
26



Agg.:  $l > [g]$ ;  $[g] > l$

24

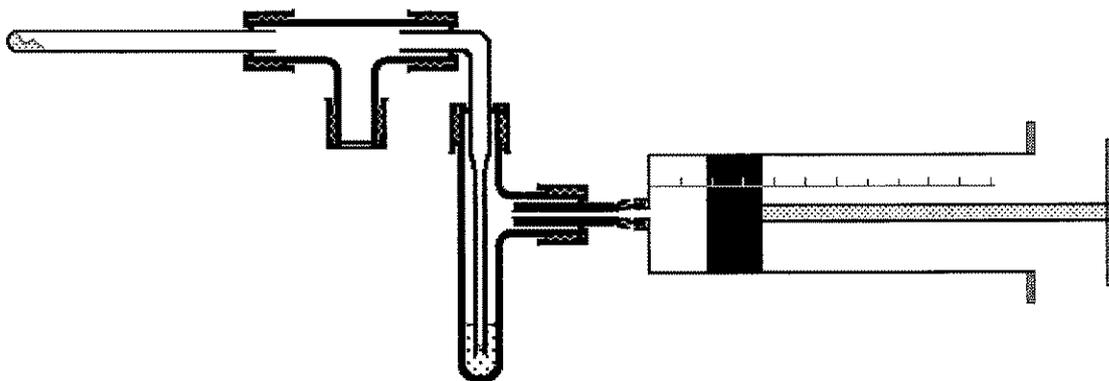
V018



Agg.:  $s + E > s + g$ ;  $g + l > x + [g]$

40

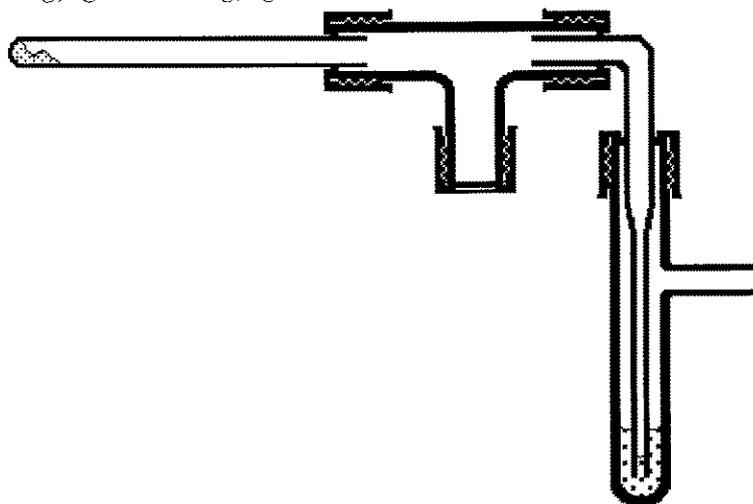
V017



Agg.:  $s + E > s + g$ ;  $g + l > x + g$ ;  $g \rightarrow$

20

V020



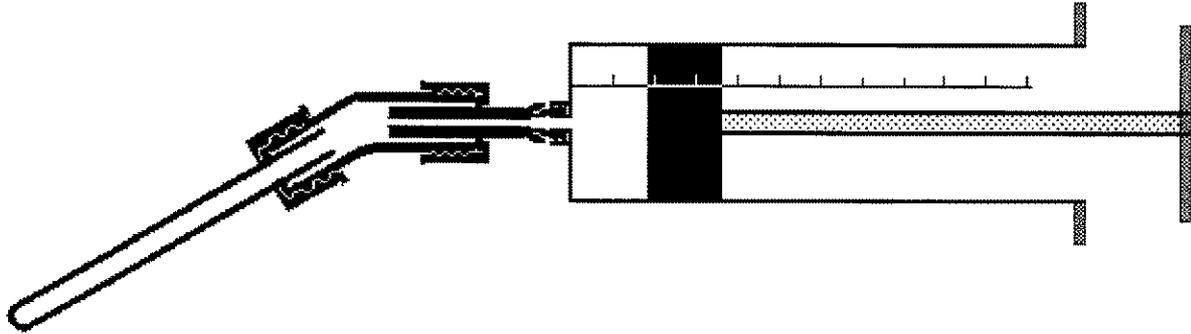
Agg.: s + E > x + [g]

60

Agg.: s + s > x + [g]

62

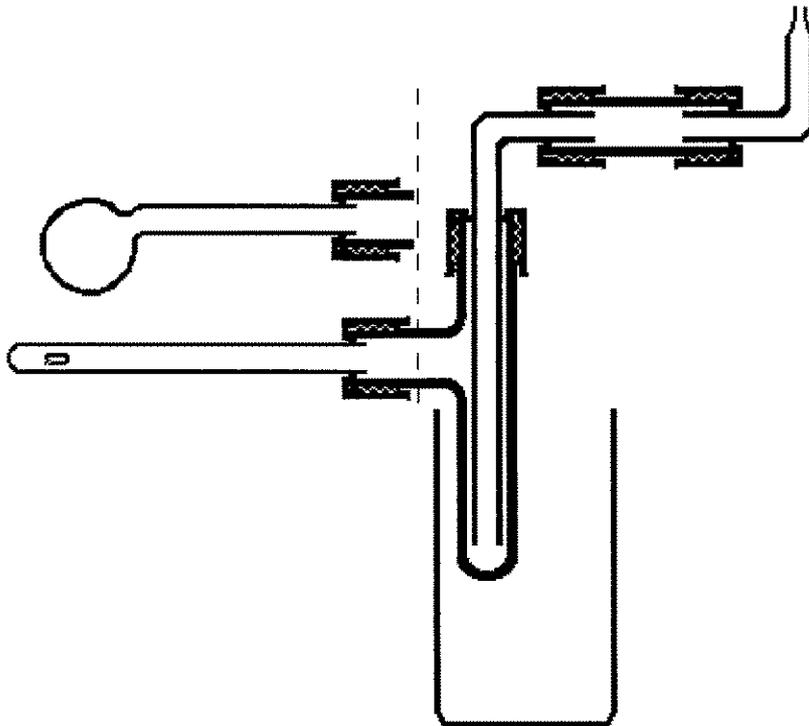
AP001



Agg.: s > l + g; g->

61

AP044





# Der Energie-Erhaltungssatz und seine Bedeutung für Chemie und Unterricht

Klaus-G. Häusler

Vorwort

1 Die Situation der Chemie	3
1.1 Die Probleme der technischen Chemie	3
1.2 Die Aufgaben der wissenschaftlichen Chemie	5
2 Der Energie-Erhaltungssatz und seine Bedeutung für den Umgang mit Chemie	7
2.1 Der Energie-Erhaltungssatz als Grundlage des chemischen Gleichgewichtes	7
2.2 Der Stoffwechsel als Grundlage des Lebens	11
2.3 Chemischer Reaktionen mit akademischer Fragestellung	13
2.4 Chemische Reaktionen mit technischer-industrieller Zielsetzung	15
3 Das Ziel von Chemieunterricht	19

Literatur

Danksagung

## Vorwort

Die Abhandlung hat das Ziel,

- über die Bedeutung des Energie-Erhaltungssatzes zum Verständnis der Existenz chemischer Gleichgewichte,
- und der Notwendigkeit, diese zu erhalten,
- durch Verwendung geschlossener und teilgeschlossener Systeme,
  - verbunden mit der Möglichkeit durch Einsatz der Halbmikrotechnik diese Ziele unterrichten zu können, wobei
    - durch Stoffminimierung Versorgung, Entsorgung und Gefährdung minimiert wird und
- Schülerinnen und Schüler durch eigenes Tun auch die Verantwortung für ihr Handeln übernehmen lernen.

Wie man der umfassenden Zielvorstellung des Themas entnehmen kann, ist es schwierig, eine kurze, für die Interessierten alle Fachrichtungen lesbare Fassung zu schreiben. Eine weitere Aufspaltung der Thematik ist meiner Meinung nicht möglich, ohne daß Einzelfeststellungen entstehen, die für sich genommen trivial sind. Zusammengenommen ist die Thematik ein Versuch, die Basis für ein zeitgemäßes Chemie-Verständnis zu legen.

Auf eine weitere Unterscheidung von Stoff und Chemikalie wurde an dieser Stelle verzichtet. Sie ist schon seit Paracelsus bekannt und macht weitere Differenzierung der chemischen Gleichgewichte in Stoff-Systemen nach Vorkommen, Verteilung, Konzentration, Einwirkungszeit und Substrat nötig. In folgenden Ausarbeitungen möchte ich darauf eingehen, wobei ich wieder Beispiele von Halbmikroexperimenten vorstellen möchte.

## 1 Die Situation der Chemie

### 1.1 Die Probleme der technischen Chemie

Ohne Zweifel hat die Gefahrstoffverordnung für den Chemieunterricht Zeichen gesetzt. Sie spiegelt die Reaktion der Gesellschaft auf das steigende Unbehagen bei der Nutzung der Chemieprodukte wider.

Große Teile gegenwärtiger Umweltprobleme werden der technischen Chemie angelastet. Die chemische Industrie ist sich des Imageverlustes bewußt, obgleich sie auf unbestrittene Erfolge bei der Bewältigung einer Vielzahl von Problemen der Massengesellschaft verweisen kann [1]. Die Ursachen der Technikkritik beschreibt SIEFERLE [2] nach einer Analyse auf der Basis historischer Betrachtungen so:

Es ist wenig wahrscheinlich, daß die vielfachen ökologisch relevanten Aktivitäten der Menschheit sich genau in der Weise neutralisieren, daß diejenigen umweltrelevanten Zustände erhalten bleiben, die vor diesen Eingriffen existierten und deren weitere Existenz für das menschliche Leben wünschenswert ist. Zugleich scheint heute der Versuch wenig erfolgträchtig, künstlich solche erwünschten (ökologischen, klimatischen, atmosphärischen und so weiter) Bedingungen wiederherzustellen, da die betroffenen Systeme zu komplex und zu groß sind, um wirklich verstanden, geschweige kontrolliert und gemanagt werden können. Zugleich zeichnet sich kein einfacher Weg ab, wie die Funktionslogik etwa der Industrie auf die Implementierung ökologischer Randbedingungen ausgerichtet werden könnte, ohne deren Funktionsweise, was ihre eigenen Zwecke betrifft, zu stören oder gar lahmzulegen. Das Problem liegt also in der mittleren Reichweite der heutigen industriellen Technik. Sie ist einerseits kompetent genug, um die natürliche Pufferungskapazität der Biosphäre zu überschreiten, gleichzeitig aber der Aufgabe nicht gewachsen, das Ganze der Naturzusammenhänge zu berücksichtigen.

Damit wird die Situation der industriellen Nutzung von Chemie eingebettet in die Problematik der Technikanwendungen überhaupt, wie sie von JONAS [3] aufgezeigt wurde. JONAS stellt fest, daß Technik notwendig ist,

weil durch sie erst die Lebensbedingungen für den Menschen insbesondere in unseren Breiten geschaffen werden. Der Einfluß der Technik erreicht durch die zunehmende Industrialisierung globale Dimension; dadurch gerät die Natur in den menschlichen Verantwortungsbereich. Größenordnung, Unumkehrbarkeit, Langzeitwirkung, kumulativer Charakter, positive Rückkopplung des technischen Handelns verlangen nach JONAS eine Ethik, die in ihrer Wirkung über den kategorischen Imperativ Kants hinaus auch die Verantwortung für künftige Generationen berücksichtigen muß. Offen bleibt die Frage, ob überhaupt und wie die Chemie als Naturwissenschaft einen Beitrag zur Lösung dieser Aufgabe leisten kann.

Zu verschiedenen Zeiten empfand die Gesellschaft den technischen Fortschritt als Hoffnung oder Bedrohung. Das hängt davon ab, in welcher Weise Gesellschaft und Technik aufeinander einwirken. SIEFERLE [4] bemerkt dazu:

Nun scheinen kulturelle Prozesse anderen Imperativen zu folgen als die technisch-industrielle Entwicklung. Aus der Perspektive der chemischen Industrie erscheint das, was im symbolischen Feld Kultur geschieht, als bloße Störung >>von außen<<, die nach den Regeln, die innerhalb des eigenen Systems gelten, verarbeitet werden müssen. Umgekehrt gilt für den kulturellen Bereich die Dynamik der Technik ebenfalls als Störung, auf die man in der eigenen Sprache reagieren muß, wobei ein Verständnis von keiner der beiden Seiten garantiert ist. ...

... Da die Welt jedoch eine Einheit bildet, kommt man nicht umhin, die Realität dessen zu akzeptieren, was in fremden sozialen Teilbereichen geschieht, und zu versuchen, in der jeweils angemessenen Sprache und Vorstellungsform seine Position zu vertreten, mit dem Ziel, Technik, Industrie und Kultur in einen Kommunikationsprozeß einzubinden.

Mißverstehen und gegenseitige Schuldzuweisungen [5] lösen das Problem nicht. Technik und damit auch die industrielle Chemie ist immer auch Teil der Gesellschaft und muß darum auch als gesellschaftliches System mit anderen kommunizieren. Um ein solches Gespräch in Gang zu halten und Mißverständnisse zu vermeiden, ist die Chemie als Wissenschaft gefordert, ihren Beitrag zu leisten.

## 1.2 Die Aufgaben der wissenschaftlichen Chemie

Die wissenschaftliche Chemie sammelt, ordnet und klassifiziert Stoffe nach ihren Eigenschaften und formuliert Gesetze für das Verhalten bei chemischen Umsätzen. Sie selbst kann, da sie sich mehr mit analytischen Fragestellungen befaßt, mit kleinsten Stoffportionen auskommen und vermeidet es damit weitgehend, zum globalen Ökologieproblem beizutragen. Die herausgefundenen Gesetzmäßigkeiten beinhalten jedoch große Lücken, die prinzipiell unvermeidbar sind: Wir beziehen unsere Kenntnis der Natur aus Beobachtungen schon eingetretener Ereignisse; d.h. unser Verständnis der Natur besteht auf dem Erkennen wiederkehrender Muster und deren algorithmischer Kompression[6]. Die Mängel bei der Formulierung von Gesetzmäßigkeiten bestehen darin, daß 1. bei der Kompression Daten vereinfacht werden müssen, 2. nicht alle Beobachtungen komprimierbar sind. Für die Beurteilung von zukünftigen Auswirkungen kommen noch zwei weitere gravierende 'Beschränktheiten' der Menschheit hinzu: 1. der Mangel an Denkkapazität, 2. Das Fehlen der Kenntnis aller möglichen Naturgesetze.

Welche Möglichkeit hat die Wissenschaft aber dann, die negative Auswirkungen der Technisierung in Grenzen zu halten? Sie besteht darin, existierende natürliche Gleichgewichte zu erkennen. Bislang wurden für jede Abweichung vom natürlichen Gleichgewicht evolutionäre Zeiträume zur Angepaßtheit des Lebens benötigt. Nun besteht die Gefahr, daß die Menschheit trotz ihres geringen Wissens um die Zusammenhänge eine Anpassung in global gesehen kurzen Zeiträumen erzwingt. Es resultiert die wissenschaftlich begründete Folgerung, möglichst dicht an den bestehenden Gleichgewichten zu leben.

Auffällig ist die Philosophieferne der Chemie. 'Weltbilder' scheinen nur von der Physik und neuerdings auch der Biologie angeregt worden zu sein[7]. Von Beginn der chemischen Forschung an war es das erklärte Ziel, aus den Erkenntnissen stofflichen Nutzen ziehen zu wollen. Auf diese Weise befand sich der Begriff "(Stoff-)Umsatz" immer in unmittelbarer Nähe zum "Profit" und dem "Gewinn". So wurde der Energie-Erhaltungssatz, schrittweise und zeitgleich mit der Entwicklung der chemischen Industrie um 1860 entdeckt, im wesentlichen nur in ökonomischer Hinsicht ausgewertet. Die zur Herstellung eines chemischen Produktes notwendige Energie konnte mit physikalischen Prinzipien erfaßt werden. Auf diese Weise war es möglich, die Kosten für die Energiebeschaffung zu senken. Im folgenden soll gezeigt werden, daß der Energie-Erhaltungssatz auch ökologische Bedeutung besitzt. Diese wird augenfällig, wenn man die im

Energie-Erhaltungssatz enthaltene Komponente "chemische Energie" in ihrer stofflichen Konsequenz betrachtet. Man erkennt dann, daß dem natürlichen Zustand unserer Umgebung chemische Gleichgewichtsprozesse zugrunde liegen. Diese gilt es zu verstehen, will man chemische Reaktionen zum Wohle aller Menschen verantwortlich nutzen.

Inzwischen ist wohl jeder Mensch auf die Produkte der industriellen Chemie angewiesen, seien es Düngemittel, Fasern, pharmazeutische Produkte. Es macht daher Sinn, auch in der allgemeinen Bildung den Stellenwert von chemischen Kenntnissen jedermann elementar verständlich zu machen. In einem zeitgemäßen Chemieunterricht kommt dem Energie-Erhaltungssatz und dem Bewußtsein der Existenz natürlicher chemischer Gleichgewichte dabei eine Schlüsselposition zu. An vier Experimenten für die Schule in Halbmikrotechnik sollen die Zusammenhänge von chemischem Gleichgewicht, Stoffwechsel, Erkenntnisgewinn und industriellem Nutzen erarbeitet werden.

## 2 Der Energie-Erhaltungssatz und seine Bedeutung für den Umgang mit Chemie

### 2.1 Der Energie-Erhaltungssatz als Grundlage des chemischen Gleichgewichtes

Für den Anfangsunterricht in Chemie ist eine Formulierung nach Art der Newtonschen Axiomatik hilfreich. Dazu wird der erste Hauptsatz der Thermodynamik von zwei weiteren Sätzen eingerahmt. Der erste beschreibt den chemischen Gleichgewichtszustand. Der letzte beschreibt die Reversibilität chemischer Reaktionen. Die anachronistische Formulierung bietet Schülerinnen und Schülern in didaktisch willkommener Weise frühzeitig die Möglichkeit, chemische Reaktionen zu verstehen, vorauszusagen und experimentell zu prüfen.

Axiomatik für chemische Reaktionen:

1. Anorganische Stoffe, die sich lange Zeit unter gleichen Bedingungen berühren, verharren in ihrem chemischen Zustand, solange keine Energie zugeführt oder entzogen wird.
2. Wirkt man von außen auf Stoffe mit Energieänderung ein, so ändert sich die Temperatur, die Verteilung oder die chemischen Bestandteile.
3. Bilden sich in einem geschlossenen System neue Stoffe, dann ist ihre chemische Wirkung entgegengesetzt gleich groß.

In der Naturwissenschaft Chemie müssen Gesetze durch Experimente überprüfbar sein. Dazu holt der Chemiker sozusagen einen Teil der Natur ins Labor und wirkt auf diesen Ausschnitt unter kontrollierten Bedingungen ein (Systembegriff). Im Schulunterricht Chemie soll aber neben der Erkenntnisgewinnung auch die Erziehung zum Denken und Handeln [8] angeregt werden. Handlungsorientierter Unterricht setzt Schülerübungen voraus. Die Methode der Halbmikrotechnik minimiert die verwendeten Stoffportionen, die Gefährdung und die Entsorgung. Geschlossene Apparaturen sind gleichzeitig Mittel und Ziel eines zeitgemäßen Chemieunterrichts und sollten auch in das Bewußtsein der industriellen Chemie Eingang finden.

Experiment: Die thermische Zersetzung von Marmor

Das erste Schülerexperiment befaßt sich mit der thermischen Zersetzung von Marmor. In Vorversuchen haben die Schüler (Klasse 5-6) eine Apparatur (Abb. 1) kennengelernt, mit der man am Beispiel Luft die Ausdehnung von Gasen beim Erwärmen nachweisen kann. Hierbei lernen sie den Volumenbedarf von Stoffen kennen: Wo ein Stoff ist, kann kein anderer sein. Außerdem erkennen sie am Zurücksteigen der Flüssigkeit beim Abkühlen auch die Umkehrung: Wo kein Stoff mehr ist, muß ein anderer den Raum füllen. Dabei könnte das kalte Wasser des Blasenzählers bis zum glühenden Quarzrohr gelangen und zu einer Wasserdampfexplosion führen, die man verhindern muß. Die konstruktive Folgerung ist die Verwendung eines T-Stücks mit ausreichendem Leervolumen als Wasserfalle.

Leitsatz 1: Räume mit stark voneinander abweichenden Bedingungen müssen durch Puffervolumen getrennt werden.

In Vorversuchen der Klasse 7 wurden Pflanzenfarbstoffe auf ihre Reaktion mit Säuren und Laugen untersucht. Hierzu eignen sich Rotkohlsaft, Zitronen- oder Essigsäure, Soda oder Natron. Anschließend wird der technisch hergestellte Säure-Basen-Indikator Bromthymolblau (BTB) eingeführt. BTB eignet sich als Indikator besonders gut, da er drei Farben besitzt und der "Neutralzustand" durch "grün" angezeigt wird. Sowohl mit Wasser allein, wie mit aufgeschlämmtem Marmorpulver und beim Durchleiten von Raumluft ändert sich die grüne Farbe des BTB nicht. (1. Axiom).

Vor dem Befüllen mit Marmor wird die Apparatur (Abb.1) auf Dichtigkeit untersucht. Anschließend wird die Apparatur mit Marmor und BTB-Lösung gefüllt. Beim Erhitzen des Marmors entweicht ein Gas durch die Gaswaschflasche, wobei sich die Farbe allmählich von grün nach gelb ändert. Augenscheinlich bildet sich ein neuer Stoff (2. Axiom).

Aus dem Kunstunterricht wissen die Schülerinnen und Schüler, daß grün die Mischfarbe von blau und gelb ist. Das kann zur Bildung einer Arbeitshypothese herangezogen werden: Der Rückstand des geglühten Marmors sollte mit einer grünen Vergleichslösung von BTB zur Bildung einer Blaufärbung führen, was sich experimentell bestätigt.

*Leitsatz 2: Naturwissenschaftliche Erkenntnisse gewinnt man durch Beobachtung von Unterschieden und Veränderungen.*

Damit ist die Bildung neuer Stoffe als chemische Reaktion durch Energiezufuhr bewiesen. Sie haben die Eigenschaften von Gegenspielern (Antagonisten). Aus den Naturstoffen sind Chemikalien geworden, die in der Natur in der Form nicht gemeinsam vorkommen. Außerdem ist Marmor bei der chemischen Umsetzung "verbraucht" worden: Chemie ist das einzige Schulfach, bei dem Herstellung, Nutzung und "Verbrauch" fundamentales Unterrichtsthema ist.

Nun gilt es diese Chemikalien zu entsorgen. Das geschieht unter Ausnutzung der chemischen Eigenschaften: Gibt man die blaue Lösung des gebildeten Kalkwassers (Lauge) portionsweise zur gelben Lösung von Kohlenstoffdioxid (Säure), so erhält man spontan durch Rückreaktion den Ausgangszustand der grüne Lösung, die Marmorauflösung.

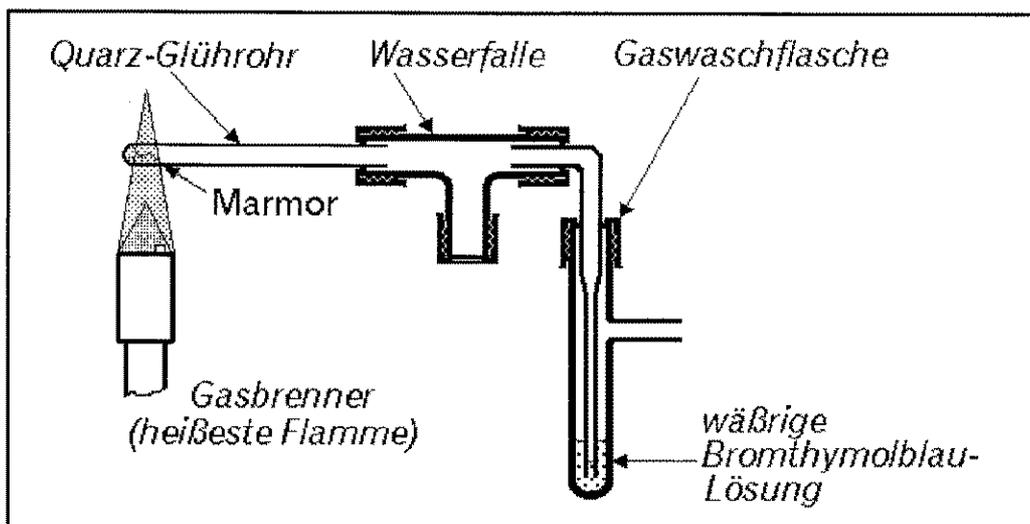


Abb. 1: Apparatur zur thermischen Zersetzung von Marmor

*Leitsatz 3: Chemikalien gelten als entsorgt, wenn sie sich im Zustand des natürlichen Gleichgewichtes befinden.*

Allerdings bleiben bei dieser Vorgehensweise einige Tropfen blaugefärbten Kalkwassers im Reagenzglas zurück. Bei dem Versuch, durch Vereinigen der gesamten Lösungen den Neutralzustand zu erreichen, bleibt die Lösung blau. Das wiederum führt zu der Vermutung, daß ein Teil des Gases, das die Gelbfärbung bewirkte, in die Raumluft

entwichen ist. Somit ist eine Chemikalie freigesetzt worden, die als reaktiver Stoff nun mit der Umwelt weiterreagiert. Als mögliche Reaktionspartner kommen nun die Schülerinnen und Schüler selbst in Betracht, die durch ihre Atmen dieses Gas aufnehmen! Das führt zu zwei Folgerungen: 1. Um zu vermeiden, daß Chemikalien freigesetzt werden, sollte eine geschlossene Apparatur verwendet werden; 2. Das Freiwerden des Gases wurde nicht bemerkt. Ursache könnte sein, daß dieses Gas ohnehin im natürlichen Gleichgewicht der Umwelt vorkommt und daher für unsere Sinne nicht auffällig ist (Leitsatz 2).

Die 1. Folgerung führt zur Verwendung von Apparaturen, die durch ein Reservevolumen, z.B. einen Kolbenprober, abgeschlossen sind (Schematische Apparatur Abb.2).

Die 2. Folgerung macht die Untersuchung der Lebensbedingungen des Menschen nötig, die nicht zu ihrem Nachteil geändert werden dürfen.

*Leitsatz 4: Mit unbekanntem Chemikalien muß in geschlossenen Systemen gearbeitet werden. Das geschlossene System verhindert das Austreten von Stoffen.*

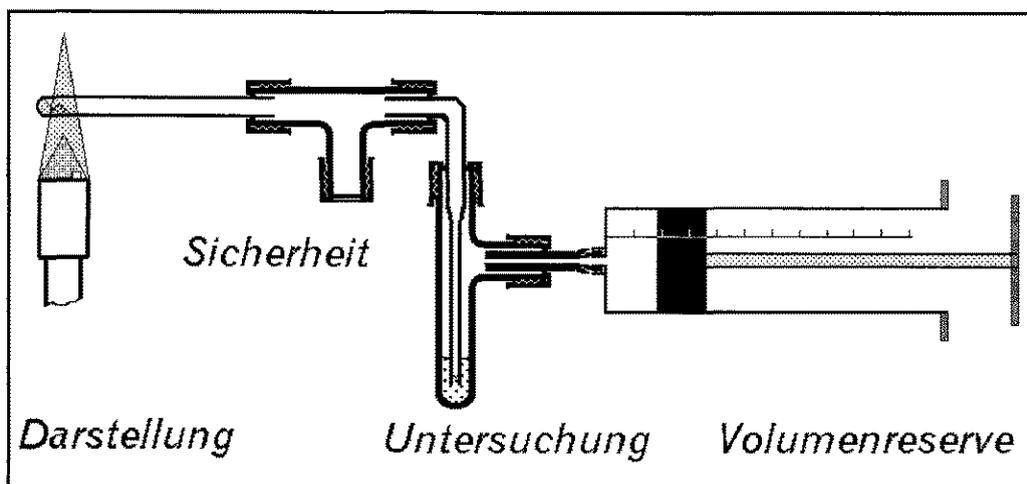


Abb. 2: Geschlossene Apparatur zur Zersetzung von unbekanntem Stoffen

## 2.2 Der Stoffwechsel als Grundlage des Lebens

Die Existenz von Leben ist an sehr spezielle Umweltbedingungen gebunden. Weder auf dem Mond noch in Wüsten oder Polarzonen ist Leben möglich. Dazu sind Licht, Wasser und Luft notwendig, und nur enge Temperaturschwankungen werden toleriert. Daraus kann man chemische Grundsätze für den Fortbestand von Leben ableiten: Zur Aufrechterhaltung von Leben ist ein fortwährender Stoff- und Energieaustausch mit der Umgebung notwendig.

Abweichungen von hergebrachten Lebensbedingungen haben bei schnellen Änderungen Vergiftung (Paracelsus) und bei langsamen Änderungen Anpassung zur Folge (Darwin).

Organische Stoffe, aus denen die Lebewesen bestehen, befinden sich grundsätzlich nicht im chemischen Gleichgewicht. Ohne Stoff- und Energieaustausch fallen diese Stoffe in den Zustand des chemischen Gleichgewichts zurück.

*Leitsatz 5: Bis zum Nachweis der Ungiftigkeit muß mit einer Chemikalie umgegangen werden wie mit einem Gefahrstoff.*

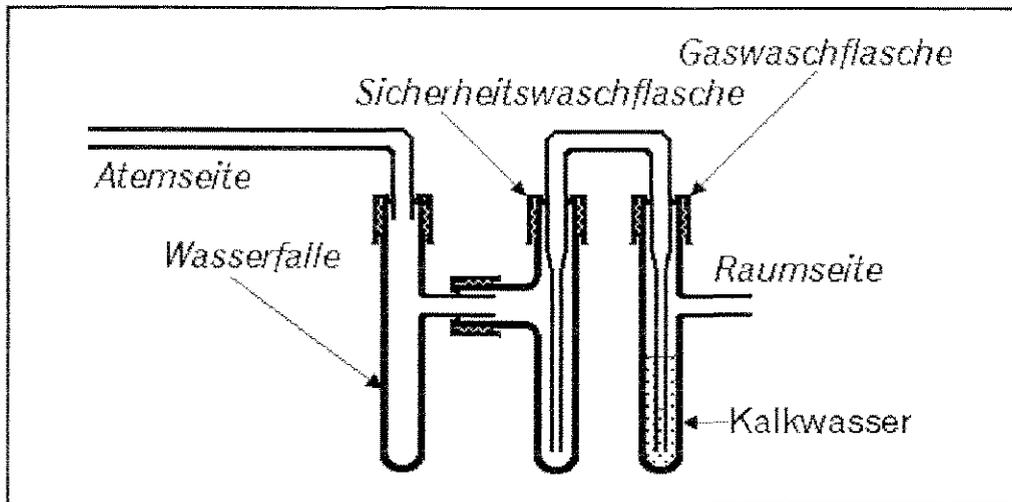


Abb. 3: Untersuchung eines Atemzuges

### Experiment: Untersuchung eines Atemzuges

Zur Untersuchung eines Atemzuges in Schülerübungen ist eine offene Apparatur (Abb. 3) notwendig, die eine natürlich eine Gefährdung des Lebens durch Chemikalien ausschließen muß. Zu diesem Zweck wird der Reaktionsraum mit dem Kalkwasser vom Menschen durch eine Wasserfalle getrennt (Leitsatz 1). Atmet man nun durch die Apparatur Luft ein, so wird das Kalkwasser in die Sicherheitsflasche überführt, ohne sich dabei zu verändern. Beim Ausatmen wird ein Teil der Lösung wieder in die Gaswaschflasche zurückgedrückt und bildet dabei einen weißen Niederschlag. Aus der Veränderung (Leitsatz 2) schließt man, daß der Mensch zum Leben einen Teil der Luft durch eine chemische Reaktion verändert. Man nennt diesen Vorgang Stoffwechsel.

Beim Ausatmen kann es passieren, daß etwas der Lösung mit dem weißen Niederschlag aus der Apparatur austritt. Das gibt Anlaß gemeinsam mit Schülerinnen und Schüler zu überlegen, ob nicht auch die Raumseite ebenso wie der atmende Mensch vor austretenden Chemikalien geschützt werden sollte. Man könnte auch hier eine Wasserfalle ergänzen. Es genügt jedoch, die Austrittsöffnung der Apparatur über einen Abfluß zu stellen, da das Kalkwasser durch Reaktion mit Kohlenstoffdioxid in marmorhaltiges Wasser überführt wurde. Damit befindet sich die Lösung bereits im natürlichen stofflichen Gleichgewicht, vor der die Umwelt nicht mehr geschützt zu werden braucht.

*Leitsatz 6: Nur die im natürlichen Gleichgewicht vorhandene Stoffe dürfen die Systemgrenzen überschreiten. Offene Systeme mit Gefahrstoffe müssen durch Ergänzung von chemischen Antagonisten neutralisiert werden, so daß teilgeschlossene Systeme entstehen.*

*Leitsatz 7: Aus teilgeschlossene Apparaturen dürfen nur natürliche Stoffen in natürlichen Konzentrationen und Zusammensetzungen entweichen*

Abschließend ist die Apparatur vom Kalkbelag zu reinigen. Dazu löst man den Kalkniederschlag mit Essigsäure auf. Durch die Halbmikrotechnik in Schülerübungen können alle die Verdrängungsreaktion anhand der Freisetzung von Kohlenstoffdioxidbläschen beobachten. Gleichzeitig lernen Schülerinnen und Schüler eine ökologisch vertretbare Entkalkung kennen (Leitsatz 3).

### 2.3 Chemischer Reaktionen mit akademischer Fragestellung

Diese Grundsätze des Umgangs mit Chemikalien, in Experimenten des Anfangsunterrichtes erlernt, behalten ihre Gültigkeit auch im "akademischen" Bereich für die Untersuchung von gefährlichen Stoffen. Anhand der Untersuchung von Stickoxiden soll gezeigt werden, wie sich auch die apparativen Methoden übernehmen lassen.

Experiment: Die Darstellung, Untersuchung und Entsorgung von Stickoxiden

Analog dem Marmor läßt sich auch Bariumnitrat thermisch in Bariumoxid, Stickoxide und Sauerstoff zerlegen. An dieser Stelle sollen nur Prinzipien des sachgerechten Umgangs mit Chemikalien erörtert werden. - Die ionischen Bestandteile des Bariumnitrat können in geringen Konzentrationen als natürlich vorkommend betrachtet werden. Erhitzt man Bariumnitrat, so wird entsteht Sauerstoff und Stickstoffdioxid, das in der Gefahrstoffverordnung als sehr giftig (T+) eingestuft wird. Gefährliche Gase dürfen nicht freigesetzt werden. In der Natur entstehen Stickoxide allerdings auch ohne Zutun des Menschen, so daß eine Beschäftigung damit im Unterricht begründet ist. Zu diesem Zweck wird die geschlossene Apparatur (Abb. 2) um eine Gasentnahme-Einheit, bestehend aus einem Kolbenprober mit Dreiwegehahn, und eine Entsorgungseinheit, bestehend aus einer Sicherheitswaschflasche mit Gaswaschflasche, erweitert (Abb. 4). Das Experiment beginnt der Überprüfung der leeren Apparatur auf Dichtigkeit. Die Zersetzung des Bariumnitrats wird durch Erhitzen eingeleitet. Die Gasentnahme-Einheit mit Hahn stellt ihrerseits eine geschlossene Apparatur dar, mit der die Reaktion von Stickstoffdioxid zu Distickstofftetraoxid unter wechselnden äußeren Bedingungen (Druck-, Temperaturänderung) untersucht werden kann (Axiome 1 und 2)<sup>1)</sup>. Das Experiment endet mit der Entsorgung aller Reaktionsprodukte durch Überführung in natürliche Stoffe (Axiom 3).

Für die Sicherheitsanalyse können die Ergebnisse des Kalkbrennens analog genutzt werden. Beim Erhitzen des Bariumnitrats entsteht

---

<sup>1)</sup> Hier liegt scheinbar eine Verletzung des 3. Axioms vor; es fehlt der Antagonist. Bei der Dissoziation entsteht nur ein Stoff, Stickstoffdioxid. Im Moment des Entstehens besitzen die Stickstoffdioxid-Moleküle jedoch freie Elektronen mit antiparallelem Spin und sind daher in statu nascendi Antagonisten !

Bariumoxid, das Anhydrid einer Lauge. Entsprechend muß das gebildete braune Gas das Anhydrid einer Säure sein, so daß Bariumnitrat ein Neutralisationsprodukt ist (3. Axiom).

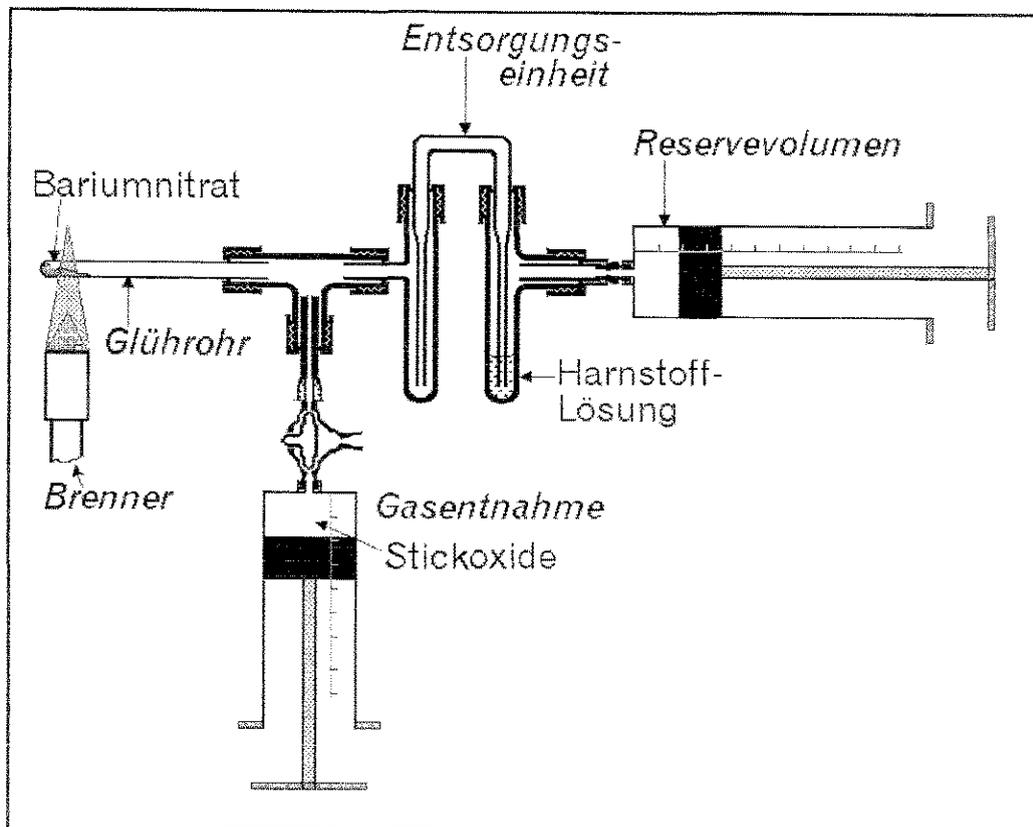


Abb 4: Darstellung, Untersuchung und Entsorgung von Stickoxiden

Der Zerfall von Distickstoffpentaoxid in Stickstoffdioxid und Sauerstoff ist mit dem vorhandenen Wissen der Schülerinnen und Schüler nicht zu erklären. Um das Freiwerden von Stickstoffdioxid zu verhindern, würde die Vorlage von Natronlauge ausreichen. Beim Einleiten des Gases in wäßrige Lösungen bilden sich zwei neue Stoffe. Es sind die Redox-Antagonisten Nitrat- und Nitrit-Ionen. Während das Nitrat-Ion als Düngemittel ein umweltrelevanter Stoff ist, geht von dem Nitrit-Ion die eigentliche Gefährdung aus. Nitrit hat biozide Wirkung, die man z.B. zur Konservierung von Lebensmitteln im Pökelsalz nutzt. Seine biozide Wirkung entfaltet das Nitrit-Ion durch Oxidation von Eisen(II) zu Eisen(III) im Hämoglobin und bei der Reaktion mit primären Aminogruppen

insbesondere an Aminosäuren, die für die Information des Aufbaus von Leben große Bedeutung haben. In der Natur stabil sind im wesentlichen nur elementarer Stickstoff, Nitrat-, Ammonium-Ionen und in organischen Verbindungen als Amino-Gruppierung. Das Nitrit-Ion muß demzufolge vorrangig entsorgt werden. Für das Aufzeigen des ökologischen Konzeptes, das in der Ausnutzung von Gegenspielern zur Rückkehr in natürlich existierende Gleichgewichte besteht, ist besonders Harnstoff geeignet. Harnstoff ist ein Abbauprodukt der Aminosäuren und wird vom Menschen ausgeschieden. Der Stickstoff im Harnstoff besitzt die formale Oxidationszahl (-III), im Redox-Antagonisten Nitrit befindet sich der Stickstoff dagegen im Oxidationszustand (-III). Harnstoff reagiert mit Nitrit durch Komproportionierung rasch zu elementarem Stickstoff, Kohlenstoffdioxid und Wasser.

Die Aufgabe von Wissenschaft ist es, diese Kenntnis von chemischen Sachverhalten zu erlangen. Verbindet man diese Kenntnis mit dem Wissen um die Existenz und den Stellenwert natürlicher chemischer Gleichgewichte für das Leben, kann man mögliche Gefahren frühzeitig erkennen und ihnen begegnen. Die Aufgabe der Lehre ist es, dieses Wissen auf elementare Prinzipien zu reduzieren und allen Menschen aktiv verfügbar zu machen.

#### 2.4 Chemische Reaktionen mit technischer-industrieller Zielsetzung

Aufgabe der chemischen Industrie ist es, chemische Produkte zum Nutzen aller Menschen herzustellen. Wie hierbei die bislang abgeleiteten Leitsätze in die Produktion eingehen können, soll am Beispiel der Synthese des Azo-Farbstoffes Orange II (2-Naphtholorange) gezeigt werden. Orange II fand Verwendung bei der Färbung von Wolle und Seide.

Experiment: Darstellung und Isolierung des organischen Farbstoffs Orange II

Wenn die Synthese in Bechergläsern erfolgt, wie es in den Lehrbüchern der Schulchemie angegeben wird, werden immer nitrose Gase freigesetzt. Daher ist das Arbeiten im gut ziehenden Abzug vorgeschrieben[9]. Damit werden die giftigen Gase aber nicht entsorgt, sondern nur verdünnt in die Umwelt geblasen. Der Abzug ist darum nur als redundantes Sicherheitssystem einzuplanen und als solches unverzichtbar. Mit Hilfe der Halbmikrotechnik wird eine geeignete Arbeitsweise gezeigt, wie die zur Prüfung der Unbedenklichkeit erforderlichen Stoffportionen des

Azo-Farbstoffes im teilgeschlossenen System synthetisiert und isoliert werden können, ohne den Abzug in den eigentlichen Versuchsablauf einzubeziehen. Dazu werden zunächst die Stoffportionen auf den Maßstab der Halbmikrotechnik reduziert (Tabelle im Anhang)

Als erstes wird die Synthese-Apparatur (Abb.5.1) zusammengesetzt und leer auf Dichtigkeit geprüft. In einem ersten Schritt wird mit Tropfern aus Sulfanilsäure, Natronlauge, Natriumnitrit und Salzsäure das Diazoniumsalz der Sulfanilsäure hergestellt. Dabei können sich nitrose Gase entwickeln. Die maximal zulässige Arbeitsplatzkonzentration beträgt  $MAK=10ppm$ . Zum Wechseln der Tropfer muß aber die Apparatur geöffnet werden. Dazu werden die giftigen Gase in die Entsorgungseinheit mit Harnstoff abgesaugt, indem man den Gummisauger des Tropfers entfernt und Luft in die Entsorgungseinheit einsaugt.

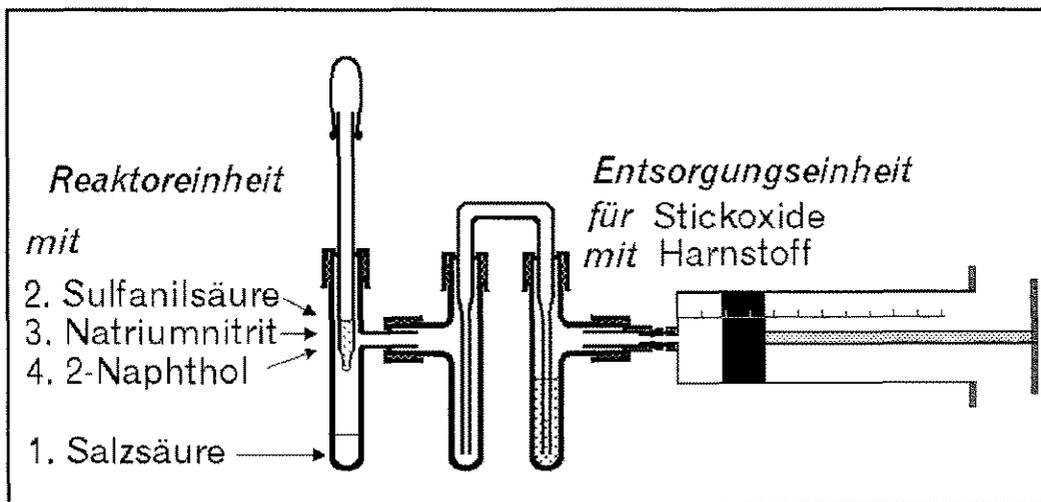


Abb 5.1: Darstellung eines Azofarbstoffes

In einem zweiten Schritt koppelt man das Diazoniumsalz mit 2-Naphthol-Lösung zum Orange II. Der Farbstoff wird mit Hilfe einer geschlossenen Apparatur (Abb. 5.2) filtriert, indem man eine Filtriereinrichtung statt des Tropfers anbringt. Filtriert wird durch Anlegen von Über- bzw. Unterdruck mit den Kolbenproben (Abb. 5.3), wobei vor jedem Öffnen Apparatur die nitrosen Gase aus der Apparatur mit der Harnstoff-Lösung ausgewaschen werden.

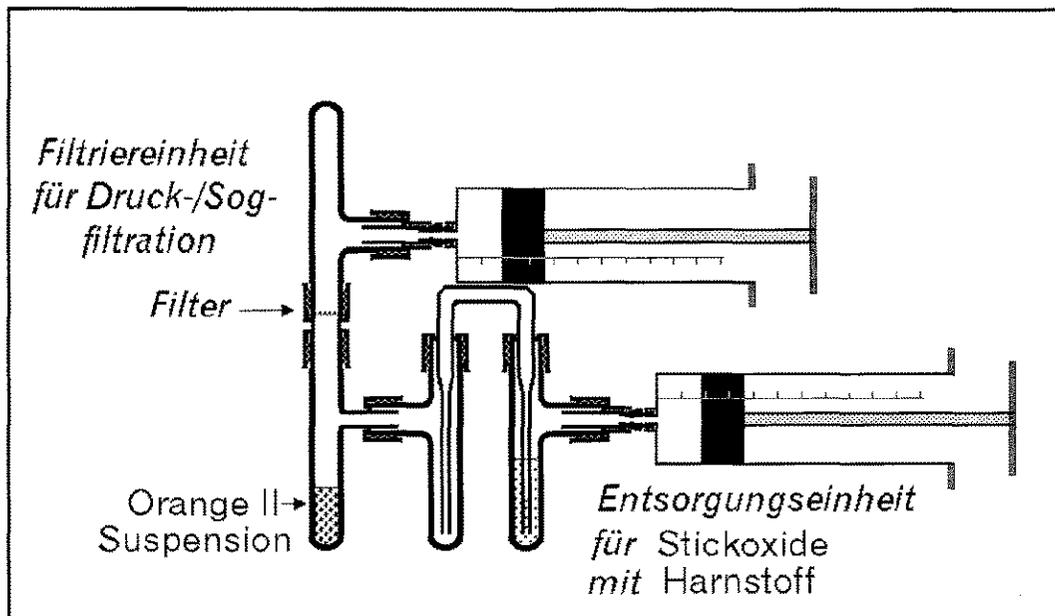


Abb 5.2: Vorbereitung zur Filtration eines Azofarbstoffes

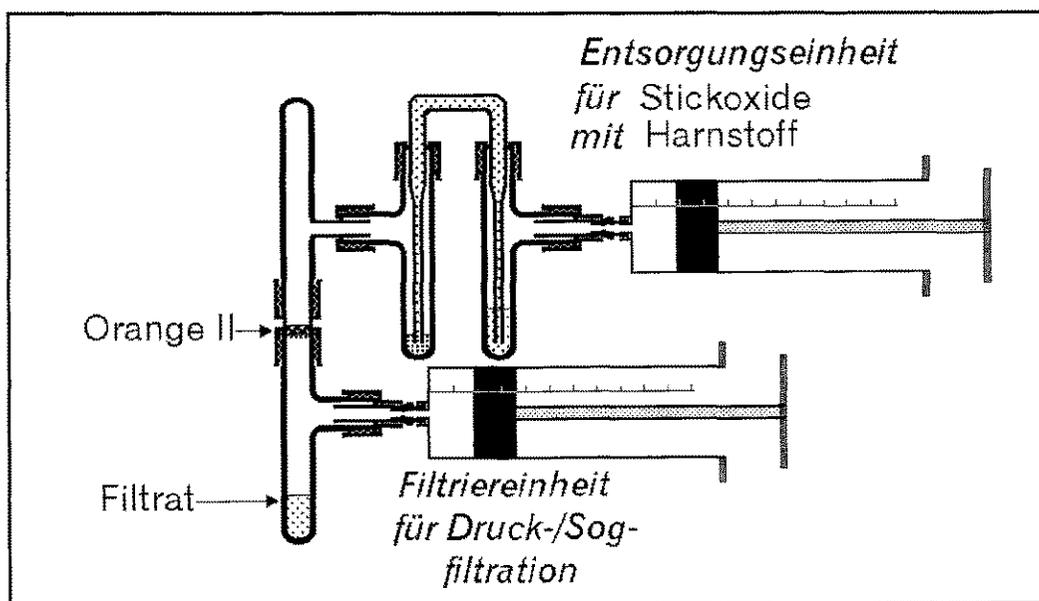


Abb 5.3: Filtration eines Azofarbstoffes

Für Färbeversuche mit dem Azo-Farbstoff Orange II muß man die in der Liste der Gefahrstoffe festgelgten Vorschriften für den Umgang beachten.

Findet man keinen Hinweis auf Umgangsvorschriften für den hergestellten Stoff, bleiben nur die abgeleiteten Leitsätze für den Umgang mit Chemikalien. Organische Stoffe, die sich nie im thermodynamischen Gleichgewicht befinden, können demnach als entsorgt angesehen werden, wenn sie selbst und alle ihre Abbauprodukte im natürlichen Stoffwechselkreislauf vorkommen.

Für Orange II sind hier sorgfältige Überlegungen nötig. Die Azo-Gruppe zersetzt sich leicht unter Bildung von Stickstoff und Bildung reaktiver Radikale. Eine mögliche Reduktion führt zu den anfangs erwähnten Amino-Verbindungen, partielle Oxidation bildet aromatische Nitro-Verbindungen, die ebenfalls biologisch bedenklich sind. Wenn nicht für alle möglichen Stoffe ausdrücklich die Ungiftigkeit nachgewiesen ist, ist das vollständige Verbrennen die einzig mögliche Entsorgung. Da in der Schule eine so weit gehende Information kaum zu erhalten ist, ist es von besonderer Wichtigkeit, daß ein Sammelsystem für die zu entsorgenden Stoffe bereitsteht und die Entsorgung von professionellen Entsorgungsunternehmen geleistet wird. Professionelle Entsorgung ist kostenintensiv, hier bietet die Verwendung der Halbmikrotechnik sowohl bei der Anschaffung und Lagerhaltung der Chemikalien als auch bei der Entsorgung der Reaktionsprodukte eine kostengünstige Alternative.

Man könnte diese Betrachtung über den sicheren Umgang mit Chemikalien als überzogen ansehen, belegte nicht gerade einen Azo-Farbstoff, nämlich Dimethylgelb (Buttergelb) den falschen Umgang mit Chemie[10]. Buttergelb wurde um 1920 der Butter und Margarine zugesetzt, um ein "natürliches" Aussehen vorzutäuschen, bis es sich dann als krebserregend herausstellte und seine Anwendung als Lebensmittelfarbstoff verboten wurde.

### 3 Das Ziel von Chemieunterricht

Die im Energie-Erhaltungssatz eingeschlossene chemische Energie kann ein Schlüssel zum Verständnis chemischer Reaktionen und stofflicher Eigenarten sein. Um das zu erkennen, ist es nötig, chemische Reaktionen in geschlossenen Apparaturen durchzuführen. Mit Hilfe der Halbmikrotechnik ist es besonders leicht möglich, Schülerinnen und Schüler an der Planung und Durchführung solcher ganzheitlicher Chemie-Experimente zu beteiligen. Damit werden die chemischen Aspekte der Umwelt und des Lebens erkennbar. Chemische Experimente in geschlossenen und teilgeschlossenen Apparaturen führen zu einem zeitgemäßen Chemieunterricht, indem Schülerinnen und Schüler durch eigenes Tun lernen, sachgerecht mit Chemikalien und Stoffen umzugehen. Sie erhalten auf diese Weise ein Kriterium an die Hand, auch zukünftige chemische Fragestellungen bearbeiten und beurteilen zu können.

Chemieunterricht kann sich daher nicht darin erschöpfen, Stoffeigenschaften zu beschreiben und chemische Reaktionen zum Ordnen von Stoffen in Stoffklassen zu benutzen. Chemieunterricht muß jedem Menschen auf jedem Ausbildungsniveau Kriterien zum sachgerechten Umgang mit Chemie bereitstellen. Die chemische Interpretation des Energie-Erhaltungssatz bietet dazu einen Einstieg. Inhalte und Zusammenstellung von Themen in Chemielehrbüchern müssen diesem übergeordneten Ziel angepaßt werden.

-----

Anhang:

Eine Arbeitsvorschrift für das Diazotieren in Bechergläsern im bereits reduzierten Makro-Maßstab findet sich im Heft "Benzol und andere aromatische Verbindungen"[9].

Gegenüberstellung der Stoffportionen in Makro und Halbmikrotechnik

Sulfanilsäure-Lösung

reduziert Makro 0,5 g in 5 ml Natronlauge (c=2 mol/l)

Halbmikro 0,02g in 0,2 ml

Salzsäure

reduziert Makro 25 ml (c=4 mol/l)

Halbmikro 1 ml

Natriumnitrit-Lösung

reduziert Makro 12,5 ml (w=1,6 %)

Halbmikro 0,5 ml

2-Naphthol-Lösung

reduziert Makro 0,4 g in 5 ml Natronlauge (c=2 mol/l)

Halbmikro 0,016 g in 0,2 ml

---

[1] Staab, Heinz A.: "Das Bild der Chemie im Wandel der letzten hundert Jahre"; Festvortrag zum 100jährigen Bestehen der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Heidelberg, 5. Juni 1985; Sonderdruck S. 2: "Chemotherapie - die große Wende" ; S. 4f: "Chemie - durch Leistung zu Ansehen"

[2] Sieferle, Rolf Peter: "Wege aus der Krise? - Alte und neue Muster der Technikkritik"; Hrsg. Verband der Chemischen Industrie e.V., Frankfurt, September 1987; Sonderdruck S. 19

---

- [3] Jonas, Hans: "Das Prinzip Verantwortung - Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation"; Insel Verlag, Frankfurt 1979; Suhrkamp Taschenbuch; S. 36ff
- [4] Sieferle, a.a.O. S. 21f
- [5] Staab, a.a.O. S. 6f: "Diskriminierung wider besseres Wissen"
- [6] Barrow, John D.: "Theorien für Alles - die philosophischen Ansätze der modernen Physik"; Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 1992; S. 25f
- [7] Mittelstraß, Jürgen und Stock, Günter (Hrsg): "Chemie und Geisteswissenschaften - Versuch einer Annäherung"; Akademie Verlag, Berlin 1992; S. 10
- [8] Aebli, Hans: "Denken: das Ordnen des Tuns", Klett-Cotta, Stuttgart 1981; Bd. II S. 369ff
- [9] Landesinstitut für Schule und Weiterbildung; Aldejohann, R. (Hrsg): "Sicherheits und Umwelterziehung im Chemieunterricht - Bd: Benzol und andere aromatische Verbindungen"; Soest 1993; S.40ff
- [10] Fieser, Louis F. und Fieser, Mary: "Organische Chemie", Verlag Chemie, Weinheim/Bergstr 1968; Azo-Farbstoffe S. 1799ff

-----

Ich danke den vielen Kolleginnen und Kollegen, besonders den Moderatoren der Arbeitsgruppe für Sicherheits- und Umwelterziehung am Landesinstitut in Soest, die durch ihre Kritik, Diskussionsbeiträge und Anregungen mir bewußt werden ließen, daß die Halbmikrotechnik mehr als eine weitere Labortechnik ist, sie kann der methodischer Einstieg in ein umfassendes Chemie-Konzeptes werden.

Das Fachgebiet Chemie befasst sich mit Stoffen, ihren Eigenschaften und den Stoffumwandlungen. Um die Umsetzungen von Stoffen gefahrlos für den Experimentierenden zu gestalten, ist eine durchdachte Experimentiertechnik nötig.

**Ausgezeichnet mit dem Gefahrstoffschutzpreis 2005**

Mit der Halbmikrotechnik nach Dr. Häusler können chemische Experimente mit Stoffportionen im Bereich von Millimol in geschlossenen Systemen durchgeführt werden und Erkenntnisse im sicheren und sachgerechten Umgang mit Stoffen gewonnen werden.

**HMTC Halbmikrotechnik Chemie GmbH  
Dr. Klaus-G. Häusler**

**Eickenbecker Str. 7c**

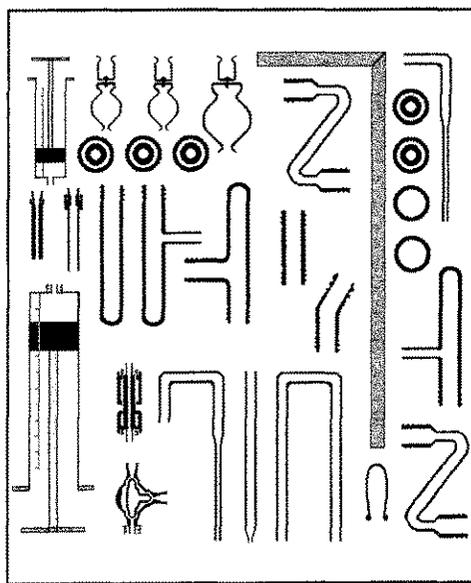
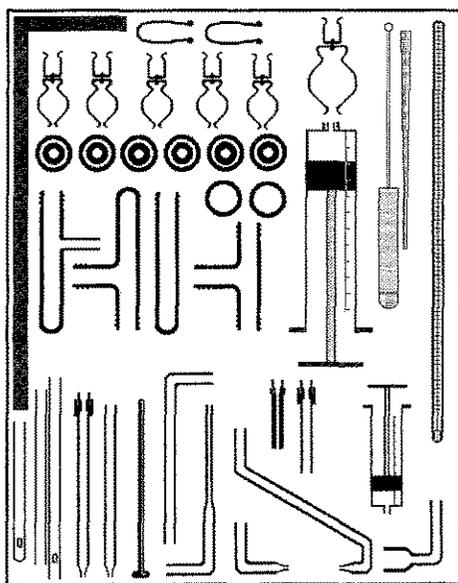
**D-48 317 Drensteinfurt**

**FON: 0 25 38 / 9 51 92**

**FAX: 0 25 38 / 9 51 93**

**info@halbmikrotechnik.de**

**www.halbmikrotechnik.de**



**Basis -Set**

**248,00 €**

**Ausbau -Set**

**222,00 €**

**Alu-Vierkantmuffe je Set 13,10 €**

**Handbuch**

**16,70 €**

**zzgl. Mehrwertsteuer u. Porto**

**Stand 1.3.2015**

